UC-NRLF
C 2 790 408

Ex-libris
Charles Atwood
Kofoid
BMC

THE LIBRARY
OF
THE UNIVERSITY
OF CALIFORNIA

PRESENTED BY
PROF. CHARLES A. KOFOID AND
MRS. PRUDENCE W. KOFOID

k-QK771
D38

M362834

Biology
Library
Kofoid

CARLO DARWIN
COLL'ASSISTENZA DI FRANCESCO DARWIN

IL POTERE
DI
MOVIMENTO NELLE PIANTE

CARLO DARWIN
COLL'ASSISTENZA DI FRANCESCO DARWIN

IL POTERE
DI
MOVIMENTO NELLE PIANTE

TRADUZIONE ITALIANA

DI

GIOVANNI E RICCARDO CANESTRINI

TORINO
UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE
33 — VIA CARLO ALBERTO — 33
1884

Proprietà letteraria.

INTRODUZIONE

Lo scopo principale di questo libro è di descrivere e di collegare insieme diverse grandi classi di movimenti comuni a quasi tutte le piante. Il movimento più diffuso è essenzialmente della stessa natura di quello che caratterizza il fusto di una pianta rampicante che s'incurva successivamente verso tutti i punti dell'orizzonte in guisa che la sua estremità ne faccia il giro completo. Questo movimento ha ricevuto il nome da G. Sachs di *Nutazione girante*, ma noi abbiamo trovato più conveniente di adottare i termini di *circumnutazione* e di *circumnutare*. Siccome dovremo parlare molto di questo movimento, una rapida sua descrizione non sarà superflua.

Osserviamo un fusto in circumnutazione al momento in cui esso incomincia a curvarsi, e prendiamolo rivolto a Nord: noi vedremo ch'esso piega gradatamente sempre più verso l'Est fino a che si trova rivolto a questo punto cardinale, poi progressivamente verso il Sud, verso l'Ovest, per ritornare infine al Nord. Se il movimento fosse stato perfettamente regolare, la punta avrebbe descritto un cerchio, o meglio una spirale circolare, poichè il fusto continua a crescere. Ma, in realtà, questa parte terminale descrive generalmente una figura irregolare ellittica od ovale, perchè l'estremità, dopo di aver occupato queste diverse posizioni, ritorna spesso in un punto completamente opposto, ma senza ripassare tuttavia sulla prima linea tracciata. Più tardi, altre ellissi irregolari od altre ovali sono successivamente descritte, ed hanno i loro grandi assi diretti verso differenti punti dello spazio. Nello stesso tempo che l'apice descrive queste curve, traccia spesso delle linee a *zig-zag*, o descrive piccoli ricci secondarii, oppure dei triangoli.

Nel caso particolare delle foglie, le ellissi descritte sono generalmente strette.

Fino a questi ultimi tempi, la causa di tali movimenti era attribuita ad un aumentato accrescimento su quel lato che diviene per un certo tempo convesso, ed è stato bene stabilito che questa parte si accresce infatti più rapidamente della concava; ma De Vries ha dimostrato di recente che questo aumento di crescenza è preceduto da uno stato di turgidezza più accentuata sulla parte convessa (1).

(1) Sachs ha per il primo mostrato (*Lehrbuch der Botanik*, 4ª edizione, p. 452) la connessione intima che esiste fra il fenomeno di turgescenza e quello di accrescimento. Per l'interessante lavoro di De Vries intitolato: *Wachsthumskrümmungen mehrzelliger Organe*, ved. *Bot. Zeitung*, 19 dicembre 1879, p. 830.

Nel caso di parti provvedute di una articolazione chiamata cuscino o pulvino, organo formato da un aggregato di piccole cellule arrestate nel loro sviluppo in età assai precoce, noi riscontriamo dei movimenti simili, e qui, come lo ha dimostrato il Pfeffer (1) e come lo vedremo nel corso di quest'opera, l'aumentata turgidezza nelle cellule dei lati opposti non ha per conseguenza un aumento di crescenza. Wiesner, dopo di aver negato in certi casi l'esattezza della conclusione di De Vries, sostiene (2) che l'aumento di estensibilità nelle pareti cellulari è il principale elemento del fenomeno. Che questa estensibilità debba accompagnare la accresciuta turgidezza affinchè la curvatura possa prodursi, ciò è fuori di dubbio, e molti botanici hanno insistito su questo punto; ma, nel caso dei vegetali unicellulari, è difficile dubitare ch'essa non costituisca la causa più importante. Riassumendo, noi possiamo concludere, nello stato attuale della questione, che l'aumentato accrescimento prima da una parte e poi dall'altra, sia un effetto secondario, e che l'accresciuta turgidezza nelle cellule, unitamente all'estensibilità delle loro pareti, costituisca la prima causa del movimento di circumnutazione (3).

Nel corso di questo volume, dimostreremo che, a quanto sembra, in ciascuna pianta ogni parte in via di accrescimento è continuamente in istato di circumnutazione, benchè sovente questo movimento si produca sopra piccola scala. Gli stessi fusticini delle pianticelle prima della loro apparsa sopra terra, così bene come le radici sotterrate per quel tanto che la pressione della terra circostante può loro permetterlo, eseguiscono dei movimenti di circumnutazione. In questo movimento universalmente diffuso, è mestieri vedere la sorgente, ove la pianta attinge, secondo i suoi bisogni, il più gran numero dei movimenti diversi. Così le grandi curvature realizzate dai fusti delle piante volubili e dai viticci di altre piante rampicanti sono il risultato di un semplice aumento nell'ampiezza del movimento ordinario di circumnutazione. E la posizione che le giovani foglie ed altri organi occupano da ultimo, è ottenuta dal movimento circumnutante aumentato in una certa direzione. Le foglie di molte piante, come si suol dire, dormono durante la notte; noi vedremo che le loro superficie prendono allora una posizione verticale per effetto di una circumnutazione modificata, e ciò per proteggere la pagina superiore contro il freddo determinato dall'irradiazione. I movimenti degli organi verso la luce, che sono tanto diffusi nel regno vegetale, e che si esercitano talvolta in senso opposto od obliquo a questo agente fisico, costituiscono altret-

(1) *Die periodischen Bewegungen der Blattorgane*, 1875.

(2) *Untersuchungen über den Heliotropismus*, Sitzb. der K. Akad. der Wissenschaften (Vienna) Januar, 1880.

(3) Vedi in *Arbeiten des Bot. Instituts in Würzburg*, B. II, pp. 142-143, 1878, la bella discussione di VINE sopra questo soggetto intricato. In *Jahresschriften des Vereins für Vaterl. Naturkunde in Würtemberg*, 1874, p. 211, le osservazioni di HOFMEISTER sui curiosi movimenti della *Spirogyra*, pianta formata d'una semplice serie di cellule, sono di grande valore per l'argomento che ci occupa.

tante forme modificate della circumnutazione, così bene come la direzione generalmente universale dei fusti, ecc. verso lo *zenit* e delle radici verso il centro della terra. Ammesse queste conclusioni, è rimossa una grande difficoltà, dal punto di vista dell'evoluzione, giacchè si poteva domandare, dove avessero preso origine tutti questi movimenti così diversi a scopi tanto differenti. Infatti, noi sappiamo che esiste sempre del movimento e che la sua ampiezza o la sua direzione, o l'una e l'altra, si modificano soltanto per il bene della pianta in relazione cogli stimoli interni od esterni.

Oltre di discutere le diverse forme della circumnutazione, noi esamineremo altri soggetti. I due punti che hanno fissato di più la nostra attenzione sono primieramente questo fatto, che cioè in alcune piante giovani le estremità superiori soltanto sono sensibili alla luce e trasmettono l'influenza di questo agente alle parti inferiori, determinando la loro curvatura. Ne segue, che se la porzione superiore dell'asse è stata completamente protetta contro la luce, le parti sottogiacenti potranno restare esposte lungamente all'azione di questo eccitante senza mostrare il minimo indizio di curvatura, benchè questa potrebbe essere stata ottenuta assai prontamente se la parte superiore fosse stata eccitata dalla luce.

In secondo luogo, nelle giovani piante, l'estremità radiculare mostra una grande sensibilità agli stimolanti i più differenti, ed in particolare alle pressioni anche le più leggere, e quando queste si sono prodotte, l'influenza trasmessa alle parti superiori si traduce in una curvatura di queste ultime in senso opposto. D'altro canto, se questa estremità è esposta da una sola parte a del vapore d'acqua, la porzione superiore della radice si curva verso questa parte. È ancora la punta che, secondo le conclusioni di Cieselski (benchè combattute da altri), è sensibile all'azione della gravità, e che, trasmettendo questa influenza alle parti vicine della radichetta ne determina la curvatura verso il centro della terra. Questi diversi casi, nei quali l'azione sia del contatto, o di altri irritanti, come il vapore, la luce o l'attrazione della gravità, si trova trasmessa dal punto ove è stata esercitata fino ad una certa distanza nella direzione di un organo qualsiasi, hanno un significato importante per la teoria di questi movimenti.

Terminologia. — Conviene di dare qui una breve spiegazione di alcuni termini speciali dei quali noi ci serviremo. Nelle pianticelle l'asse che sopporta i ***cotiledoni*** (cioè a dire gli organi che rappresentano le prime foglie) è stato chiamato da molti botanici fusto ipocotilo, ma per brevità di linguaggio noi lo chiameremo semplicemente ***ipocotilo;*** la parte dell'asse collocata immediatamente al disopra dei cotiledoni prende il nome di ***epicotilo*** o di ***plumula.*** La radichetta non si distingue dall'ipocotilo che per la presenza di peli radiculari e per la natura del suo rivestimento.

Quanto al significato della voce ***circumnutazione*** noi l'abbiamo già dato. Gli autori parlano di eliotropismo negativo e positivo (1), ciò che significa torsione di

(1) I termini molto usitati di *eliotropismo* e di *geotropismo* sono stati usati dapprima dal dottor A. B. Franck. Vedi le sue interessanti *Beiträge zur Pflanzenphysiologie*, 1868.

un organo verso la luce o nel senso opposto; ma è più conveniente di riservare il termine di *eliotropismo* alla curvatura verso la luce, e di chiamare *afeliotropismo* la torsione in senso contrario. Vi è un'altra ragione a questo cambiamento di nome e si è che, come noi l'abbiamo osservato, gli autori omettono qualche volta gli aggettivi *positivo* e *negativo* e generano così della confusione nelle loro discussioni. *Diaeliotropismo* indicherà una posizione determinata dalla luce più o meno obliqua in rapporto alla direzione dei raggi luminosi. Egualmente il geotropismo positivo, o curvatura verso il centro della terra, prenderà il nome di *geotropismo; apogeotropismo* significherà una curvatura in opposizione con la gravità ed allontanantesi dal centro della terra, e finalmente *diageotropismo* una posizione più o meno trasversale al raggio della terra. I termini di eliotropismo e di geotropismo significano propriamente un atto di movimento sotto la dipendenza della luce o della terra, ma come il termine di gravitazione, benchè definito come « l'atto di tendere verso il centro », è spesso impiegato per esprimere la causa che fa cadere un corpo, egualmente ci si permetterà di usare qualche volta i termini di eliotropismo e di geotropismo, ecc. per indicare la causa dei movimenti di cui si tratta.

La parola *epinastia* è oggi spesso impiegata in Germania, ed indica che la faccia superiore di un organo cresce più rapidamente della inferiore, ciò che determina una curvatura verso il basso. *Iponastia* significa l'inverso, cioè a dire un maggiore accrescimento sulla faccia inferiore, determinante una curvatura verso l'alto (1).

Metodi di osservazione. — I movimenti ora assai ristretti ed ora molto estesi dei differenti organi sottomessi alla nostra osservazione sono stati registrati con un modo di procedere che, dopo molte prove, ci è sembrato il più conveniente e che è d'uopo descrivere. Le piante crescenti in vasi venivano completamente difese contro la luce, od esposte ad essa, in modo che la ricevevano dall'alto, oppure lateralmente, secondo i casi, ed erano protette disopra da una grande lamina orizzontale di vetro od in uno dei lati da un'altra lamina verticale. Un filo di vetro dello spessore di un crine di cavallo e lungo da uno a tre quarti di pollice (2) veniva attaccato alla parte osservata col mezzo di una soluzione di gomma-lacca nell'alcool. Noi lasciavamo evaporare questa soluzione finchè in due o tre secondi diveniva abbastanza densa, nè nuoceva mai ai tessuti sui quali era applicata, nemmeno alle estremità delle più tenere radici. All'altra estremità del filo di vetro era fusa una goccia estremamente piccola di ceralacca nera, al disotto o di dietro della quale era posta una piccola fascia di cartone marcata con un punto nero, la quale era fissata ad un sostegno piantato nella terra. Il peso del filo era sì leggero che nemmeno le foglie più piccole si accorgevano del carico. Un altro modo di osservazione fu messo in uso quando non era necessaria una grande amplificazione del movimento; lo descriveremo più avanti.

La goccia di cera ed il punto sul cartone erano visti attraverso alla lamina di vetro orizzontale o verticale (secondo la posizione dell'oggetto), e quando l'una copriva esattamente l'altro, veniva marcato un punto sulla lamina di vetro col mezzo di uno strumento a punta assai fina bagnata nell'inchiostro di China denso. Altri punti erano così tracciati a brevi intervalli, e più tardi riuniti da linee rette. Le figure ottenute in questo modo erano dunque angolose; ma se i punti fossero stati fatti a degli intervalli di 1 o 2 minuti, esse sarebbero divenute curve, come accadeva allorchè delle radichette venivano disposte in maniera da tracciare il pro-

(1) Questi termini sono impiegati nel senso che lo indica De Vries (*Würzburg Arbeiten*, Heft II, 1872, p. 252).

(2) Per norma del lettore osserviamo che il pollice corrisponde a metri 0,0250 (*I traduttori*).

prio cammino sopra dei vetri anneriti al fumo. La sola difficoltà che presentava questo metodo, era di collocare esattamente i punti, cosa che richiedeva un certo esercizio. Non era ancora possibile di farlo molto esattamente, quando il movimento veniva assai amplificato, per es. di 30 volte e più; si poteva tuttavia, anche in questo caso, riconoscere il cammino generale.

Per verificare l'esattezza di questo metodo di osservazione, fissammo un filo sopra un corpo inanimato disposto in modo da scivolare seguendo una linea retta, e furono marcati dei punti a più riprese sopra una lamina di vetro; questi punti riuniti fra di loro avrebbero dovuto dare una traccia rigorosamente diritta, ed infatti essa risultò quasi esattamente tale. È bene aggiungere che quando il punto tracciato sul cartone era posto mezzo pollice al disotto o al di dietro della goccia di ceralacca, e la lamina di vetro (supposto che avesse un'inclinazione conveniente) si trovava davanti alla distanza di sette pollici (che era la distanza solita), le linee ottenute rappresentavano il movimento della goccia di cera amplificato 15 volte.

Allorchè non era necessario di ottenere una grande amplificazione del movimento, veniva adottato un altro metodo, migliore sotto molti punti di vista. Esso consisteva nel fissare due piccoli triangoli di carta leggera, alti circa 1/20 di pollice, alle due estremità del filo di vetro; e quando le loro sommità erano portate sulla medesima linea in guisa da coprirsi l'una con l'altra, venivano tracciati dei punti sulla lamina di vetro come col metodo precedente. Se supponiamo che la lamina si trovi a una distanza di 7 pollici dall'estremità dell'organo portante il filo, i punti, una volta riuniti, daranno press'a poco la medesima figura che se un filo di 7 pollici, tinto nell'inchiostro, fosse stato fissato sull'organo mobile e avesse tracciato sul vetro il proprio tragitto. Il movimento è in tal guisa considerevolmente amplificato; se per es. un germoglio lungo un pollice si curva, e la lamina di vetro si trova a una distanza di 7 pollici, il movimento è amplificato otto volte. Sarebbe stato tuttavia assai difficile di determinare in ogni caso la lunghezza del germoglio che si era curvata, condizione indispensabile per stabilire il grado dell'amplificazione del movimento.

I punti, una volta marcati sulla lamina di vetro, coi processi che abbiamo indicati, erano riportati sulla carta copiativa e riuniti da linee rette, con freccie che indicavano la direzione del movimento. Gli spostamenti notturni sono rappresentati da linee punteggiate. Il primo punto è sempre più fortemente marcato degli altri, in modo che risalta bene, come si può vedere nei nostri diagrammi. Le figure ottenute sulla lamina di vetro erano tracciate sovente sopra una scala troppo grande per trovare posto nelle pagine di questo volume; ma la proporzione, nella quale sono state ridotte, è sempre indicata (1). Tutte le volte che ci è stato possibile di determinare approssimativamente l'amplificazione del movimento, l'abbiamo indicata. Noi diamo forse un numero troppo grande di diagrammi, ma essi occupano meno spazio di una descrizione completa dei movimenti. Quasi tutti gli abbozzi delle piante dormenti, ecc., sono stati accuratamente fatti per noi dal sig. Giorgio Darwin.

Siccome i germogli, le foglie, ecc., circumnutando si curvano sempre più, prima in una direzione e poi in un'altra, essi sono visti per conseguenza in differenti momenti, più o meno obliquamente; e siccome i punti sono marcati sopra una superficie piana, la quantità apparente del movimento è esagerata secondo il grado di obliquità del punto di vista. Sarebbe stato anche assai più conveniente d'impie-

(1) Noi dobbiamo essere assai riconoscenti al signor COOPER per la cura con la quale ha ridotto ed inciso i nostri diagrammi.

gare dei vetri emisferici, se ne avessimo posseduto di tutte le dimensioni, e se fosse stato possibile di disporre e collocare la parte mobile del rampollo in maniera che formasse uno dei raggi della sfera. Ma ancora in questo caso sarebbe stato necessario di proiettare dipoi la figura sulla carta, laonde perfetta esattezza non si sarebbe ottenuta. Per l'alterazione proveniente dalle cause suesposte, le nostre figure non sarebbero di alcuna utilità per colui che volesse conoscere esattamente l'ampiezza del movimento o l'esatto tragitto percorso; ma esse servono assai bene per determinare se la parte considerata si mosse o meno, come pure per riconoscere il carattere generale dello spostamento.

Lo scopo del capitolo seguente sarà di descrivere i movimenti d'un numero considerevole di piante : le specie sono state classificate seguendo il sistema adottato da Hooker nella *Botanica descrittiva* di Le Maout e Decaisne. Tutti quelli che non vogliono fare delle ricerche speciali sul soggetto qui trattato, possono dispensarsi dal leggere i dettagli che noi abbiamo tuttavia creduto di dover dare. Per sparmiare al lettore soverchia fatica, le conclusioni e le parti più importanti sono state stampate in caratteri più grandi del resto. Il lettore potrà, se lo crede conveniente, leggere prima l'ultimo capitolo che contiene l'analisi del volume intiero; egli vedrà, in tale maniera, quali sieno i punti che lo interessano, e sui quali egli desidera avere il maggior numero di schiarimenti.

Finalmente è per noi un piacere di rivolgere i nostri sinceri ringraziamenti al signor Giuseppe Hooker ed al signor W. Thiselton-Dyer, per la bontà che hanno avuta, non soltanto di inviarci delle piante da Kew, ma ancora di procurarcene da molte altre fonti quando le abbiamo loro chieste per le nostre osservazioni. Essi ci hanno pure determinato molte specie e ci hanno fornito numerose informazioni su diversi punti.

CAPITOLO I.

MOVIMENTI CIRCUMNUTANTI NELLE GIOVANI PIANTE.

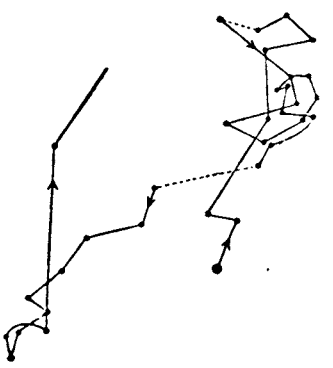
Brassica oleracea, circumnutazione della radichetta, dell'ipocotilo curvato ed ancora completamente coperto dalla terra, allorchè sorte dalla terra raddrizzandosi, e allorchè è eretto. — Circumnutazione dei cotiledoni. — Rapidità del movimento. — Osservazioni analoghe su molti organi presso diverse specie di *Githago*, *Gossypium*, *Oxalis*, *Tropæolum*, *Citrus*, *Æsculus*, diversi generi di Leguminose e di Cucurbitacee, *Opuntia*, *Helianthus*, *Primula*, *Cyclamen*, *Stapelia*, *Cerinthe*, *Nolana*, *Solanum*, *Beta*, *Ricinus*, *Quercus*, *Corylus*, *Pinus*, *Cycas*, *Canna*, *Allium*, *Asparagus*, *Phalaris*, *Zea*, *Avena*, *Nephrodium* e *Selaginella*.

Il presente capitolo è consacrato ai movimenti circumnutanti delle radichette, degli ipocotili e dei cotiledoni delle giovani piante, ed ai movimenti dell'epicotilo, quando i cotiledoni non si elevano sopra terra. Ma in uno dei capitoli seguenti dovremo ritornare sui movimenti di certi cotiledoni che sono soggetti al sonno durante la notte.

Brassica oleracea (Cruciferæ). — Descriveremo i movimenti di questa pianta con dei dettagli assai più completi che per le altre specie in modo da sparmiare in seguito spazio e tempo.

Radichetta. — Un seme provveduto di una radichetta sporgente pollici 0,05 fu attaccato, a mezzo della gommalacca, sopra una piccola lamina di zinco, in modo che la radichetta fosse verticale; un sottile filo di vetro venne fissato a poca distanza dalla base, cioè a dire presso l'epispermo. Il seme era circondato da piccoli pezzi di spugna inumidita, ed i movimenti della goccia di cera posta all'estremità del filo furono rilevati per sessanta ore (fig. 1). Durante questo tempo la lunghezza della radichetta crebbe da pollici 0,05 a pollici 0,11. Se il filo di vetro fosse stato fin da principio fissato presso all'estremità della radichetta, e se fosse rimasto là durante tutto il tempo dell'esperienza, il movimento da esso indicato sarebbe stato molto maggiore, poichè alla fine delle nostre osservazioni l'estremità, invece di essere verticale, si era curvata verso il basso, sotto l'influenza del geotropismo, in modo da toccare la lamina di zinco. Per quanto potemmo determinare con delle misure prese grossolanamente sopra altri semi col mezzo del compasso, la sola estremità, per una lunghezza di 2/100 a 3/100 di pollice subì l'influenza del geotropismo, ma la traccia ottenuta mostra che la parte basilare della radichetta ha continuato a circumnutare irre-

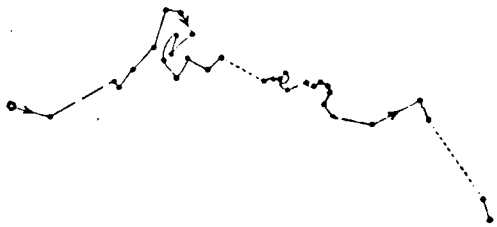
Fig. 1.



Brassica oleracea: circumnutazione della radichetta, tracciata sopra un vetro orizzontale, dalle 9 ant. del 31 gennaio alle 9 pom. del 2 febbr. Movimento della goccia di cera all'estremità del filo amplificato 40 volte circa.

golarmente durante tutto il tempo. L'ampiezza reale massima del movimento della goccia di cera, all'estremità del filo, era di quasi 0,05 di pollice, ma tornava impossibile di valutare in quale misura si era amplificato il movimento della radichetta che aveva circa 3/4 di pollice di lunghezza.

Fig 2.



Brassica oleracea: movimento della radichetta, sotto l'influenza della circumnutazione e del geotropismo, tracciato sopra un vetro orizzontale durante 46 ore.

Un altro seme venne disposto ed osservato nella stessa maniera, ma la radichetta aveva questa volta una sporgenza di 0,1 pollici e non era attaccata in modo da trovarsi perfettamente verticale. Il filo di vetro fu fissato presso alla base. La traccia (fig. 2, ridotta a metà) indica il suo movimento dalle 9 del mattino del 31 gennaio alle 7 del mattino del 2 febbraio; ma essa continuò a muoversi per tutta la durata di quest'ultimo giorno, seguendo la medesima direzione generale e descrivendo dei zig-zag analoghi.

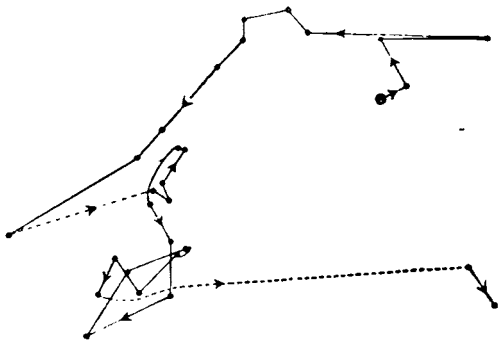
La radichetta non essendo perfettamente perpendicolare allorchè fu fissato il filo, il geotropismo entrò immediatamente in azione; ma la direzione irregolare ed a zig-zag degli spostamenti mostra che vi era accrescimento (probabilmente preceduto da turgescenza) ora da una parte ed ora dall'altra. Talvolta, la goccia di cera stava stazionaria durante quasi un'ora; allora l'accrescimento si produceva probabilmente sulla parte opposta a quella che determinava l'incurvatura geotropica. Nei casi descritti precedentemente, la parte basilare della radichetta, assai corta, essendo diretta verticalmente in alto, subiva in principio molto debolmente l'azione del geotropismo. In due altri casi furono fissati dei fili di vetro sopra delle radichette un poco più lunghe, uscenti obliquamente dai semi che erano stati rovesciati, ed allora le linee tracciate sopra i vetri orizzontali non formavano che dei leggeri zig zag ed il movimento seguiva sempre la medesima direzione generale sotto l'influenza del geotropismo. Tutte queste osservazioni sono soggette a diverse cause di errore, ma noi crediamo, avuto riguardo a ciò che sarà dimostrato più tardi relativamente ai movimenti delle radichette di altre piante, che si possa accettarle con molta fiducia.

Ipocotilo. — L'ipocotilo fa attraverso agli involucri seminali una sporgenza rettangolare, che cresce rapidamente prendendo una forma arcuata come un U rovesciato ∩, essendo i cotiledoni ancora rinchiusi nel seme. In qualunque posizione sia posto il seme nella terra, o comunque fissato, le due branche dell'arco sotto l'influenza dell'apogeotropismo si rivolgono in alto e si elevano così verticalmente sopra il suolo. Dopo che ciò è avvenuto, od anche avanti, la superficie interna o concava dell'arco cresce più rapidamente che la superficie esterna o convessa, ciò che tende a separare queste due branche ed a facilitare l'uscita dei cotiledoni dagli involucri seminali posti sotterra. In seguito all'accrescimento dell'arco tutto intiero, i cotiledoni sono portati fuori del suolo, talvolta da una profondità considerevole, e allora l'ipocotilo si raddrizza poco a poco, mercè l'accrescimento più attivo della parte concava.

Mentre l'ipocotilo, arcuato o ripiegato, è ancora sotterra, per quel tanto che lo permette la pressione del suolo, si mette in circumnutazione; ma questo fatto è difficile da osservarsi, poichè appena l'arco è libero da ogni pressione laterale, le sue due branche incominciano a separarsi, spesso mentre è ancora molto giovane, e prima dell'epoca nella quale avrebbe naturalmente raggiunta la superficie. Furono

messi a germogliare dei semi alla superficie della terra umida, ed appena che si erano fissati colle loro radichette, e l'ipocotilo, sino allora ripiegato, era divenuto quasi verticale, venne attaccato un filo di vetro, in due occasioni, presso alla base della branca basilare (cioè a dire quella che stava in connessione con la radichetta), ed i suoi movimenti furono marcati nella oscurità sopra un vetro orizzontale. Il risultato si fu la formazione di lunghe linee che correvano presso a poco nel piano dell'arco verticale, e ciò, fino alla quasi completa separazione delle due branche, libere allora da ogni pressione. Ma siccome le linee erano a zig-zag, indicando così un movimento laterale, l'arco deve avere circumnutato nello stesso tempo che si raddrizzava in causa dell'accrescimento della superficie interna o concava.

Fig. 3.



Brassica oleracea : movimento circumnutante d'un ipocotilo posto sotto terra ed incurvato (debolmente illuminato per disopra), rilevato sopra un vetro orizzontale durante 45 ore. Movimento della goccia di cera amplificato 25 volte circa, e ridotto, qui, alla metà dell'originale.

Un metodo di osservazione qualche poco differente venne adottato di poi: appena la terra del vase, dove si trovavano i semi, incominciava a screpolarsi, la superficie veniva asportata fino alla profondità di 0,2 pollici, e si fissava un filo di vetro sopra la branca basilare d'un ipocotilo incurvato e sotterrato immediatamente sopra l'apice della radichetta. I cotiledoni erano ancora quasi completamente rinchiusi negli involucri seminali molto fessi; di più, essi erano coperti da un cuscino di terra omogenea ed umida abbastanza fortemente compressa. I movimenti del filo furono rilevati (fig. 3), dalle 11 del mattino del 5 febbraio alle 8 del mattino del giorno 7 dello stesso mese. A quest'ultima epoca i cotiledoni erano usciti dalla terra compressa, ma la parte superiore dell'ipocotilo formava ancora quasi un angolo retto con la parte inferiore. La figura mostra che l'ipocotilo incurvato tende, in questa prima età, a circumnutare irregolarmente. Il primo giorno, il più gran movimento (da destra a sinistra nella figura), non era nel piano dell'ipocotilo verticale ed incurvato, ma invece ad angolo retto con esso o nel piano dei due cotiledoni che si trovavano ancora in contatto perfetto. La branca basilare dell'arco, al momento in cui essa ricevette il filo, era già fortemente inclinata indietro, ossia allontanata dai cotiledoni; se il filo fosse stato fissato prima che si fosse prodotta questa inclinazione, il movimento principale sarebbe stato perpendicolare a quello indicato dalla figura. Fu attaccato un filo ad un altro ipocotilo sotterrato e della medesima età, ed il suo movimento generale fu della stessa natura, ma la linea tracciata non era così complicata. Questo ipocotilo si raddrizzò completamente, ed i cotiledoni uscirono da terra la mattina del secondo giorno.

Prima che fossero fatte le predette osservazioni, vennero scoperti degli ipocotili incurvati, sotterrati ad una profondità di 1/4 di pollice, e per impedire che si separassero le due branche dell'arco, furono attaccate l'una all'altra col mezzo di un filo assai sottile. Abbiamo agito in tal guisa, perchè desideravamo di determinare quanto tempo l'ipocotilo continuerebbe a muoversi nella sua posizione incurvata, e per vedere se il movimento, quando non fosse mascherato e disturbato dal processo di raddrizzamento, indicasse sempre una circumnutazione. Fu fissato dapprima un filo

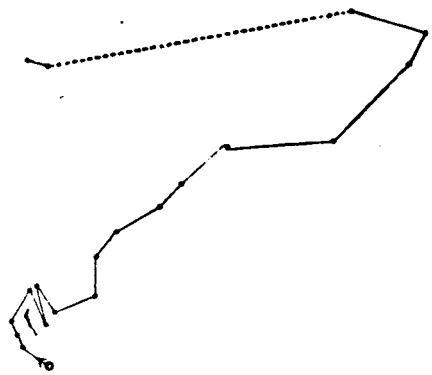
alla branca basilare d'un ipocotilo e precisamente sopra la sommità della radichetta. I cotiledoni erano ancora parzialmente chiusi nell' epispermo. I movimenti si rilevarono (fig. 4) dalle 9,20 del mattino del giorno 23 dicembre, alle 6,45, pure del mattino, del 25 dello stesso mese. Senza dubbio legando assieme le due branche dell'arco, abbiamo turbato di molto il movimento naturale; ma tuttavia si scorge ch'esso formava dei zig-zag distinti, prima in una direzione e poi in senso diametralmente opposto.

Il 24, dopo le 3 di sera l'ipocotilo incurvato rimaneva stazionario per uno spazio di tempo considerevole, ed il suo movimento, se pure si compieva, era assai più

Fig. 4.

Brassica oleracea: movimento circumnutante di un ipocotilo sotterrato ed incurvato, le cui due branche dell'arco erano legate assieme, rilevato sopra un vetro orizzontale durante 33 ore e mezza. Movimento della goccia di cera amplificato 26 volte circa, e ridotto qui alla metà dell'originale.

Fig. 5.



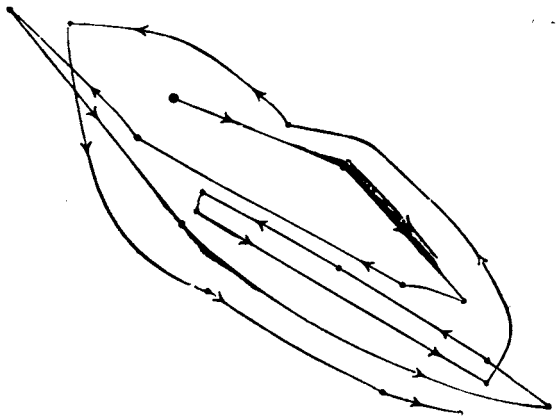
Brassica oleracea: movimento circumnutante della sommità d'un ipocotilo incurvato e sotterrato, di cui le due branche sono legate assieme, rilevato durante 23 ore sopra un vetro orizzontale. Movimento della goccia di cera amplificato 58 volte circa, e ridotto qui alla metà dell'originale.

debole di prima. Perciò la mattima del 25 fu levato il filo dalla base della branca basilare, e venne fissato orizzontalmente alla sommità dell' arco il quale in seguito alla legatura delle branche era divenuto largo e spianato. Si rilevò il movimento durante 23 ore, e potemmo vedere che il tragitto era ancora sempre a zig-zag, ciò che indica una tendenza alla circumnutazione. La base della branca basilare in questo tempo aveva cessato completamente di muoversi.

Appena i cotiledoni sono usciti naturalmente da terra, e l'ipocotilo si è raddrizzato in seguito all'accrescimento della sua porzione interna o concava, nulla si oppone più al libero movimento delle parti; la circumnutazione diviene per conseguenza assai più regolare e distinta, come lo provano i seguenti fatti. — Fu posta una pianticella in faccia e presso ad una fenestra esposta a N.-E., in modo che la linea che congiungeva i due cotiledoni era parallela a questa apertura. Fu così lasciata per tutta la giornata, affinchè potesse adattarsi alla luce. La mattina successiva si fissò un filo sopra la nervatura mediana del cotiledone maggiore e più lungo (che circonda l' altro, più piccolo, mentre restano nel seme), e dopo aver praticato di dietro un segno, si rilevò sopra un vetro verticale, con una grande amplificazione, il movimento della pianta intiera, cioè a dire dell'ipocotilo e dei cotiledoni. In principio la pianta si curvò talmente verso la luce, che riusciva inutile la prova per rilevare il suo movimento; ma a 10 ore del mattino l'eliotropismo cessò

completamente di esercitare la sua azione, e si tracciò il primo punto sul vetro; l'ultimo venne marcato alle ore 8 e 45 di sera; in questo intervallo di 10 ore e 54 minuti erano stati rilevati diciassette punti (V. fig. 6). Dobbiamo soggiungere che allorquando osservammo, poco dopo le 4 p., la goccia di cera, essa era rivolta nella direzione opposta del vetro, ma vi ritornò alle 5,30 p., e la sua corsa in questo intervallo di 1 ora e 30 minuti è stata tracciata coll'immaginazione senza che ciò possa dirsi scorretto. La goccia di cera cambiò sette volte la direzione e descrisse così 3 ellissi e mezza in 10 ore e 3/4; ciascuna di queste ellissi essendo stata tracciata, in media, in 3 ore e 4 minuti.

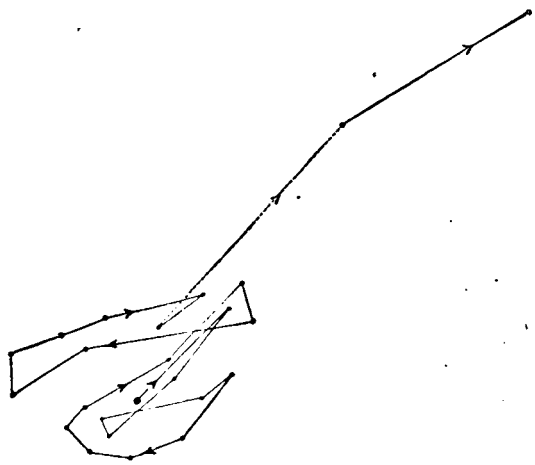
Fig. 6.



Brassica oleracea; circumnutazione riunita dell'ipocotilo e dei cotiledoni, durante 10 ore e 45 minuti. Figura ridotta alla metà dell'originale.

Il giorno precedente, in condizioni simili, era stata osservata un'altra pianticella, con questa differenza che la pianta era posta in modo che una linea congiungente i due cotiledoni era perpendicolare alla fenestra; inoltre il filo era fissato sul cotiledone minore, sul lato più lontano da questa apertura. Del resto, la pianta era posta allora per la prima volta in tale posizione. I cotiledoni si inclinarono fortemente verso la luce dalle 8 alle 10 e 50 del mattino, nel quale momento fu tracciato il primo punto (fig. 7). Durante le 12 ore successive la goccia si mosse 8 volte in direzione obliqua da destra a sinistra, e descrisse 4 figure rappresentanti delle ellissi; in guisa che il suo movimento fu press' a poco della stessa velocità che nel caso precedente. Durante la notte, essa risalì, sotto l'influenza del movimento dovuto al sonno dei cotiledoni, e continuò a muoversi nella stessa direzione fino alle ore 9 del mattino successivo; ma quest'ultimo movimento non si sarebbe prodotto in pianticelle poste in condizioni naturali e completamente esposte alla luce.

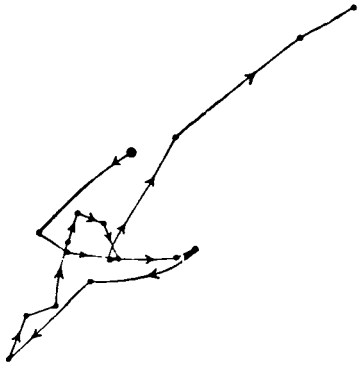
Fig. 7.



Brassica oleracea: circumnutazione riunita dell'ipocotilo e dei cotiledoni, dalle ore 10,50 del mattino alle 8 del mattino successivo; rilevata sopra un vetro verticale.

Il secondo giorno a 9 ore e 25 m. del mattino, lo stesso cotiledone aveva incominciato a ridiscendere, e fu marcato un punto sopra un secondo vetro. Il movimento fu seguìto fino alle ore 5,30 della sera (fig. 8). Ne diamo la figura, perchè il tragitto percorso era assai più irregolare di quello rilevato nelle osservazioni precedenti. Durante queste 8 ore, la goccia cambiò dieci volte notevolmente la sua direzione. Si vede qui distintamente il movimento ascendente del cotiledone nel corso della sera e nella prima parte della notte.

Fig. 8.



Brassica oleracea: circumnutazione, durante 8 ore, dell'ipocotito e dei cotiledoni riuniti. Figura ridotta al terzo dell'originale, rilevata sopra un vetro verticale.

Siccome i fili erano fissati, nei tre ultimi casi, sopra l'uno dei cotiledoni, e l'ipocotilo era lasciato libero, le figure mostrano il movimento di due organi riuniti; desiderammo sapere se tutti e due circumnutassero.

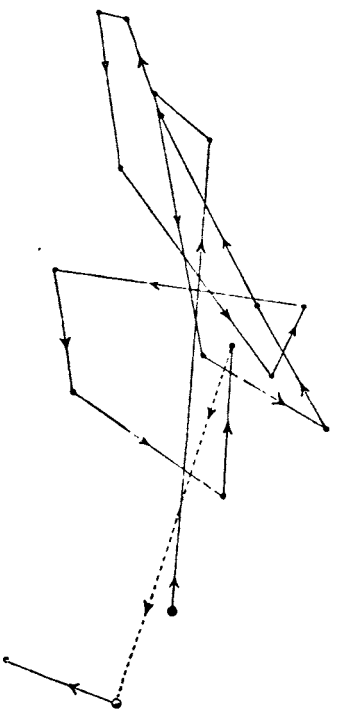
Furono dunque posti dei fili orizzontalmente sopra due ipocotili attaccati al disotto dei picciuoli dei loro cotiledoni. Le pianticelle erano rimaste per due giorni nella medesima posizione davanti ad una finestra esposta a N.-E. Al mattino ad 11 ore circa si diressero, descrivendo delle linee a zig-zag, verso la luce; e la notte, sotto l'influenza dell'apogeotropismo, si raddrizzarono di nuovo completamente. Alle ore 11 a. m. circa, esse avevano un leggero movimento per allontanarsi dalla luce, ed incrociavano sovente e ripetutamente la loro prima direzione con delle linee a zig-zag. La luce del sole, in quel giorno, variò molto d'intensità; queste osservazioni provano soltanto che gli ipocotili avevano un movimento continuo rassomigliante alla circumnutazione. Un giorno precedente, con un tempo uniformemente nuvoloso, un ipocotilo venne attaccato ad un piccolo bastone, si fissò un filo al maggiore dei due cotiledoni, e se ne rilevò il movimento sopra un vetro verticale. Esso discese molto dalle 8,52 del mattino, momento in cui fu rilevato il primo punto, fino alle 10,55 ant., salì quindi molto fino alle 12,17 pom.; discese poscia in modo insignificante e descrisse un nodo, ma a partire dalle 2,22 della sera si elevò un poco e continuò a rimontare fino alle 9,23 pom. Descrisse allora un secondo nodo e alle 10 e mezza pom. rimontò di nuovo. Queste osservazioni mostrano che i cotiledoni si muovevano verticalmente in alto ed in basso per tutta la giornata, e siccome avevano insieme un leggero movimento laterale, circumnutavano.

Le pianticine del cavolo furono tra le prime da noi esaminate, e allora non sapevamo fino a quale punto la circumnutazione delle differenti parti fosse influenzata dalla luce. Tenemmo quindi delle pianticelle nella perfetta oscurità, toltone il tempo impiegato (un minuto o due) per ogni osservazione; durante il quale erano rischiarate da una piccola candela di cera posta quasi verticalmente sopra di esse. Durante il primo giorno, l'ipocotilo di una di queste pianticelle cambiò 13 volte di direzione (fig. 9), ed è d'uopo osservare che gli assi maggiori delle figure descritte s'incrociavano spesso ad angolo retto o quasi. Fu osservata nella stessa maniera un'altra pianticina, ma essa era assai più vecchia, poichè aveva una vera foglia lunga un quarto di pollice, e l'ipocotilo misurava in altezza pollici 1 3/8. La figura tracciata divenne assai complessa, quantunque il movimento non avesse un'estensione così considerevole come nel caso precedente.

L'ipocotilo di un'altra pianticella della medesima età fu obbligato ad un piccolo bastone, e si fissò un filo di vetro sulla nervatura mediana di uno dei cotiledoni.

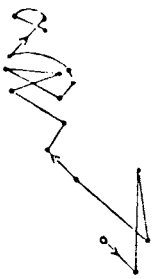
Il movimento della goccia venne rilevato nell'oscurità per 14 ore e 15 minuti (fig. 10). È da osservare che il movimento principale dei cotiledoni, cioè quello in alto e basso, non è indicato sopra un vetro orizzontale che dall'allungamento e dal raccorciamento delle linee dirette nel senso della nervatura mediana (cioè dall'alto al basso nella posizione della figura 10), mentre è indicato pienamente ogni movimento laterale. La figura mostra che il cotiledone si è mosso effettivamente dodici volte in senso laterale (da destra a sinistra nella figura) nelle 14 ore e 15 minuti di osservazione. I cotiledoni circumnutavano dunque in modo evidente, sebbene il loro movimento principale si esercitasse dall'alto al basso in un piano verticale.

Fig 9.



Brassica oleracea: circumnutazione dell' ipocotilo rilevata nell'oscurità sopra un vetro orizzontale, col mezzo di un filo di vetro portante una goccia di cera alla sua sommità, dalle 9,15 del mattino alle 8,30 del mattino successivo. Figura ridotta alla metà dell'originale.

Fig. 10.



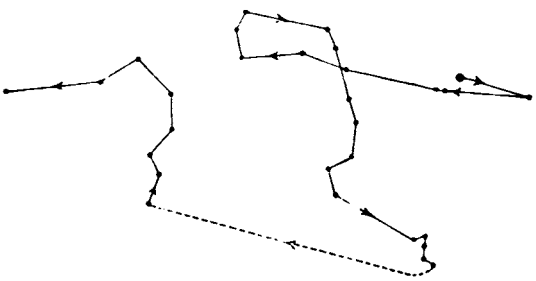
Brassica oleracea: circumnutazione di un cotiledone, l'ipocotilo essendo fissato ad un piccolo bastone, rilevata sopra un vetro orizzontale e nell'oscurità dalle 8,15 del mattino alle 10,30 di sera. Movimento della goccia di cera amplificato 13 volte.

Rapidità del movimento. — I movimenti degli ipocotili e dei cotiledoni che avvengono nelle giovani pianticelle dei cavoli di differenti età sono stati ora dimostrati abbastanza chiaramente. Per apprezzare la loro rapidità, collocammo le pianticelle sotto al microscopio, cui era stato levato il tavolo e che si aveva munito di un oculare micrometrico del quale ogni divisione segnava 1/500 di pollice. Le piante erano rischiarate da una luce che traversava una soluzione di bicromato di potassio per evitare l'eliotropismo. Era interessante, in queste condizioni, di vedere con quale rapidità la punta di un cotiledone, circumnutando, passava sulle divisioni del micrometro. Mentre questa punta progrediva in una direzione, oscillava generalmente in avanti ed in dietro nell'estensione di 1/500 e talora perfino di 1/250 di pollice. Queste oscillazioni differivano completamente dal tremolìo causato da un urto o dal chiudersi di una porta lontana.

Il primo rampollo osservato aveva circa 2 pollici di altezza ed era intisichito per essere cresciuto nell'oscurità. L'estremità del cotiledone traversava dieci divisioni del micrometro ossia oltre 1/50 di pollice in 6 minuti e 40 secondi. Furono allora fissati verticalmente sugli ipocotili di molte pianticelle dei corti fili di vetro in guisa

che sorpassavano un poco i cotiledoni e quindi esageravano la rapidità del movimento; ma alcune soltanto delle osservazioni così fatte meritano d'essere riferite. Il fatto più rimarchevole erano i movimenti oscillatorii, che vennero sopra descritti, e la differenza di velocità che possedeva la goccia di cera, attraversando le divisioni del micrometro a brevi intervalli. Per es. una pianticella vigorosa, non intisichita, dopo di aver dimorato 14 ore nell'oscurità, fu esposta durante due o tre minuti davanti ad una finestra a N.-E., mentre si fissò un filo di vetro verticalmente sull'ipocotilo; e fu allora nuovamente messa nell'oscurità per una mezz'ora e poi osservata col mezzo di una luce che attraversava una soluzione di bicromato potassico. La goccia di cera, oscillando come al solito, traversò cinque divisioni del micrometro (ossia 1/100 di pollice) in 1 m. e 30 s. La pianticella venne poscia lasciata nell'oscurità per un'ora, ed impiegò 3 m. e 6 s. per attraversare una divisione; ossia essa avrebbe impiegato 15 m. e 30 s. per attraversarne cinque. Un'altra piantina che occasionalmente era stata osservata a luce debole in fondo ad un ambiente esposto al nord, poi lasciata per mezz'ora nell'oscurità completa, attraversò cinque divisioni in 5 minuti dirigendosi verso la finestra, da che concludemmo che il movimento era eliotropico. Ciò che probabilmente non era vero, poichè essa posta presso ad una finestra esposta al N.-E. e lasciata là 25 minuti, in luogo di dirigersi anche più fortemente verso la luce, come si avrebbe potuto credere, vi si diresse soltanto con una velocità di cinque divisioni per 12 m. e 30 s. Si lasciò poi di nuovo per un'ora nell'oscurità, e la goccia di cera procedeva nella medesima direzione di prima, ma con una velocità di cinque divisioni per 3 m. e 18 s.

Fig. 11.



Githago segetum: circumnutazione dell'ipocotilo, rilevata dalle 8,15 del mattino alle 12,15 pom. del giorno successivo, sopra un vetro orizzontale col mezzo di un filo fissato trasversalmente alla di lui sommità. Movimento della goccia di cera amplificato 13 volte, e ridotto qui alla metà dell'originale.

Ritorneremo sui cotiledoni del cavolo in un capitolo seguente, quando tratteremo dei movimenti dovuti al sonno; descriveremo del pari più tardi la circumnutazione delle foglie di piante completamente sviluppate.

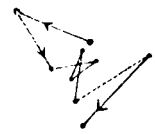
Githago segetum (Caryophilleæ). — Una giovane pianticella venne debolmente rischiarata per disopra, e si osservò la circumnutazione dell'ipocotilo durante 28 ore (fig. 11). Esso si muoveva in tutte le direzioni; le linee, che nella figura vanno da destra a sinistra, erano parallele alle lamine dei cotiledoni. La distanza effettiva percorsa dall'apice dell'ipocotilo da una parte all'altra era di circa 0,2 pollici, ma riesciva impossibile di essere esatti su questo punto, poichè più la pianta era vista obliquamente, dopo di aver camminato per qualche tempo, più le distanze erano esagerate.

Ci siamo forzati di osservare la circumnutazione dei cotiledoni, ma siccome questi si uniscono l'uno all'altro se non sono esposti ad una luce moderata, e siccome l'ipocotilo è assai sensibile all'eliotropismo, avveniva che era assai difficile di prendere le disposizioni necessarie. Ritorneremo in altro capitolo sui movimenti notturni dei cotiledoni.

Gossypium (var. Cotone Nankin) (Malvaceæ). — La circumnutazione dell'ipocotilo fu osservata nella serra calda; ma il movimento era talmente esagerato, che

la goccia di cera scomparve due volte per un certo tempo dal campo visivo. Ne risultò però chiaro, che erano state descritte in circa 9 ore due ellissi alquanto irregolari. Si osservò di poi un altro rampollo di pollici uno e mezzo di altezza durante 23 ore, ma le osservazioni non furono fatte a degli intervalli abbastanza corti, come lo mostrano i diversi punti della figura 12, e il disegno non era sufficientemente amplificato. Tuttavia non sussiste alcun dubbio sulla circumnutazione dell'ipocotilo, che descrisse in 12 ore una figura rappresentante tre ellissi irregolari di grandezze ineguali.

Fig. 12.



Gossypium: circumnutazione dell'ipocotilo, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 10,30 del mattino alle 9,30 del mattino successivo col mezzo di un filo fissato alla di lui sommità. Movimento della goccia di cera amplificato 2 volte circa; la pianticella è illuminata per disopra.

I cotiledoni erano animati per tutto il giorno da un movimento costante in su e giù, e siccome offrono la eccezionale particolarità di discendere tardo alla sera e durante una parte della notte, si fecero su di essi molte osservazioni. Fu fissato un filo sul mezzo di uno di essi ed il suo movimento venne tracciato sopra un vetro verticale; non diamo questa figura, perchè l'ipocotilo non venne fissato, così che non fu possibile di distinguere nettamente il suo movimento da quello del cotiledone.

I cotiledoni si elevarono dalle 10.30 del mattino alle 3 circa della sera, e ridiscendevano poi fino alle 10 della sera per elevarsi di molto nell'ultima parte della notte. Nella breve tabella che segue diamo gli angoli che facevano con l'orizzonte, a differenti ore, i cotiledoni di un'altra pianticella:

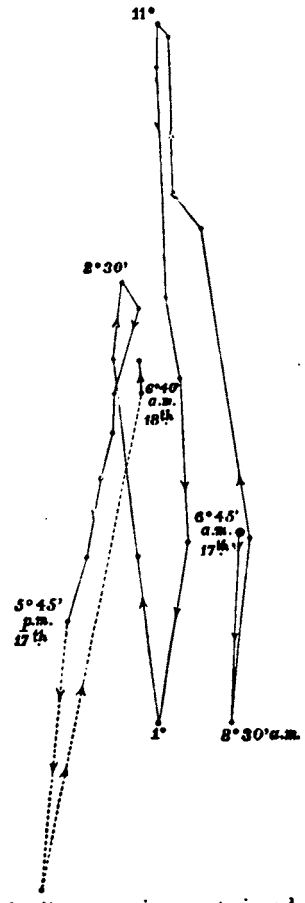
20	ottobre	2	ore e	50	di sera	25°	al disopra dell'orizzonte.
	id.	4	»	20	»	22°	id.
	id.	5	»	20	»	15°	id.
	id.	10	»	40	»	8°	id.
21	id.	8	»	40	di mattina	28°	id.
	id.	11	»	15	»	35°	id.
	id.	9	»	11	di sera	10°	al disotto dell'orizzonte.

La posizione dei due cotiledoni fu rilevata grossolanamente a diverse ore con gli stessi risultati generali.

Nella successiva estate si fissò l'ipocotilo di una quarta pianticella ad un piccolo bastone e si attaccò sopra uno dei cotiledoni un filo di vetro, munito di triangoli di carta; i suoi movimenti furono rilevati sopra una lamina di vetro verticale, sotto una doppia invetriata ed all'interno della casa. Il primo punto fu marcato a 4 ore e 20 m. della sera del 20 giugno; il cotiledone si abbassò fino alle 10.15 della sera, seguendo una linea quasi retta. Poco dopo la mezzanotte, esso si trovava un poco più basso, e leggermente inclinato da una parte. Alla mattina successiva a 3 ore e 45 minuti si era di molto alzato, ma alle 6.20 ant. si era nuovamente alquanto abbassato. Durante tutto quel giorno (del 21) si abbassò seguendo una linea leggermente ondulata, ma la sua corsa normale era modificata dall'insufficienza della luce, poichè, durante la notte esso non si alzò che assai limitatamente, e tutto il giorno appresso, come nel corso della notte del 22 giugno, si mosse irregolarmente. Le linee ascendenti e discendenti tracciate durante questi tre giorni non coincidevano punto, ciò che indica che il movimento era di circumnutazione. Questo rampollo essendo poscia stato collocato nella serra, fu visitato cinque giorni dopo a 10 ore di sera; i cotiledoni si trovavano in una posizione tanto avvicinata alla verticale, che si poteva ben dire che dormivano. La mattina successiva essi avevano ripresa la loro abituale posizione orizzontale.

Oxalis rosea (Oxalideæ). — L'ipocotilo fu obbligato ad un bastoncino, ed un filo di vetro estremamente sottile, munito di due triangoli di carta, venne fissato ad uno dei cotiledoni che misurava 0,15 pollici in lunghezza. In questa specie, e nella seguente, l'estremità del picciuolo della foglia nel punto dove si unisce all'orlo, si allarga in un cuscinetto. La punta del cotiledone si trovava soltanto a 5 pollici dalla lamina verticale del vetro, in guisa che mentre rimaneva a un dipresso orizzontale, il suo movimento non era molto amplificato; ma nel corso della giornata essa si elevò molto al di sopra e discese al disotto della posizione orizzontale, e perciò i suoi movimenti riuscirono molto amplificati.

Fig. 13.



Oxalis rosea : circumnutazione dei cotiledoni essendo fissato l'ipocotilo ad un bastoncino. L'illuminazione proviene dall'alto. La figura è ridotta a metà dell'originale.

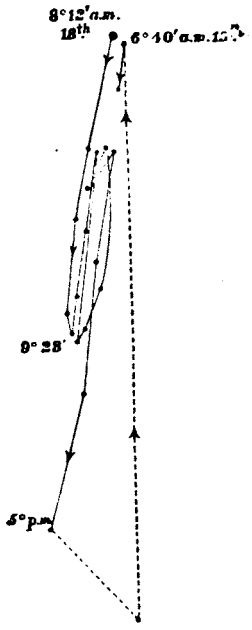
La figura 13 indica il suo cammino dalle 6.45 del mattino del 17 giugno al mattino successivo alle 7.40, e noi vediamo che durante la giornata nell'intervallo di 11 ore e 15 minuti si abbassò tre volte e si elevò due. Dopo le 5.45 della sera si abbassò rapidamente, ed un'ora o due più tardi pendeva verticalmente. Così rimase tutta la notte dormendo. Questa posizione non può essere rappresentata sopra un vetro verticale, nè nella figura che diamo. Il mattino seguente (del 18) alle 6.40 i due cotiledoni si erano di molto elevati, e continuarono ad elevarsi fino alle 8 antimeridiane; essi erano allora quasi completamente orizzontali. Il loro movimento venne rilevato durante tutto quel giorno e fino al mattino successivo, ma noi non ne diamo la figura, la quale somiglia del tutto alla figura 13, colla sola differenza che le linee formavano degli zig-zag più numerosi. I cotiledoni si mossero sette volte, sia in alto, sia in basso, ed il grande movimento del sonno notturno cominciò circa alle 4 di sera.

Si osservò nello stesso modo un'altra pianticella per un periodo di circa 24 ore, ma colla differenza che l'ipocotilo in questo caso era libero; inoltre il movimento venne meno amplificato. Fra le 8.12 del mattino e le 5 di sera, del 18, l'estremità del cotiledone si mosse sette volte in alto ed in basso (fig. 14). Il movimento del sonno notturno, che non è che una esagerazione di una delle oscillazioni diurne, cominciò a circa 4 ore della sera.

Oxalis Valdiviana (Oxalideæ). — Questa specie è interessante per il fatto che i cotiledoni si elevano perpendicolarmente durante la notte in modo da venire tra loro in istretto contatto in luogo di cadere verticalmente come nell'*Oxalis rosea*. Si fissò un filo di vetro sopra un cotiledone di 0,17 pollici di lunghezza, lasciando libero l'ipocotilo. Il primo giorno la pianticella era posta troppo lontana dal vetro verticale, per cui la figura riuscì enormemente esagerata ed il movimento non potè essere rilevato allorchè il cotiledone si alzava o si abbassava molto; ma si vide chiaramente che i cotiledoni si alzarono tre volte e si abbassarono due fra le 8.15 del mattino e le 4.15 della sera. Al mattino successivo (19 giugno) per tempo la

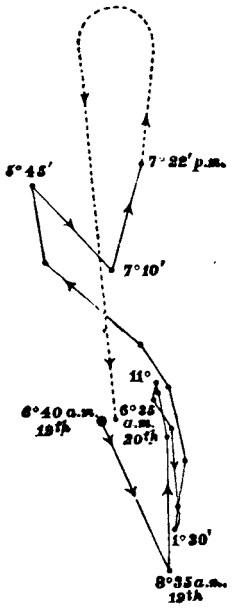
sommità di un cotiledone fu posta soltanto a pollici 1 7/8 dal vetro verticale. A 6 ore e 40 minuti del mattino il cotiledone era orizzontale, discese poscia fino alle 8.35 e quindi rimontò; complessivamente nell'intervallo di dodici ore salì tre volte e discese tre, come lo mostra la figura 15. Il grande movimento notturno che innalza i cotiledoni comincia di solito alle 4 o 5 ore della sera, ed alla mattina successiva circa alle 6.30 questi organi sono sviluppati orizzontalmente; nel caso attuale però questo grande movimento non cominciò che alle 7 pomeridiane, ma ciò dipese dal fatto che l'ipocotilo, per una causa ignota, si era inclinato momentaneamente

Fig. 14.



Oxalis rosea: circumnutazione combinata dei cotiledoni e dell'ipocotilo, rilevata dalle 8,12 del mattino del giorno 18 giugno alle 7.30, pure del mattino, del giorno 19 s. m L'estremità del cotiledone si trova a soli pollici 3 3/4 dal vetro verticale. Figura ridotta alla metà.

Fig 15.



Oxalis valdiviana: circumnutazione combinata d'un cotiledone e dell'ipocotilo, rilevata sopra un vetro verticale durante 24 ore. Figura ridotta alla metà. Il rampollo è rischiarato per di sopra.

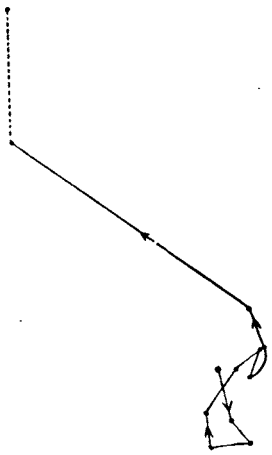
verso la sinistra, come lo mostra la figura. Per constatare positivamente la circumnutazione dell'ipocotilo, si pose un segnale alle 8.15 della sera dietro i due cotiledoni che erano riuniti e verticali, e si rilevò il movimento d'un filo posto eretto sulla sommità dell'ipocotilo fino alle 10.40 della sera. Durante tutto questo tempo si mosse da dritta a sinistra e dall'avanti all'indietro, manifestando così un'evidente circumnutazione; questo movimento era tuttavia di lieve estensione. La figura 15 indica abbastanza bene lo spostamento dei soli cotiledoni, se si eccettua la grande inclinazione verso la sinistra ch'ebbe luogo dopo mezzodì.

Oxalis corniculata (var. *cuprea*). — Durante la notte i cotiledoni si elevano al disopra dell'orizzonte seguendo un angolo variabile che è generalmente di 45° circa. Osservati sopra delle pianticelle di due e di cinque giorni, si trovarono in movimento per tutta la giornata; ma questi movimenti erano più semplici di quelli delle

due ultime specie. Ciò può in parte dipendere dal fatto che le piante non erano abbastanza illuminate mentre venivano tenute in osservazione, poichè i cotiledoni non incominciarono ad innalzarsi che nelle ore tarde della sera.

Oxalis (*Biophytum*) *sensitiva.* — I cotiledoni sono assai rimarchevoli per l'ampiezza e la rapidità dei loro movimenti diurni. Gli angoli ch'essi fanno al disopra o al disotto dell'orizzonte vennero misurati a brevi intervalli, e ci rincresce che non sieno stati rilevati durante l'intera giornata. Noi non daremo che alcune fra le misure che prendemmo, mentre i rampolli erano esposti ad una temperatura di 22°5 a 24°5 C. Un cotiledone si elevò di 70° in 11 minuti, un altro, di una pianticella diversa, si abbassò di 80° in 12 minuti. Immediatamente prima lo stesso cotiledone si era elevato dalla posizione verticale (la sua estremità diretta in basso) alla posizione diametralmente opposta (la sua estremità diretta in alto) in un'ora e 48 minuti ed aveva così percorso 180° in meno di due ore. Noi non abbiamo incontrato nessun altro esempio di movimento di circumnutazione di 180°, nè di velocità di 80° in 12 minuti. I cotiledoni di questa pianta dormono alla notte in modo che alzandosi verticalmente si appoggiano affatto l'uno contro l'altro. Questo movimento dal basso all'alto non differisce da una delle grandi oscillazioni diurne che abbiamo descritte, che per la costanza della posizione del cotiledone durante tutta la notte, e per la sua periodicità, poichè esso incomincia sempre ad un'ora avanzata della sera.

Fig. 16.



Tropæolum minus (?): circumnutazione dell'ipocotilo arcuato e sotterrato, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 9,20 ant. alle 8,15 p. Movimento della goccia di cera ingrandito 27 volte.

Tropæolum minus (?) (var. Thom Thumb) (Tropæoleæ). — I cotiledoni sono ipogei e non si elevano giammai al disopra del suolo. Rimuovendo la terra, trovammo un epicotilo (plumula) sotterrato, la cui sommità era fortemente incurvata verso il basso come l'ipocotilo curvato di cavolo che abbiamo già descritto. Un filo di vetro munito di una goccia di cera fu fissato sulla branca basilare al disopra del cotiledone ipogeo che era ancora quasi completamente circondato da terra mobile. La figura 16 mostra il cammino della goccia di cera durante undici ore. Dopo l'ultimo punto marcato su questa figura, la goccia fu trascinata a grande distanza e finalmente fuori della lamina di vetro nella direzione che indica la linea punteggiata.

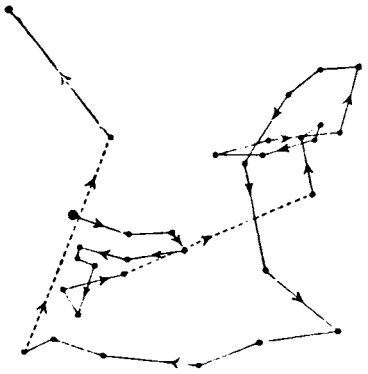
Questo grande movimento, determinato dall'accrescimento della superficie concava dell'arco, era dovuto a ciò che la branca basilare venne ripiegata dalla porzione superiore, cioè a dire in direzione opposta alla estremità pendente come avveniva nell'ipocotilo di cavolo. Si osservò nella stessa maniera un altro epicotilo incurvato e sotterrato, colla differenza che le due estremità erano legate assieme da un filo assai sottile, affine d'impedire il grande movimento testè descritto. Il suo spostamento nella sera ebbe luogo nello stesso senso di prima, ma la linea seguìta divenne meno retta. Nella mattina, l'arco legato descrisse un cerchio irregolare formando dei leggeri zig-zag ed a una distanza maggiore che nel caso precedente, come lo mostra un diagramma amplificato diciotto volte. Descriveremo in seguito il movimento di una giovane pianta portante alcune foglie, e di un'altra pianta più vecchia.

Citrus aurantium (arancio) (Aurantiaceæ). — I cotiledoni sono ipogei. La

figura qui unita (fig. 17) mostra la circumnutazione di un epicotilo che, alla fine delle nostre osservazioni, sporgeva pollici 0,59 (15 mm.) al disopra del suolo; questo movimento venne osservato per un periodo di 44 ore e 40 minuti.

Æsculus hyppocastanum (Hippocastaneæ). — Si posero dei semi germoglianti in una scatola di stagno mantenuta umida all'interno e munita di un letto inclinato di sabbia argillosa umida, sul quale riposavano quattro lamine di vetro affumicate, inclinate di 70° e di 65° sull'orizzonte. Le estremità delle radichette erano collocate in modo da venire precisamente in contatto con la parte superiore di queste lamine di vetro, e nel loro accrescimento verso il basso premevano leggermente, sotto l'azione del geotropismo, la superficie annerita, lasciandovi traccia del loro

Fig. 17.

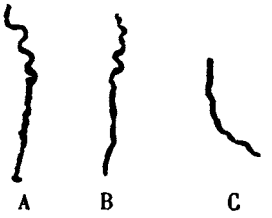


Citrus aurantium: circumnutazione dell'epicotilo portante un filo fissato trasversalmente presso alla sua estremità, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 12,13 pom. del 20 febbraio alle 8,55 ant. del 22. Movimento della goccia di cera amplificato 21 volta, ossia 10 1/2 sulla figura data qui, ed in seguito 36, qui 18, la pianta essendo rischiarata per disopra.

Fig 18.

Æsculus hippocastanum: Abbozzi di traccie lasciate sopra dei vetri inclinati dalle estremità delle radichette. In A il vetro era inclinato di 70° con l'orizzonte e la radichetta aveva pollici 1,9 di lungh. e di diametro alla sua base. In B, l'inclinazione era di 65°, e la radichetta era un po' più grande.

Fig. 19.



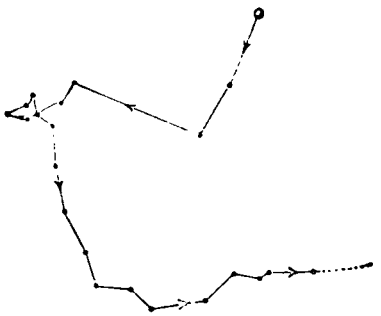
Phaseolus multiflorus. traccie lasciate sopra dei vetri annerii ed inclinati dalle estremità delle radichette durante il loro accrescimento. A e C, vetri inclinati di 60°; B, vetro inclinato di 68° sull'orizzonte.

cammino. Nella parte mediana di ogni traccia, il vetro venne completamente pulito, ma i bordi si mostrarono molto distinti e irregolari. Furono prese sopra carta copiativa, posta sulle lamine di vetro che erano state precedentemente verniciate, delle copie di due di queste traccie (tutte quattro si somigliavano fra di loro), e riuscirono esatte quanto mai era possibile per ciò che riguarda la natura dei margini (fig. 18). E sono sufficienti per mostrare che vi era un movimento laterale tortuoso e che le estremità delle radichette nella loro corsa discendente premevano sulle lamine con forza ineguale, laonde le traccie variarono nella larghezza. Le linee tortuose perfette tracciate dalle radichette del *Phaseolus multiflorus* e della *Vicia faba* (che saranno tosto descritte) mettono fuori di dubbio la circumnutazione di questi organi.

Phaseolus multiflorus (Leguminosæ). — Quattro lamine di vetro annerite furono disposte come l'abbiamo già indicato per l'*Æsculus*, e le traccie lasciate, durante il loro accrescimento discendente, dalle estremità di quattro radichette della specie di cui ci occupiamo, furono fotografate come oggetti trasparenti. La figura 19 rappresenta esattamente tre di esse. Il loro cammino serpentino mostra che le estre-

mità si portarono regolarmente da destra a sinistra; esse premevano inoltre alternativamente, con più o meno forza, sulle lamine di vetro, elevandosi qualche volta fino al punto da abbandonarle per qualche breve intervallo; ma questo fatto era assai più visibile sulle lamine stesse che sulle copie. Le radichette per conseguenza si muovevano continuamente in tutte le direzioni; cioè a dire circumnutavano. La distanza fra le posizioni estreme (a destra ed a sinistra) della radichetta A, nel suo movimento laterale, era di 2 mm., ciò che determinammo con delle misure prese con un oculare micrometrico.

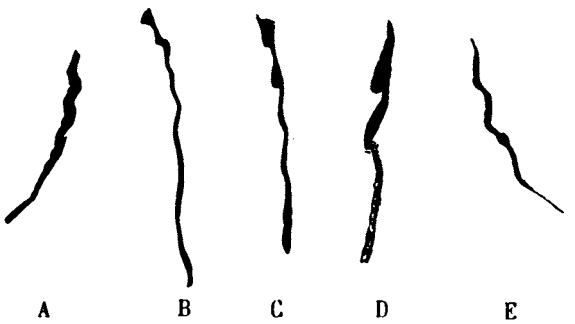
Fig. 20.



Vicia faba: circumnutazione di una radichetta, in principio verticale, tenuta nell'oscurità, rilevata sopra un vetro orizzontale durante 14 ore. Amplificazione del movimento della goccia di cera, 23 volte. Riduzione alla metà.

Vicia faba (veccia comune) (Leguminosæ) — Radichetta. — Alcune veccie furono messe a germogliare sopra della sabbia nuda, e dopo che una di esse ebbe sviluppata la sua radichetta fino ad una lunghezza di pollici 0,2, venne rovesciata in guisa che la radichetta che era rimasta nell'aria umida si trovava raddrizzata. Un filo di vetro lungo quasi un pollice fu fissato obliquamente presso alla sua estremità, ed il movimento della goccia di cera potè essere rilevato dalle 8.30 del mattino alle 10.30 della sera, come lo mostra la figura 20. In principio la radichetta cambiò due volte repentemente la sua direzione, quindi descrisse un piccolo nodo ed in seguito una linea a zig-zag molto più larga. Durante la notte, e fino alla mattina successiva alle 11, la goccia di cera percorse una grande distanza in linea quasi retta, nella direzione indicata sulla figura dalla linea punteggiata. Ciò proveniva dal fatto che l'apice s'incurvava fortemente in basso, ed aveva così guadagnato una posizione assai obliqua e molto favorevole all'azione del geotropismo.

Fig. 21.



Vicia faba: traccie lasciate sopra dei vetri anneriti dalle estremità delle radici durante il loro accrescimento. Il vetro C era inclinato di 63°, i vetri A e D di 71°, il vetro B di 75°, il vetro E di alcuni pochi gradi sotto l'orizzonte.

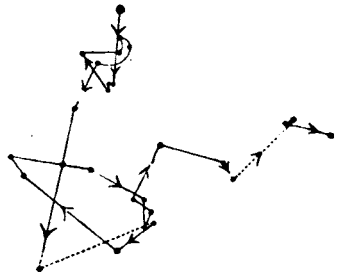
Esperimentammo in seguito sopra circa venti radichette, mettendole a crescere su vetri anneriti inclinati esattamente nella stessa maniera che seguimmo per l'*Æsculus* ed il *Phaseolus*. Alcune delle lamine di vetro non erano inclinate che di alcuni gradi sull'orizzonte, ma la maggior parte di esse lo erano di 60° e di 75°. In quest'ultimo caso le radichette crescendo in basso non vennero che leggermente deviate dalla posizione che avevano preso germogliando nella segatura, ed esercitarono una pressione insensibile sul vetro (fig. 21). Cinque di queste traccie, le più distinte, sono state qui copiate; esse sono leggermente sinuose e manifestano la circumnutazione. Di più, un esame attento di ciascuna di queste traccie mostra che le radichette, nella loro marcia verso il basso, avevano premuto con più o meno

forza, alternativamente, sul vetro, e si erano talvolta alzate da abbandonare quasi la lamina per un tempo assai breve.

Epicotilo. — Nel punto dove era sortita la radichetta di una veccia lasciata sul fianco, una massa solida ed appiattita faceva una sporgenza di pollici 0,1 sul medesimo piano orizzontale della veccia.

Essa era formata dalla sommità convessa dell'epicotilo incurvato e quando esso si sviluppò, le due branche dell'arco si curvarono lateralmente verso l'alto sotto l'azione dell'apogeotropismo con tanta velocità che l'arco era fortemente inclinato dopo 14 ore, e verticale dopo 48. Fu fissato un filo di vetro all'apice della protuberanza prima che l'arco fosse visibile, ma la parte basilare crebbe sì rapidamente che al mattino seguente l'estremità del filo era fortemente inclinata in basso. Fu dunque tolto il filo e fissato più in basso. La linea tracciata durante questi due giorni correva nella medesima direzione generale, e in certi punti era quasi dritta ed in altri completamente sinuosa, offrendo così la prova di circumnutazione.

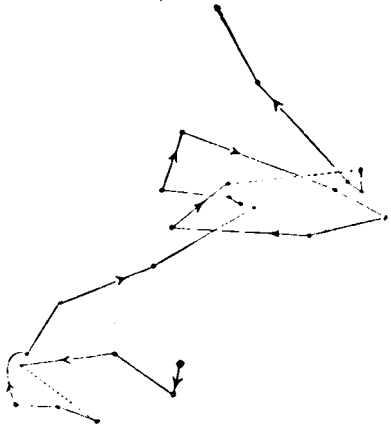
Fig. 22.



Vicia faba: circumnutazione di un giovane epicotilo rilevato nell'oscurità sopra un vetro orizzontale durante 50 ore. Movimento della goccia di cera amplificato 20 volte e ridotto qui alla metà.

Siccome l'epicotilo incurvato, in qualunque posizione sia posto, s'inclina fortemente verso l'alto sotto l'azione dell'apogeotropismo, e le due branche tendono assai per tempo a separarsi l'una dall'altra appena vengono liberate dalla pressione della terra circostante; così, finchè esso stava incurvato, era difficile di determinare con precisione se circumnutasse. Alcune veccie sotterrate profondamente furono quindi messe allo scoperto, e le due branche dell'arco legate assieme come l'abbiamo fatto per l'epicotilo del *Tropæolum* e l'ipocotilo del cavolo. I movimenti degli archi legati vennero rilevati col solito metodo, in due occasioni, per tre giorni. Ma i diagrammi ottenuti in condizioni sì poco naturali non meritano di essere riportati; è soltanto necessario di dire che le linee erano decisamente a zig-zag e che si formavano tratto tratto dei piccoli nodi. Possiamo da ciò concludere che l'epicotilo circomnuta mentre è ancora incurvato, e prima che sia abbastanza cresciuto da apparire alla superficie del suolo.

Fig. 23.



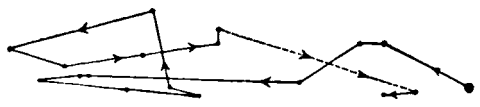
Vicia faba: circumnutazione del medesimo epicotilo della fig. 22, un po' più vecchio, tracciata in condizioni simili dalle 8,40 ant. del 28 dicembre alle 10,50 ant. del 30. Movimento della goccia di cera amplificato 20 volte.

Per osservare i movimenti dell'epicotilo ad un'età più avanzata, fissammo un filo presso la base di uno di questi organi che non era più incurvato, poichè la sua parte superiore formava allora un angolo retto con la metà inferiore. Questa veccia aveva germogliato allo scoperto sopra sabbia umida, e l'epicotilo incominciava a rad-

drizzarsi molto più presto di quello che non avrebbe fatto se la veccia fosse stata piantata nel modo ordinario. Il suo cammino seguìto per 50 ore (dalle 9 del mattino del 26 dicembre alle 11 del mattino del 28) è indicato dalla figura 22 e noi vedemmo che l'epicotilo circumnutava durante tutto questo tempo. La parte basilare prese un tale accrescimento durante queste 50 ore che il filo alla fine delle nostre osservazioni si trovava attaccato ad una altezza di 0,4 pollici al disopra della superficie della veccia, anzichè in prossimità della medesima. Se la veccia fosse stata piantata come si deve, questa parte dell'epicotilo sarebbe stata ancora sotto la superficie del suolo.

Li 28 a tarda sera, qualche ora dopo la fine di queste osservazioni, l'epicotilo si era di molto raddrizzato, tanto che la parte superiore formava con la inferiore un angolo molto aperto. Fu fissato un filo sulla parte basilare raddrizzata, più in alto di prima ed immediatamente al disotto di una piccola prominenza squamosa, l'omologo di una foglia; il suo movimento fu rilevato durante 38 ore (fig. 23). Qui abbiamo ancora prove evidenti di una circumnutazione continua. Se la veccia fosse stata piantata come si conviene, la parte dell'epicotilo alla quale era attaccato il filo di vetro ed il cui movimento è qui indicato, si sarebbe probabilmente appena allora elevata al disopra della superficie del suolo.

Fig. 24.



Lathyrus nissolia: circumnutazione del gambo di una giovane pianticella, tracciata nell'oscurità sopra un vetro orizzontale dalle 6,45 ant. del 22 novembre alle 7 ant. del 23. Movimento dell'estremità della foglia amplificato 12 volte circa, e ridotto qui alla metà.

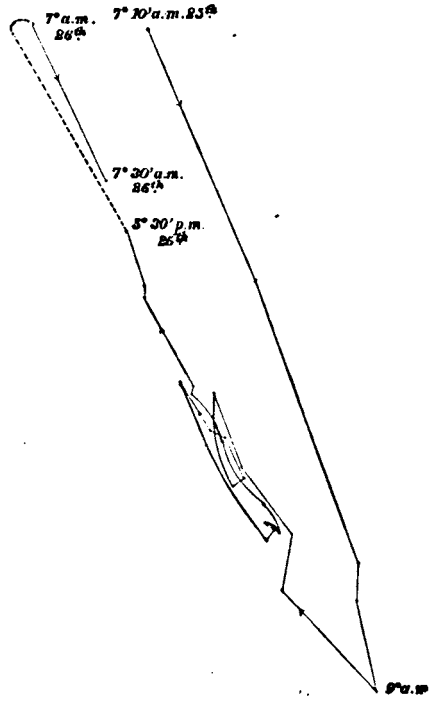
Lathyrus nissolia (Leguminosæ). — Questa pianta venne scelta per le nostre osservazioni in causa della sua forma anormale, avendo le foglie simili a quelle di una pianta graminacea. I cotiledoni sono ipogei, e l'epicotilo quando esce dalla terra è incurvato. La figura 24 mostra i movimenti, durante 24 ore, di un gambo di pollici 1,2 di altezza, composto di 3 internodii di cui l'inferiore era intieramente sotterraneo, mentre il superiore portava una foglia corta e stretta. Non impiegammo il filo di vetro, ma ponemmo un segnale sotto la sommità della foglia. La reale dimensione, a questo momento, della più lunga delle due ellissi descritte dal gambo è di circa pollici 0,14. La vigilia, la direzione principale del movimento era quasi ad angolo retto con quella indicata sulla figura, ed il suo cammino era più semplice.

Cassia tora (1) (Leguminosæ). — Si collocò una pianticella davanti ad una finestra esposta a N-E; essa s'inclinò assai poco da questa parte, perchè l'ipocotilo, che era rimasto libero, era piuttosto vecchio e quindi poco eliotropico. Si fissò un filo di vetro sulla nervatura mediana di uno dei cotiledoni, e tutto il movimento della pianta venne rilevato durante due giorni. La circumnutazione dell'ipocotilo è affatto insignificante di fronte a quella dei cotiledoni. Questi ultimi si elevano verticalmente durante la notte e giungono tra loro in contatto, così che si può dire che dormono. Questa pianticella era tanto vecchia che s'era sviluppata una vera foglia, alla notte era intieramente ricoperta dai cotiledoni chiusi. Li 24 settembre dalle 8 del mattino alle 5 della sera i cotiledoni si mossero 5 volte in alto, e 5 volte in basso; essi descrissero quindi cinque ellissi irregolari nel corso di 9 ore. La grande elevazione notturna cominciò alle 4,30 della sera circa. La mattina successiva

(1) Dei semi di questa pianta, che cresce alla riva del mare, ci furono inviati dal Brasile da Fritz Müller; i rampolli si svilupparono male e da noi non fiorirono bene; li spedimmo a Kew, dove si trovò che non differivano dalla *C. tora*.

(25 settembre) si rilevò ancora il movimento del medesimo cotiledone proseguendo nella stessa maniera per il periodo di 24 ore. Diamo qui una copia di questo diagramma (fig. 25). La mattina era fredda, e la fenestra rimase accidentalmente aperta per qualche tempo, ciò che può aver raffreddato la pianta; ed impedì probabilmente di muoversi così liberamente del giorno precedente, poichè essa non ebbe durante la giornata che quattro movimenti di ascensione e quattro di discesa, le oscillazioni essendo poco estese. Alle 7,10 del mattino, quando venne tracciato il primo punto, i cotiledoni non erano intieramente aperti o destati; essi continuarono ad aprirsi fino alle ore 9 ant. circa; a questo momento erano caduti un poco al disotto dell'orizzonte; alle 9,30 ant. si erano rialzati ed oscillavano dall'alto in basso, ma le linee di salita e di discesa non coincidevano mai completamente. Alle 4, 30 circa della sera cominciò il grande movimento notturno di ascesa. Alle 7 del mattino successivo (26 settembre) occupavano quasi la stessa posizione che al mattino precedente, come lo mostra il diagramma; poi cominciarono ad aprirsi od a cadere nella maniera abituale. Questo diagramma conduce a pensare che non vi è differenza, se non è nell'ampiezza, fra il grande movimento quotidiano di innalzamento e di discesa, e le oscillazioni che hanno luogo nel mezzo della giornata.

Fig. 25.



Cassia tora: circumnutazione simultanea dell'ipocotilo e dei cotiledoni, rilevata sopra un vetro verticale dalle 7,10 ant. del 25 settembre alle 7,30 ant. del 26. Riduzione alla metà.

Lotus Jacobæus (Leguminosæ). — I cotiledoni di questa pianta dopo i primi giorni della loro vita si elevarono in maniera da restare quasi, ma raramente del tutto, verticali durante la notte. Essi continuarono a comportarsi in questa guisa ancora lungo tempo dopo lo sviluppo delle vere foglie. Nei rampolli di pollici 3 di altezza portanti 5 o 6 foglie, essi si elevarono alla notte di circa 45°, e così continuarono ancora per quindici giorni. Dopo questo tempo essi alla notte giacevano in una posizione orizzontale quantunque fossero ancora verdi, e finalmente caddero. Il loro movimento notturno di innalzamento, che li conduce ad essere quasi verticali, sembrava dipendere molto dalla temperatura, poichè quando le pianticelle erano custodite in un luogo fresco, quantunque continuassero a crescere, i cotiledoni non prendevano più, di notte, la posizione verticale. È notevole che i cotiledoni non si elevano di notte generalmente in modo evidente, durante i quattro o cinque primi giorni che seguono la germinazione, ma questo periodo varia molto per le pianticelle poste nelle medesime condizioni, e noi ne osservammo un gran numero. Furono collocati dei fili di vetro muniti di piccoli triangoli di carta sui cotiledoni (larghi m. 1,5) di due pianticelle di 24 ore d'età, ed il cotiledone venne obbligato ad un bastone; si rilevarono i loro movimenti, fortemente amplificati, ed ebbimo

la certezza che circumnutavano su piccola scala per tutto quel tempo; ma non mostrarono alcun movimento diurno e notturno. Gli ipocotili, lasciati liberi, circumnutarono largamente.

Un'altra pianticella assai vecchia, portante una foglia per metà sviluppata, venne tenuta in osservazione nello stesso modo per i tre primi giorni e le tre prime notti del giugno; ma le pianticelle, in questa età, sembrano assai sensibili all'insufficienza della luce; si osservarono ad una luce assai torbida e ad una temperatura di 16° a 17° 1/2 C., e probabilmente in causa di queste condizioni, il grande movimento diurno dei cotiledoni disparve al terzo giorno. Durante i due primi giorni essi cominciarono ad elevarsi subito dopo il mezzodì, seguendo una linea quasi diritta, finchè alle 6 od alle 7 della sera erano quasi verticali. Nella seconda parte della notte, o meglio alla mattina per tempo, cominciavano ad aprirsi od a ridiscendere, in modo che alle 6,45 ant. erano completamente aperti ed orizzontali. Continuarono a discendere un poco, per qualche tempo, e descrissero durante il secondo giorno una semplice e piccola ellisse dalle ore 9 del mattino alle 2 della sera, senza tener conto del grande movimento diurno. La marcia seguita nel corso di queste 24 ore era molto meno complessa che nel caso precedente della *Cassia*. Al terzo mattino, discesero molto, ed allora circumnutarono, ma sopra piccola scala, intorno al medesimo punto; alle 8,20 della sera non mostravano alcuna tendenza ad elevarsi durante la notte. Nemmeno i cotiledoni di numerose altre pianticelle poste nel medesimo vaso si elevarono, e la stessa cosa avvenne la notte seguente (5 giugno). Il vaso fu allora posto nella serra, in un punto esposto al sole, e la notte seguente i cotiledoni si elevarono nuovamente di un angolo considerevole senza però rendersi affatto verticali. In ciascuno dei giorni suddetti, la linea rappresentante il grande movimento notturno di ascesa non coincideva con quella del grande movimento diurno di discesa, in guisa che erano descritte delle piccole ellissi come suole avvenire in tutti gli organi circumnutanti. I cotiledoni erano provveduti di un pulvino, di cui sarà descritto lo sviluppo più tardi.

Mimosa pudica (Leguminosæ). — I cotiledoni si elevano verticalmente durante la notte fino a toccarsi completamente. Si osservarono due pianticelle nella serra (temperatura 16° a 17°). I loro ipocotili erano obbligati a dei bastoni, e dei fili di vetro, muniti di piccoli triangoli di carta, erano fissati sui cotiledoni di ciascuno di essi. I movimenti furono rilevati il giorno 13 novembre sopra una lamina verticale di vetro nel corso di 24 ore; il vaso era rimasto per qualche tempo nella medesima posizione, e le piante erano rischiarate attraverso al tetto di vetro. I cotiledoni di una di queste pianticelle si abbassarono nel corso della mattina fino alle ore 11,30, poi si elevarono, muovendosi rapidamente alla sera fino ad essere verticali, così che in questo caso non vi era che un solo grande movimento diurno di elevazione e di discesa. L'altra piantina si comportò in modo alquanto differente, poichè si abbassò nella mattina fino alle 11,30, poi si alzò, ma dopo le 12,10 pom. ricadde e il grande movimento di ascesa serale non incominciò che alle 1,22 pom. Al mattino successivo alle 8,15 questo cotiledone si era scostato di molto dalla verticale. Due altre piantine (l'una di 7 giorni, e l'altra di 8) erano già state osservate in antecedenza in condizioni sfavorevoli, poichè erano state trasportate in una stanza e collocate davanti ad una finestra esposta al N-E ad una temperatura di soli 56 e 57 gradi Fahr. Di più, si dovette ripararle contro la luce laterale, e forse non erano abbastanza rischiarate. In queste circostanze i cotiledoni si mossero solamente dall'alto al basso dalle 7 del mattino alle 2 della sera, dopo di che, per una gran parte della notte, continuarono ad elevarsi. Fra le 7 e le 8 del mattino successivo si abbassarono di nuovo, ma il secondo giorno ed anche il terzo i movimenti divennero irregolari e fra le 3 e le 10,30 della sera circumnutarono intorno al medesimo punto e

con poca ampiezza, ma non si innalzarono più durante la notte. La notte seguente tuttavia si elevarono come al solito.

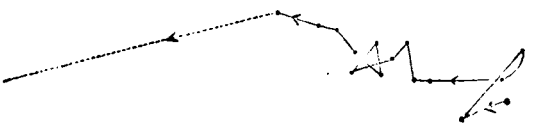
Cytisus fragrans (Leguminosæ). — Sopra questa pianta furono fatte alcune poche osservazioni soltanto. L'ipocotilo circumnutava sopra una estensione considerevole, ma in maniera semplice; camminava due ore in una direzione, poi ritornava più lentamente sui suoi passi descrivendo delle linee a zig-zag, conservando una direzione parallela alla prima e sorpassando il suo punto di partenza. Il movimento continuò tutta la notte nella medesima direzione, ma cominciò, al mattino successivo, a manifestarsi in senso inverso. I cotiledoni si muovevano continuamente dall'alto al basso e lateralmente, ma senza elevarsi molto durante la notte.

Lupinus luteus. (Leguminosæ). — Furono osservate delle piantine di questa specie perchè i cotiledoni sono così grossi (hanno circa pollici 0,08) che sembra improbabile che avessero dei movimenti. Le nostre osservazioni non ebbero buon successo perchè le piantine sono fortemente eliotropiche e la loro circumnutazione non può essere bene osservata presso ad una fenestra esposta a N-E, quantunque fossero state custodite il giorno precedente nella stessa posizione. Una pianticella fu posta allora nell'oscurità, ed il suo ipocotilo obbligato ad un bastone; i due cotiledoni si elevarono dapprima un poco, poi caddero nel resto della giornata; la sera, fra le 5 e le 6, ebbero un leggero movimento; durante la notte l'uno continuò ad abbassarsi e l'altro si elevò, ma poco. Il loro cammino non era stato molto amplificato, e siccome le linee tracciate formavano degli zig-zag, i cotiledoni devono aver avuto un leggero movimento laterale, e per conseguenza di circumnutazione.

L'ipocotilo è abbastanza grosso (circa pollici 0,12), tuttavia circumnutava con un movimento complesso, sebbene poco esteso. Si osservò nell'oscurità il movimento di una pianticina vecchia, che aveva due vere foglie in parte sviluppate; siccome questo movimento era amplificato circa 100 volte, il diagramma non è degno di fede, e lo ommettiamo; ma non si può punto dubitare che l'ipocolito non si sia mosso durante il giorno, in tutti i sensi, cambiando 19 volte di direzione. La distanza estrema, da una parte all'altra, che la parte superiore dell'ipocolito percorse durante 14 ore e 1/2, non era che di 1/60 di pollice e camminava in ragione di 1/50 di pollice all'ora.

Cucurbita ovifera (Cucurbitaceæ). — Radichetta. — Si fissò un seme che aveva germogliato sopra della sabbia umida, in modo che la radichetta, leggermente incurvata e che non aveva che pollici 0, 07 di lunghezza, era quasi verticalmente rivolta in alto; in tale posizione, il geotropismo non doveva avere in principio che una debole azione. Fu attaccato un filo di vetro presso alla base e venne collocato in guisa da formare sull'orizzonte un angolo di 45°. Il cammino generale seguìto durante le 11 ore di osservazione e nel corso della notte seguente è indicato dal diagramma (fig. 26); esso era dovuto intieramente al geotropismo, ma era chiaro del pari che la radichetta circumnutava. Alla mattina successiva l'estremità si era talmente inclinata che il filo, invece di fare con l'orizzonte un angolo di 45°, era quasi orizzontale. Un altro seme che germogliava, fu rovesciato e coperto di sabbia umida; un filo di vetro venne fissato sulla radichetta in maniera da fare con l'orizzonte un angolo di circa 50°; questa radichetta aveva pollici 0, 35 di lunghezza ed

Fig. 26.



Cucurbita ovifera: Linea seguìta da una radichetta nella sua marcia di discendenza geotropica, rilevata sopra un vetro orizzontale fra le 11,25 ant. e le 10,25 pom. Il cammino notturno è indicato dalla linea punteggiata. Movimento amplificato 14 volte.

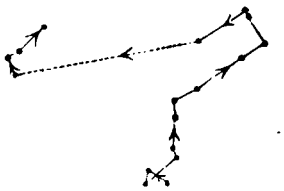
era un poco curvata. Il cammino seguìto venne causato completamente, come nel caso precedente, dal geotropismo; ma la linea tracciata durante 12 ore, ed amplificata come prima, formava degli zig-zag più pronunciati, manifestando ancora la circumnutazione.

Si permise a 4 radichette di crescere sopra delle lamine di vetro annerite, inclinate di 70° sull'orizzonte, e nelle medesime condizioni delle radichette di *Æsculus*, di *Phaseolus*, e di *Vicia*. Diamo qui (fig. 27) il fac-simile di due delle traccie ottenute; una terza, più corta, era così tortuosa come quella figurata in A. Risultava manifesto, dalla maggior o minor quantità di nero che veniva asportata, che le estremità delle radichette avevano premuto sul vetro con più o meno forza. Vi deve

Fig. 27.

Cucurbita ovifera: Traccie lasciate dalle radichette sopra dei vetri anneriti inclinati di 70° sull'orizzonte.

Fig. 28.



Cucurbita ovifera: circumnutazione d'un ipocotilo arcuato e molto giovane, rilevata nell'oscurità sopra un vetro orizzontale dalle 8 del mattino alle 10,20 del mattino successivo. Amplificata 28 volte. Ridotta alla metà.

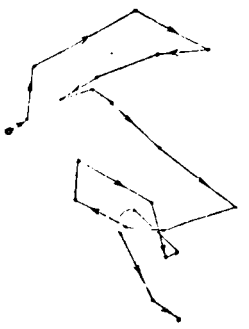
quindi essere stato un movimento in almeno due piani perpendicolari. Queste radichette erano sì delicate che raramente ebbero tanta forza da pulire la lamina di vetro. L'una di esse aveva sviluppato alcune piccole radici laterali o secondarie, inclinate di alcuni gradi sull'orizzonte, e bisogna notare questo fatto importante che tre fra queste ultime avevano lasciato delle traccie sinuose distinte sulla superficie annerita, mostrando, senza alcun dubbio, che avevano circumnutato quanto la radice principale o primaria. Ma queste traccie erano sì leggere che, una volta verniciata la piastra, non poterono essere delineate e copiate.

Ipocotilo. — Un seme, posto sopra sabbia umida, venne fissato in principio con due fili di ferro posti in croce e colla propria radichetta in via di accrescimento. I cotiledoni erano ancora chiusi entro gli involucri seminali, e l'ipocotilo corto, fra la sommità della radichetta ed i cotiledoni, non era che leggermente arcuato. Un filo (di pollici 0,85 di lunghezza) inclinato di 35° sull'orizzonte, fu fissato sulla parte dell'arco più vicina ai cotiledoni. Questo punto formò più tardi, quando si era raddrizzato e divenuto verticale, la parte superiore dell'ipocotilo. Se il seme fosse stato piantato convenientemente, l'ipocotilo a questo punto del suo accrescimento sarebbe stato conficcato profondamente sotto terra. Il cammino seguìto dalla goccia di cera è indicato dalla fig. 28. La direzione principale del movimento, da dritta a sinistra nella figura, era parallela al piano dei due cotiledoni riuniti e del seme appiattito, e questo movimento avrebbe dovuto contribuire a liberare quelli dagli involucri seminali che sono tenuti addossati da una struttura speciale che descriveremo più avanti. Il movimento perpendicolare alla direzione di cui parlammo, era dovuto al fatto che l'ipocotilo arcuato s'incurvava di più a misura che ingrandiva. Le osservazioni precedenti sono fatte sopra la branca dell'arco che tocca i cotiledoni, ma l'altra branca che tocca la radichetta, circumnutava del pari nella medesima epoca.

La figura 29 indica il movimento del medesimo ipocotilo, raddrizzato e verticale,

ma dove i cotiledoni non sono aperti che in parte. Il cammino seguìto per 12 ore presenta l'aspetto di 4 1/2 ellissi od ovali, l'asse maggiore della prima ellisse essendo quasi ad angolo retto rispetto a quello delle altre. Tutti i grandi assi sono obliqui sopra una linea che congiunge i due cotiledoni. La distanza estrema, da una parte all'altra, che percorse la sommità di questo vigoroso ipocotilo nello spazio di 12 ore, era di pollici 0, 28. La figura primitiva era tracciata sopra una larga scala, ed in causa dell'obliquità del punto di vista, le parti periferiche del diagramma erano molto esagerate.

Fig. 29.



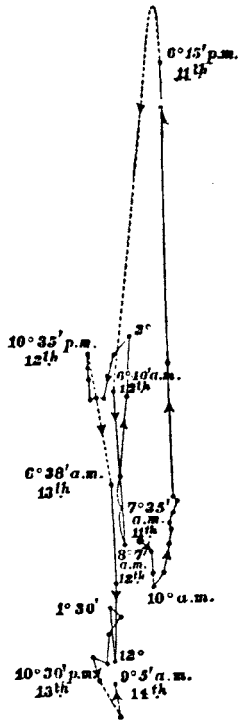
Cucurbita ovifera: circumnutazione di un ipocotilo verticale avente un filo fissato trasversalmente sulla sua parte superiore, rilevata nell'oscurità sopra un vetro orizzontale dalle 8,30 del mattino alle 8,30 della sera. Movimento della goccia di cera amplificato 18 volte; qui quattro volte e 1/2 soltanto.

Cotiledoni. — In due occasioni si rilevarono i movimenti dei cotiledoni sopra un vetro verticale, e siccome le linee ascendenti e discendenti non coincidevano perfettamente, furono generate delle strette ellissi, onde i cotiledoni circumnutavano. Giovani, si elevavano verticalmente durante la notte, ma le loro estremità stavano sempre ripiegate; al mattino successivo ricadevano. In una piantina conservata in mezzo alla completa oscurità, erano dotati di un movimento analogo, poichè discendevano dalle 8, 45 del mattino alle 4, 30 della sera per cominciare allora ad elevarsi e stare riuniti fino alle 10 della sera, ora dell'ultima osservazione. Alle 7 del mattino successivo essi erano completamente spiegati, così bene come lo erano in qualunque ora della vigilia. I cotiledoni di un'altra giovane pianticella esposta alla luce erano, un giorno, intieramente aperti fin dalla prima ora del mattino, ma essi furono trovati completamente riuniti al mattino successivo alle ore 7. Cominciarono ben presto a spiegarsi e continuarono così fino alle 5 della sera; allora si misero a rimontare ed erano verticali ed affatto uniti alle 10,30 pom. Al terzo giorno, alle 7 del mattino, erano quasi verticali e si spiegarono nuovamente nel corso della giornata; al quarto mattino erano fittamente riuniti, ma tuttavia si apersero nella giornata per elevarsi un poco nella notte successiva. Durante questo tempo si era sviluppata una vera fogliolina. In un'altra pianticella ancora più vecchia, portante una foglia bene sviluppata, fu legato un filo di vetro affilato e rigido ad uno dei suoi cotiledoni (lungo 85 mm.) che tracciava i proprii movimenti sopra un tamburo girante coperto di carta annerita. Le osservazioni erano fatte nella serra dove la pianticella aveva vissuto, in modo che non ebbe luogo alcun cambiamento nè di temperatura nè di luce. La registrazione cominciò il 18 febbraio alle 11 del mattino; da questo momento fino alle 3 della sera il cotiledone si abbassò, quindi si rialzò rapidamente fino alle 9 della sera, poscia assai gradatamente fino alle 9 del mattino del 19 febbraio, dopo di che cadde a grado a grado fino alle 4,30 della sera; ma il movimento di discesa fu interrotto da un leggero innalzamento od oscillazione ad 1 ora e 30 circa della sera. Dopo le 4,30 della sera (del 19) il cotiledone si elevò fino ad 1 ora del mattino (nella notte del 20), poscia cadde gradatamente fino alle 9, 30 del mattino; le nostre osservazioni si arrestarono a questo punto. La somma dei movimenti era maggiore il 18 che il 19, o che nella mattina del 20.

Cucurbita aurantia. — Si trovò un ipocotilo incurvato a poca distanza sotto la superficie del suolo; ed affine di impedire il suo brusco raddrizzamento, allorchè sarebbe liberato dalla pressione della terra circostante, legammo assieme le due branche dell'arco; il seme venne poscia coperto da un leggero strato di terra mobile

ed umida. Un filo di vetro, munito all'estremità di una goccia di cera, venne fissato sulla branca basilare, i di cui movimenti furono osservati col solito metodo durante due giorni. Il primo giorno l'arco si mosse verso la branca basilare seguendo una linea spezzata. Il giorno seguente dopo che i cotiledoni pendenti erano apparsi al disopra della superficie del suolo, l'arco legato mutò la direzione del suo movimento 9 volte in 14 ore e 1/2. Egli descrisse una figura larga, circolare, estremamente irregolare, ritornando di notte press'a poco al medesimo punto che aveva abbandonato la mattina di buonora. La linea seguita formava degli zig-zag sì fortemente marcati che sembrava rappresentare cinque ellissi, i cui assi maggiori erano diretti in diverso senso. Quanto ai movimenti periodici dei cotiledoni, quelli di parecchie giovani pianticelle formavano insieme a 4 ore della sera un angolo di circa 60°, ed alle 10 di sera le loro parti inferiori erano verticali ed in contatto; le loro estremità tuttavia, come è di solito in questo genere, erano sempre ripiegate. Questi cotiledoni alle 7 del mattino del giorno seguente erano nuovamente bene distesi.

Fig 30.



Lagenaria vulgaris: circumnutazione di un cotiledone lungo poll. 1 1/2; l'estremità è a pollici 4 3/4 dal vetro verticale, sul quale i suoi movimenti sono stati rilevati dalle 7,35 ant. dell' 11 luglio alle 9,5 ant. del 14. Figura ridotta di un terzo.

Lagenaria vulgaris (var. Zucca miniatura) (Cucurbitaceæ). — Un rampollo apriva i suoi cotiledoni, dei quali soltanto si osservarono i movimenti, il 27 giugno di buonora, e li chiudeva alla notte; il giorno seguente (28) a mezzodì essi formavano un angolo di 53°, ed alle 10 della sera entrarono in contatto perfetto, in modo che ciascuno s'era elevato di 26° 1/2. Il 29 a mezzogiorno formavano un angolo di 118°, ed alle 10 della sera un angolo di 54°, ciascuno essendo quindi salito di 32°. Il giorno seguente essi erano ancora più aperti, e l'innalzamento notturno era più forte, ma gli angoli non furono misurati. Si osservarono due altre pianticelle, le quali si comportarono nello stesso modo durante tre giorni. Dunque, i cotiledoni si aprono sempre più ogni giorno e si elevano ogni notte di 30° circa; per cui durante le due prime notti della loro vita stanno verticali e giungono a contatto.

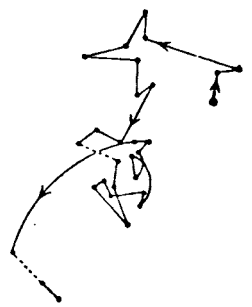
Per determinare più accuratamente la natura di questi movimenti, obbligammo ad un bastone l'ipocotilo di una piantina i cui cotiledoni erano distesi, e fissammo sopra uno di questi ultimi un filo di vetro munito di triangoli di carta. Le osservazioni furono fatte ad una luce abbastanza scarsa, e la temperatura durante tutta la loro durata oscillò fra 17°5 e 18°6. Se la temperatura fosse stata più elevata e la luce più intensa, i movimenti sarebbero stati probabilmente più estesi. L'11 luglio (fig. 30) il cotiledone si abbassò dalle 7.35 del mattino fino alle 10 antimeridiane; quindi si elevò (rapidamente dopo le 4 di sera) in modo da essere completamente verticale alle 8.40 della sera. Al principio della mattina seguente cadde di nuovo fino alle 8 antimeridiane, poi rimontò, quindi ricadde e rimontò ancora, in guisa che alle 10.35 di sera era più alto che al mattino, ma senza essere verticale come la notte precedente. Al mattino successivo, di buon'ora, e durante tutta la giornata (del 13) discese e circumnutò, ma non si era innalzato allorchè lo osservammo di

sera, ciò che era probabilmente dovuto all'insufficienza della luce o del calore o di entrambi questi agenti. Noi vediamo quindi che i cotiledoni s'aprono ogni giorno di più a mezzodì, e che si elevano molto ogni notte, sebbene, eccettuate le due prime notti, non raggiungessero una posizione verticale.

Cucumis dudaim (Cucurbitaceæ). — Due piantine avevano aperto i loro cotiledoni per la prima volta nella giornata, l'uno sotto un angolo di 90° e l'altro un poco più; essi rimasero fino alle 10 40 di sera quasi nella medesima posizione, ma alle 7 del mattino successivo la piantina che prima si era aperta di 90° aveva i suoi cotiledoni verticali e completamente chiusi; l'altra li aveva quasi chiusi. Più tardi, nel corso della mattina, si aprirono come al solito. Sembra dunque che i cotiledoni di questa pianta si chiudano e si aprano a dei momenti un poco differenti di quelli osservati presso le specie precedenti che appartenevano ai generi affini Cucurbita e Lagenaria.

Opuntia basilaris (Cacteæ) — Fu accuratamente osservata una pianticella, perchè a giudicare dalla sua apparenza e dalla natura della pianta adulta, sembrava difficile che i cotiledoni o l'ipocotilo circomnutassero in modo apprezzabile. I cotiledoni erano ben sviluppati; misuravano pollici 0,9 di lunghezza, 0,22 di larghezza e 0,15 di spessore. L'ipocotilo, regolarmente cilindrico, portava allora alla sua sommità una piccola gemma spinosa; esso non aveva che pollici 0,45 di altezza e 0,15 di spessore. Il diagramma (fig. 31) mostra i movimenti combinati dell'ipocotilo e di uno dei cotiledoni dalle 4.45 della sera del 28 maggio alle 11 del mattino del 31. Il 29 venne compiuta un'ellisse quasi completa. Al 30 l'ipocotilo si muoveva, per qualche causa incognita, nella medesima direzione generale descrivendo delle linee a zig-zag; ma fra le 4.30 e le 10 di sera completò affatto una seconda piccola ellisse. I cotiledoni non si muovevano che poco dall'alto al basso: così alle 10.15 della sera essi non erano che di 10° più elevati che al mezzodì. Per conseguenza, la principale sede del movimento, almeno quando i cotiledoni sono abbastanza vecchi, come nel caso presente, si trova nell'ipocotilo. L'ellisse descritta il 29 aveva il suo grande asse quasi perpendicolare ad una linea congiungente i cotiledoni. La somma effettiva del movimento della goccia di cera, per quanto si poteva determinarla, era di circa 0,14 pollici.

Fig. 31.

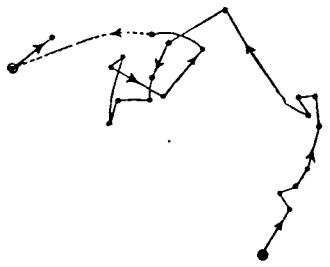


Opuntia basilaris: circumnutazione combinata dell'ipocotilo e di un cotiledone; filo fissato longitudinalmente sul cotiledone. Movimento rilevato sopra un vetro orizzontale durante 66 ore. Amplificato 30 volte, ridotto al terzo. Rampollo rischiarato per disopra.

Helianthus annuus (Compositæ). — La parte superiore dell'ipocotilo aveva, durante il giorno, un movimento indicato dalla figura 32. Siccome la linea corre in diverse direzioni incrociantisi a più riprese, questo movimento può essere considerato come un movimento di circumnutazione. La distanza effettiva estrema percorsa era almeno di pollici 0,1. Furono osservati i movimenti dei cotiledoni di due piantine; l'una era di faccia ad una finestra, esposta al N.-E., l'altra era sì debolmente rischiarata per disopra che si trovava quasi nell'oscurità. I cotiledoni continuarono a cadere fino a mezzodì, e cominciarono poi ad elevarsi; ma fra le 5 e le 7 o le 8 di sera discesero un poco, o si mossero lateralmente, e cominciarono poscia ad elevarsi di nuovo. Al mattino successivo alle 7 quelli della pianta che si trovava davanti alla finestra al N.-E. erano sì debolmente aperti che formavano con l'orizzonte un angolo di 73°, essi non furono osservati più a lungo; quelli della

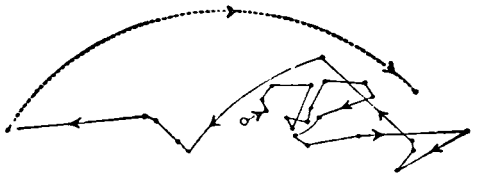
pianticella che era rimasta nell'oscurità, caddero durante il giorno senza rialzarsi verso il mezzodì, ma rimontarono durante la notte. Il terzo e quarto giorno continuarono a cadere, senza che avvenisse movimento ascendente; ciò era dovuto, certamente, alla mancanza di luce.

Fig. 32.



Helianthus annuus: circumnutazione dell'ipocotilo portante un filo fissato alla sua sommità, rilevata nel buio sopra un vetro orizzontale dalle 8,45 del mattino alle 10,45 della sera, e durante un'ora del mattino successivo. Movimento della goccia di cera amplificato 21 volta, ridotto qui alla metà.

Fig. 33.



Primula sinensis: circumnutazione simultanea dell'ipocotilo e d'un cotiledone, rilevata sopra un vetro verticale dalle 8,40 del mattino alle 10,45 della sera. Movimento della goccia di cera amplificato circa 26 volte.

Primula sinensis (Primulaceæ). — Un giorno in cui la luce era quasi uniforme, una pianticella venne posta in modo che i suoi due cotiledoni erano paralleli ad una finestra orientata al N.-E., e sopra l'uno di essi venne fissato un filo di vetro. Dalle osservazioni fatte più tardi sopra un'altra pianticella, il cui fusto era fissato sopra un bastone, risultò che la maggior parte del movimento indicato dalla fig. 33 era dovuto a quello dell'ipocotilo; i cotiledoni tuttavia hanno certamente un movimento verticale alquanto esteso, sia di giorno che di notte I movimenti della medesima pianticella furono rilevati il giorno appresso e se ne ebbero circa i medesimi risultati, e non si può dubitare che non vi sia stata circumnutazione dell'ipocotilo.

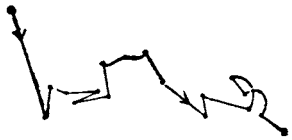
Cyclamen persicum (Primulaceæ). — Generalmente si ritiene che questa pianta produca un solo cotiledone, ma il dottor H. Gressner (1) ha dimostrato che dopo un lungo intervallo se ne sviluppa un secondo. L'ipocotilo è trasformato in un sostegno globoso ancora prima che il primo cotiledone sia uscito da terra, col suo lembo strettamente ripiegato ed il suo picciuolo arcuato come l'ipocotilo o l'epicotilo arcuato di una pianta dicotiledone ordinaria. Fu fissato un filo di vetro sopra un cotiledone di 0,55 pollici di lunghezza, di cui il picciuolo si era raddrizzato e si trovava quasi verticale, ma il cui lembo non era ancora interamente disteso. I movimenti vennero rilevati durante 24 ore e mezza, sopra un vetro orizzontale con un ingrandimento di 50 volte; in questo intervallo descrisse due piccoli cerchi irregolari; esso dunque circumnutava, quantunque in grado leggero.

Stapelia sarpedon (Asclepiadeæ). — Questa pianta, allorchè è adulta, somiglia ad un *Cactus*. L'ipocotilo appiattito è grosso, allargato alla parte superiore, e porta due cotiledoni rudimentali. Esce da terra incurvato coi due cotiledoni chiusi od in contatto perfetto. Si fissò un filo di vetro esattamente verticale sull'ipocotilo d'una pianticella alta mezzo pollice, ed i movimenti furono rilevati durante 50 ore sopra un vetro orizzontale (fig. 34). Sotto l'influenza di una causa incognita s'inclinò da

(1) *Bot. Zeitung*, 1874, p. 837.

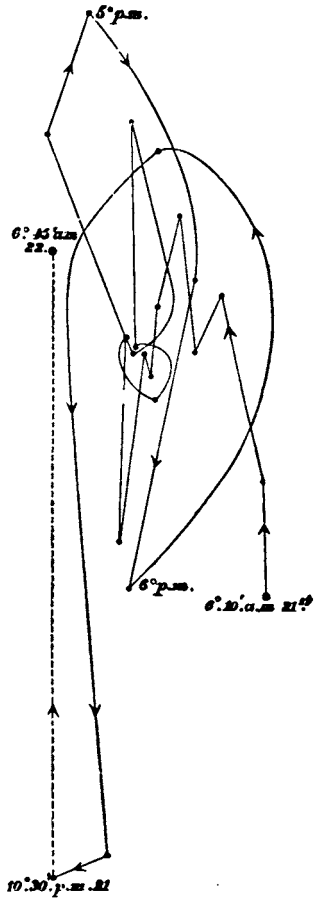
una parte, e siccome tale movimento era a zig-zag, è probabile che questo ipocotilo circumnutasse; ma forse mai tale movimento è stato sì poco visibile nelle pianticelle che noi abbiamo studiate.

Fig. 34.



Stapelia sarpedon: circumnutazione dell'ipocotilo rischiarato per disopra, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 6,45 del mattino del 26 giugno alle 8,45, pure del mattino, del 28. Temperatura 23°-24° cent. Movimento della goccia di cera amplificato 21 volta.

Fig. 35.



Ipomœa cœrulea: circumnutazione di un cotiledone, rilevata sopra un vetro verticale dalle 6,10 ant. del 21 giugno alle 6,45 ant. successive. Il cotiledone col picciuolo è lungo poll. 1,6, e la sua punta dista pollici 4,1 dal vetro verticale, per cui il movimento riesce assai amplificato. Temperatura, 20° C.

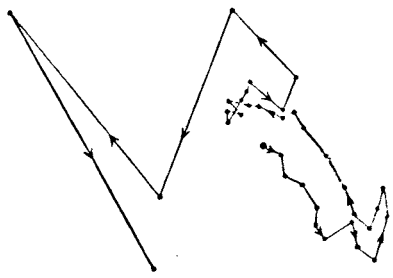
Ipomœa cœrulea o *Pharbitis nil* (Convolvulaceæ). — Si osservarono delle pianticelle di questa specie, perchè è una pianta rampicante, i cui internodi superiori circumnutano visibilmente; ma come presso le altre piante rampicanti, alcuni pochi primi internodi che escono dal terreno sono abbastanza forti per sopportare il loro peso e quindi non circumnutano in maniera molto evidente (1). In questo caso particolare il quinto internodio (l'ipocotilo compreso) era il primo che circumnutava pienamente e si avvolgeva intorno ad un bastone. Volemmo pertanto sapere se la circumnutazione poteva vedersi nell'ipocotilo, osservandola nel nostro modo abituale. Due pianticelle furono poste nell'oscurità con dei fili di vetro fissati sulla parte superiore dei loro ipocotili; ma per circostanze, che non è qui il caso di esporre, i loro movimenti non furono osservati che per un tempo assai breve. L'uno di questi ipocotili si mosse tre volte in avanti e due volte indietro in direzioni quasi opposte, nello spazio di 3 ore e 15 minuti, e l'altro due volte in avanti e due volte indietro in 2 ore e 22 minuti. Dunque gl'ipocotili circumnutavano con una rapidità straordinaria. Si può aggiungere che fu fissato un filo trasversalmente sulla sommità del secondo internodio, al disopra dei cotiledoni di una piccola pianta di pollici 3 e mezzo di altezza, e che i suoi movimenti furono rilevati sopra un vetro orizzontale. Esso circumnutava, e la distanza effettiva percorsa, da una parte all'altra, era di un quarto di pollice, e quindi troppo piccola perchè la si potesse constatare senza l'aiuto di un segnale.

(1) C. Darwin. *I movimenti e le abitudini delle piante rampicanti*, trad di G. Canestrini e P. A. Saccardo, p. 28.

I movimenti dei cotiledoni sono interessanti per la loro complessità e rapidità e per molti altri riguardi. L'ipocotilo (di 2 pollici di altezza) di una pianticella vigorosa fu fissato ad un bastone, ed un filo di vetro munito di triangoli di carta venne fermato sopra uno dei cotiledoni. La pianta, dopo di esser rimasta tutto il giorno nella serra, venne posta, alle 4.20 della sera (del giorno 20 giugno), nella casa sotto una invetriata, ed osservata tratto tratto durante la sera e nella notte. Il cotiledone cadde seguendo una linea a zig-zag, sopra una piccola estensione, dalle 4.20 alle 10.15 della sera. Allorchè lo si osservò poco dopo la mezzanotte (12.30 ant.), si era alquanto rilevato, e molto alle 3.45 del mattino. Quando venne nuovamente osservato, alle 6.10 del mattino (il 21), era di molto ridisceso. Si cominciò una nuova traccia (fig. 35), e poco dopo, alle 6.42 ant. il cotiledone si era un po' elevato. Durante la mattina fu osservato quasi ogni ora, e fra le 12.30 e le 6 pom., ogni mezz'ora. Se le osservazioni fossero state fatte per tutta la giornata a sì corti intervalli, la figura sarebbe stata troppo complessa per poter essere copiata. In tale condizione il cotiledone nello spazio di 16 ore e 20 minuti (cioè fra le 6.10 del mattino e le 10.30 della sera) aveva effettuato 13 volte la sua corsa dal basso all'alto e dall'alto al basso.

I cotiledoni di questa pianticella caddero durante le due sere e la prima parte della notte, ma si rialzarono nell'ultima parte della notte. Siccome questo è un movimento insolito, osservammo i cotiledoni di dodici altre pianticelle; essi erano a mezzogiorno completamente orizzontali, o quasi, e a 10 ore della sera stavano inclinati a diversi angoli. Gli angoli che più frequentemente si presentavano erano compresi fra 30° e 35°, ma tre erano a 50° circa e uno perfino a 70° sotto l'orizzonte. I lembi di tutti questi cotiledoni avevano raggiunta la loro totale grandezza, ossia pollici 1 e mezzo di lunghezza, misurati sulle nervature mediane. È notevole che mentre i cotiledoni sono giovani, cioè quando hanno meno di mezzo pollice di lunghezza, misurati nella stessa maniera, non cadono durante la sera. Dunque il loro peso, che è considerevole quando sono completamente sviluppati, partecipa probabilmente all'eccitamento originario alla discesa. La periodicità di questo movimento è largamente influenzata dal grado di luce che ricevono le pianticelle durante la giornata; poichè tre, conservate nell'oscurità, cominciarono a cadere al mezzodì anzichè alla sera; ed i cotiledoni di un'altra piantina erano completamente paralizzati, perchè lasciati per due giorni nelle medesime condizioni. I cotiledoni di diverse altre specie di ipomæa cadono egualmente ad un'ora avanzata della sera.

Fig. 36.



Cerinthe major: circumnutazione dell'ipocotilo portante un filo fissato alla sua sommità, rischiarato per disopra. Rilevata sopra un vetro orizzontale il 25 ottobre dalle 9,26 del mattino alle 9,53 della sera. Movimento della goccia di cera amplificato 30 volte, ridotto qui ad un terzo.

Cerinthe major (Borragineæ). — La circumnutazione dell'ipocotilo di una giovane pianticella, i cui cotiledoni erano largamente sviluppati, è indicata dalla figura 36, che offre l'aspetto di 4 o 5 ellissi irregolari, descritte nell'intervallo di poco più di 12 ore.

Si osservarono due altre piantine, ma colla differenza che una di esse era collocata nell'oscurità; i loro ipocotili circumnutavano pure, ma in modo più semplice. I cotiledoni di una piantina esposta alla luce discendettero dal mattino, di buon'ora,

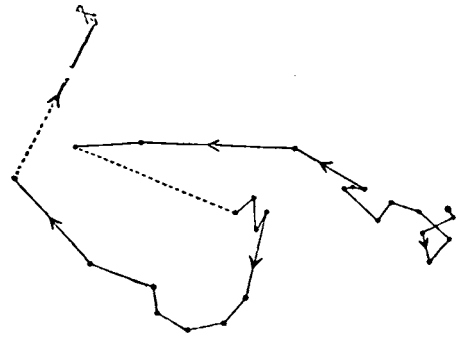
fino a poco dopo mezzogiorno e continuarono poscia a salire fino alle 10.30 della sera o più tardi. I cotiledoni della medesima pianticella si comportarono nella stessa maniera durante i due giorni successivi. Essa era stata posta prima al buio, e dopo di esservi rimasta per una sola ora e 40 min., i cotiledoni incominciarono a cadere verso le 4.30 pom., in luogo di continuare ad elevarsi ancora fino a notte.

Nolana prostrata (Nolaneæ). — I movimenti non furono tracciati; ma un vaso con pianticelle di questa specie, che era stato collocato nell'oscurità per un'ora, venne posto sotto al microscopio, il cui oculare micrometrico era disposto in maniera che ogni divisione corrispondeva a 1/500 di pollice. L'estremità di uno dei cotiledoni attraversò un po' obliquamente quattro divisioni in 13 minuti, e inoltre si abbassò, e ne fu prova il fatto che uscì dal campo visivo. Si posero le pianticelle nuovamente all'oscuro per un'ora, e l'estremità del cotiledone traversò allora due divisioni in 6 m. e 18 s., ossia quasi colla stessa celerità che aveva prima. Dopo un altro intervallo di un'ora, passata nell'oscurità, essa attraversò due divisioni in 4 m. e 15 s., cioè a dire con una maggiore velocità. Dopo mezzodì, in seguito ad una più lunga dimora nel buio, l'estremità del cotiledone era immobile, ma trascorso qualche tempo, ricominciò a muoversi, quantunque lentamente; forse il locale era troppo freddo. A giudicare dai casi precedenti, non vi può essere alcun dubbio intorno alla circumnutazione di queste pianticelle.

Fig. 37.

Solanum lycopersicum: circumnutazione di un ipocotilo avente un filo fissato sopra alla sua sommità, rilevata il 24 ottobre sopra un vetro orizzontale dalle 10 del mattino alle 5 della sera. Illuminazione obliqua dall'alto. Movimento della goccia di cera amplificato 35 volte circa, e ridotto qui di un terzo.

Fig. 38.



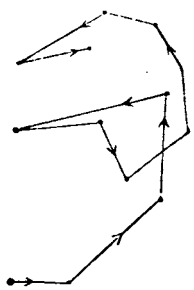
Solanum palinacanthum: circumnutazione di un ipocotilo arcuato, uscente appena dal terreno, e le cui branche sono legate assieme, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 9,20 ant. del 17 dicembre alle 8,30 pom. del 19. Movimento della goccia di cera amplificato 13 volte. Il filo, fissato obliquamente al vertice dell'arco, era di una lunghezza insolita.

Solanum lycopersicum (Solanaceae). — Furono osservati durante sette ore i movimenti degl'ipocotili di due rampolli di pomo d'oro, e senza dubbio entrambi circumnutarono. Essi erano rischiarati dall'alto, ma in seguito ad un accidente un po' di luce penetrò da uno dei lati, e si può vedere sulla figura 37 che l'ipocotilo si dirigeva da questa parte (la superiore sulla figura) disegnando nella sua corsa dei piccoli nodi e delle linee a zig-zag. I movimenti dei cotiledoni vennero tracciati sopra due vetri, l'uno orizzontale, l'altro verticale; i loro angoli con l'orizzonte erano misurati a differenti ore. Essi discesero dalle 8.30 del mattino (del 17 ottobre) fino a mezzodì circa; poi si spostarono lateralmente descrivendo degli zig-zag, ed alle 4 della sera cominciarono a salire continuando così fino alle 10.30, alla quale ora erano verticali e dormivano. Non abbiamo determinato a quale ora della notte

o della mattina cominciassero a discendere. Quanto al movimento laterale, poco dopo il mezzodì, le linee ascendenti e discendenti non coincidevano, e furono descritte delle ellissi irregolari ogni 24 ore. La regolarità periodica di questi movimenti è disturbata, noi lo vedremo in seguito, quando le pianticelle sono poste nell'oscurità.

Solanum palinacanthum. — Si osservarono diversi ipocotili incurvati elevantisi a circa 0,2 pollici al disopra del suolo, i cui cotiledoni erano però ancora sotto terra; i diagrammi mostrano ch'essi entrarono in circumnutazione. Di più, in parecchi casi si poteva vedere sulla sabbia argillosa delle piccole superficie circolari aperte o screpolate che circondavano gl'ipocotili arcuati; questo fatto sembra risultare da ciò che gl'ipocotili, nel loro accrescimento, si erano incurvati ora in una direzione ed ora in un'altra. In due casi le branche verticali dell'arco si muovevano, come l'abbiamo osservato, ad una distanza considerevole dal punto dove i cotiledoni erano interrati; questo movimento, che è stato rimarcato in numerosi altri casi e che sembra destinato a facilitare l'uscita dei cotiledoni dal perisperma sotterraneo, è dovuto ad un principio di raddrizzamento dell'ipocotilo. Per impedire quest'ultimo movimento, le due branche dell'arco, la di cui sommità era al livello del suolo, furono legate assieme, la terra era stata precedentemente levata tutto all'ingiro fino ad una piccola profondità. Il movimento dell'arco durante 48 ore in queste condizioni innaturali è indicato dalla figura 38 qui unita.

Fig. 39.



Beta vulgaris: circumnutazione di un ipocotilo avente un filo fissato obliquamente sulla sua sommità, rilevata nell'oscuro, sopra un vetro orizzontale il 4 novembre dalle 8,25 del mattino alle 5,30 della sera. Movimento della goccia di cera amplificato 23 volte, e ridotto qui ad un terzo.

I cotiledoni di alcune pianticelle poste nella serra erano orizzontali il 13 dicembre verso mezzodì; alle 10 della sera si erano elevati sino a formare coll'orizzonte un angolo di 27°; a 7 ore del mattino successivo, prima che fosse giorno, si erano elevati a 59° sull'orizzonte; dopo mezzodì, della stessa giornata, si trovavano nuovamente orizzontali.

Beta vulgaris (Chenopodeæ). — Le piantine erano assai sensibili alla luce, in modo che quantunque il primo giorno non fossero scoperte che per due o tre minuti ad ogni osservazione, si dirigevano tutte fortemente verso la parte dell'ambiente onde venivano i raggi luminosi, e i diagrammi non si componevano che di linee a zig-zag dirette verso la luce. Il giorno seguente, le piante furono collocate in un locale affatto oscuro, e ad ogni osservazione erano rischiarate, per quanto era possibile, verticalmente dal disopra col mezzo di una piccola candela. La figura 39 mostra, in queste circostanze, il movimento dell'ipocotilo durante nove ore. Fu pure osservato nello stesso tempo un secondo rampollo, ed il diagramma aveva il medesimo carattere particolare, dovuto a ciò che l'ipocotilo andava e veniva spesso seguendo delle linee quasi parallele. Il movimento di un terzo ipocotilo era assai differente.

Noi abbiamo cercato di seguire i movimenti dei cotiledoni, ed a tale scopo osservammo delle pianticelle nella oscurità; ma il loro movimento era anormale: essi continuavano ad alzarsi dalle 8.45 del mattino alle 2 della sera, poi si muovevano lateralmente e dalle 3 alle 6 di sera ridiscendevano mentre che dei cotiledoni che erano stati esposti tutto il giorno alla luce s'innalzavano durante la sera in modo da essere verticali la notte; ciò peraltro non si riferisce che alle giovani pianticelle. Per esempio sei pianticelle collocate nella serra avevano i cotiledoni in parte aperti al principio della mattina del 15 novembre, e alle 8.45 della sera erano completamente chiusi in modo che si poteva dire che dormivano. Al mattino del 27 novembre, i cotile-

doni di quattro altre pianticelle che erano circondati da una fascia di carta nera, in guisa da non ricevere la luce che dall'alto, erano aperti sotto un angolo di 39°; alle 10 di sera erano completamente chiusi; al mattino successivo (28 nov.) alle 6.45, mentre faceva ancor notte, due fra essi erano in parte aperti e tutti si aprirono nel corso della mattina; ma alle 10.20 della sera tutti quattro (senza contare nove altri che erano aperti al mattino, e sei che lo erano in un'altra occasione) erano di nuovo completamente chiusi. Al mattino del 29 erano aperti, ma alla notte uno solo dei quattro era chiuso, e soltanto in parte; i tre altri avevano i loro cotiledoni molto più innalzati che durante la giornata. Nella notte del 30 i cotiledoni delle quattro pianticelle non erano che leggermente innalzati.

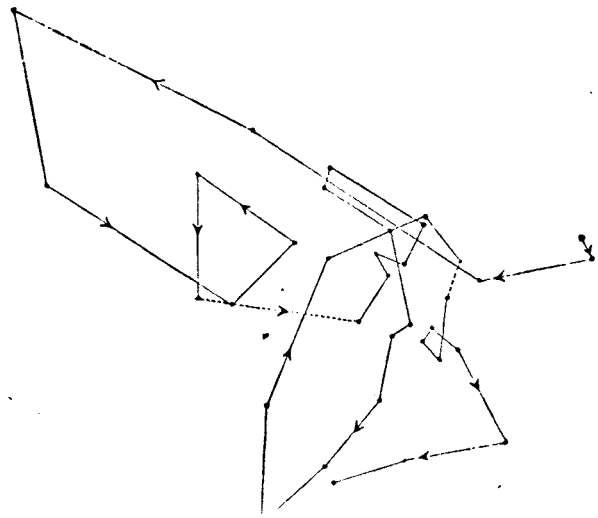
Ricinus borboniensis (Euphorbiaceæ). — Furono comperati sotto questo nome dei semi che si riferiscono probabilmente ad una varietà del ricino comune. Tosto che si era visibilmente elevato dal suolo l'ipocotilo arcuato, venne fissato un filo di vetro sopra la branca superiore, portante i cotiledoni che erano ancora sotterra, ed il movimento della goccia di cera fu rilevato sopra un vetro orizzontale durante un periodo di 34 ore. Le linee tracciate formavano dei piccoli zig-zag, e siccome la goccia di cera ritornò due volte sui suoi passi, quasi parallelamente alla sua via primitiva in due direzioni differenti, non vi può essere alcun dubbio sulla circumnutazione dell'ipocotilo arcuato. Alla fine di queste 34 ore, la parte superiore cominciò ad innalzarsi e a raddrizzarsi, facendo uscire da terra i cotiledoni in guisa che i movimenti non potevano essere rilevati più a lungo.

Quercus (sp. americana) (Cupuliferæ). — Si seminarono in un vaso nella serra delle ghiande di una quercia americana che aveva germogliato a Kew. Questo trasporto arrestò il loro sviluppo, ma qualche tempo dopo, una di esse crebbe fino all'altezza di cinque pollici, misurata dalla base delle piccole foglie parzialmente ripiegate alla sua sommità, e sembrava allora forte e vigorosa. Essa si componeva di sei internodi assai sottili e di lunghezza ineguale. Avuto riguardo a queste circostanze ed alla natura della pianta, noi ci attendevamo appena che circumnutasse; ma la figura 40 dimostra che lo fece in modo rimarchevele cambiando più volte di direzione e muovendosi in tutti i sensi nel corso delle 48 ore che durò l'osservazione. La figura sembra rappresentare 5 o 6 ellissi od ovali irregolari. La quantità effettiva del movimento da una parte all'altra (senza tener conto di una forte inclinazione verso la sinistra) era a questo momento di 0,2 pollici, ma era difficile valutarla, poichè, avuto riguardo al rapido accrescimento del fusto, il filo attaccato si trovava assai più lontano al disotto in fine che non al principio dell'osservazione. Bisogna notare che il vase era collocato in un ambiente orientato a N.-E. in una cassa profonda che in principio non era stata coperta, in guisa che la parte opposta alle finestre era un poco più rischiarata dell'altra; durante la prima mattina il fusticino si diresse da quella parte (parte sinistra della figura) molto più di quello che non fece quando la cassa venne difesa completamente contro la luce.

Quercus robur. — Sopra delle ghiande in germogliazione si osservarono i movimenti delle radichette, cui nel modo già descritto venne concesso di crescere in basso sopra lamine di vetro annerite, inclinate di 65° e di 69° sull'orizzonte. In quattro casi le traccie furono quasi completamente dritte, ma le estremità delle radichette avevano premuto sul vetro ora con maggiore ed ora con minor forza, come l'indicavano la grossezza variata delle traccie, ed i piccoli ponti di fuliggine che rimasero incancellati. Nel quinto caso la traccia era leggermente ondulata, cioè a dire la radichetta aveva descritto un leggero movimento da una parte all'altra. Nel sesto caso (fig. 41 A) essa era completamente ondulata e la radichetta aveva, in tutta la sua corsa, esercitato sul vetro delle pressioni eguali. Nel settimo caso (B) la radichetta si era mossa lateralmente, e nel medesimo tempo aveva esercitato sul vetro

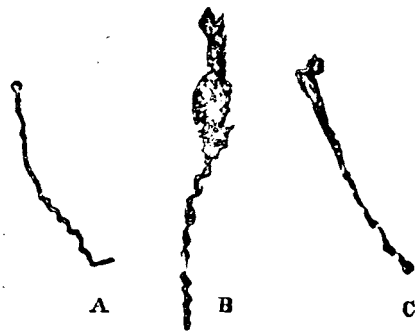
delle pressioni ineguali, in modo che il movimento aveva avuto luogo quasi in due piani perpendicolari l'uno sull'altro. Nell'ottavo ed ultimo caso (C), il movimento laterale era stato assai debole, ma la radichetta ora aveva lasciato il vetro, ed ora era venuta in contatto con esso. Non si può dubitare che, nei quattro ultimi casi, la radichetta della quercia non abbia circumnutato durante il suo accrescimento in basso.

Fig. 40.



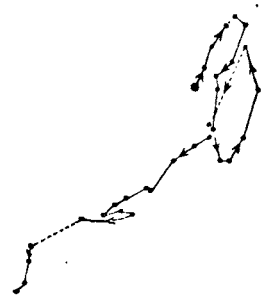
Quercus (specie americana): circumnutazione di un giovane gambo, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 12,50 p. del 22 febbraio alle 12,50 del 24. Movimento della goccia di cera in principio grandemente amplificato, ma molto più leggermente verso la fine dell'osservazione (10 volte circa in media).

Fig. 41.



Quercus robur: Traccie lasciate dall'estremità delle radichette durante il loro accrescimento sopra una lamina di vetro annerita ed inclinata. Le lamine A e C sono inclinate di 65°, e la lamina B di 68° sull'orizzonte.

Fig. 42



Corylus avellana: circumnutazione di una giovane pianticella emessa dall'epicotilo, la cui punta era stata danneggiata, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 9 del mattino del 2 febbraio alle 8 pure del mattino del giorno 4. Movimento della goccia di cera amplificato 27 volte.

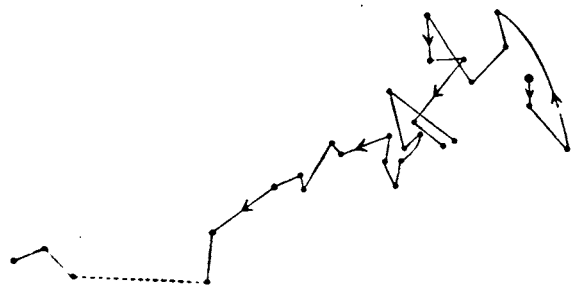
Corylus avellana (Corylaceæ). — L'epicotilo esce da terra incurvato, ma nell'esemplare che esaminammo da principio, l'estremità era morta e l'epicotilo crebbe durante qualche tempo come una radice entro il suolo, in una direzione quasi oriz-

zontale e tortuosa. In seguito a questo accidente aveva emesso, presso ai cotiledoni ipogei, due rampolli secondarî, ed è degno di menzione il fatto che questi due rampolli erano incurvati come l'epicotilo normale nei casi ordinarî. Si allontanò la terra da uno di questi rampolli secondarî, e si fissò un filo di vetro sopra la branca basilare. Il tutto fu conservato umido sotto ad una scatola metallica munita di un coperchio di vetro e non venne rischiarata che dall'alto. Evidentemente in causa della mancanza della pressione laterale della terra, la parte terminale e ripiegata del rampollo cominciò ad un tratto a rilevarsi, in guisa che 24 ore dopo era ad angolo retto con la porzione inferiore. Anche quest'ultima parte, alla quale era stato attaccato il filo, si raddrizzò e si allontanò un poco dalla porzione superiore. Per conseguenza fu tracciata una lunga linea sul vetro orizzontale, la quale era dritta in certi punti, ed in altri a zig-zag, ciò che indicava la circumnutazione.

Il giorno seguente fu osservato l'altro rampollo secondario; esso era un po' più vecchio, poichè la parte terminale, in luogo di pendere verticalmente verso il basso, era inclinata di 45° sull'orizzonte. L'estremità del rampollo usciva obliquamente da terra sopra una lunghezza di pollici 0,4, ma alla fine delle nostre osservazioni, che durarono 47 ore, essa era cresciuta, soprattutto alla sua base, fino ad un'altezza di pollici 0,85. Il filo di vetro era fissato trasversalmente sopra la metà basilare e quasi diritta del rampollo, immediatamente sotto all'appendice squamosa più bassa. Il movimento circumnutante è indicato dalla fig. 42. La distanza effettiva percorsa da una parte all'altra era di pollici 0,04.

Pinus pinaster (Coniferæ). — Un giovane ipocotilo, ad estremità dei cotiledoni ancora chiuse sotto al perisperma, aveva da principio soltanto pollici 0,35 d'altezza; ma la parte superiore crebbe sì rapidamente che alla fine dell'osservazione misurava

Fig. 43



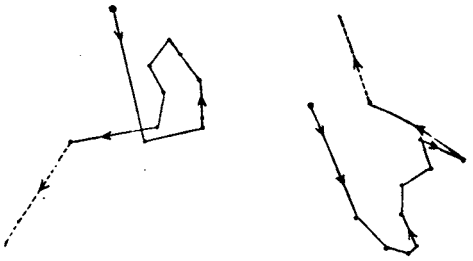
Pinus pinaster: circumnutazione di un ipocotilo avente un filo fissato sulla sua sommità, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 10 ant. del 21 marzo alle 9 ant. del 23. Pianticella conservata nell'oscurità. Movimento della goccia di cera amplificato 35 volte.

0,6 pollici, e a questo tempo venne fissato il filo ad una certa distanza in basso alla piccola branca. Sotto l'influenza di una causa non conosciuta, l'ipocotilo si diresse fortemente verso sinistra, ma non si poteva aver dubbio (fig. 43) sulla sua circumnutazione. Venne pure osservato un altro ipocotilo, e anch'esso percorse una linea a zig-zag nel medesimo senso. Questo movimento laterale non aveva per causa la presenza dei fili di vetro, nè l'azione della luce, poichè nel corso delle osservazioni non poteva penetrarvi alcun raggio luminoso fuorchè verticalmente dall'alto.

Fu assicurato ad un piccolo bastone l'ipocotilo di una pianticella, esso portava 9 cotiledoni che sembravano diversi, disposti a cerchio. Si osservarono i movimenti di due di essi che erano quasi opposti. L'estremità di uno venne tinta in bianco, con un segnale posto di sotto, e la fig. 44 A mostra che descrisse un cerchio irregolare in 8 ore circa. Durante la notte esso percorse una distanza considerevole

nella direzione segnata dalla linea punteggiata. Si fissò un filo di vetro longitudinalmente sopra l'altro cotiledone e questi descrisse quasi (fig. 44 B) una figura irregolarmente circolare in 12 ore circa. Durante la notte percorse del pari una distanza considerevole nella direzione indicata dalla linea punteggiata. I cotiledoni dunque circumnutano indipendentemente dal movimento dell' ipocotilo. Quantunque avessero un forte movimento durante la notte, tuttavia non si avvicinarono l'uno all'altro in modo da rendersi più verticali che durante il giorno.

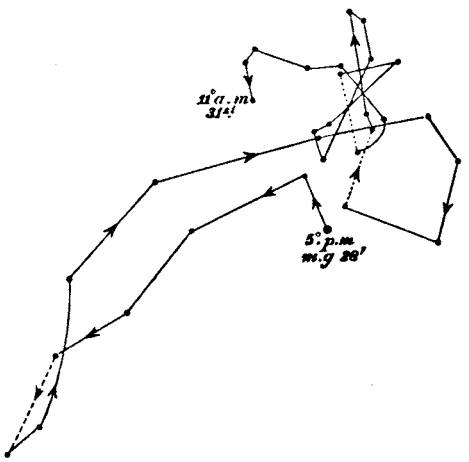
Fig. 44.



Pinus pinaster: circumnutazione di due cotiledoni opposti, tracciata sopra un vetro orizzontale nella oscurità, il giorno 25 novembre dalle 8,45 del mattino alle 8,35 della sera. Movimento della punta aumentato 22 volte in A, ridotto qui alla metà dell'originale.

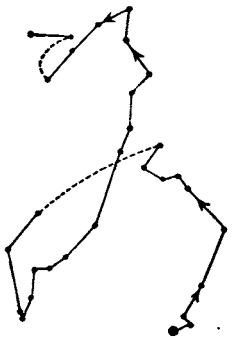
Cycas pectinata (Cycadeæ). — I grossi semi di questa pianta, allorchè germogliano, non producono in principio che una semplice foglia che esce da terra col suo picciuolo incurvato ad arco e colle sue foglioline avvolte. Una foglia in queste condizioni era, alla fine delle nostre osservazioni, lunga pollici 2 1/2. I suoi movimenti vennero rilevati in una serra calda col mezzo di un filo di vetro munito di triangoli di carta e attaccato trasversalmente alla di lei estremità. La fig. 45 mostra quanto grandi, complessi e rapidi fossero i movimenti di circumnutazione. La distanza estrema, percorsa da una parte all'altra, variava fra pollici 0,6 e pollici 0,7.

Fig. 45.



Cycas pectinata: circumnutazione di una giovane foglia che esce da terra (debolmente rischiarata per disopra) rilevata sopra un vetro verticale dalle 5 di sera del 28 maggio alle 11 del mattino del 31 dello stesso mese. Movimento amplificato 7 volte, e ridotto qui ai due terzi.

Fig. 46.



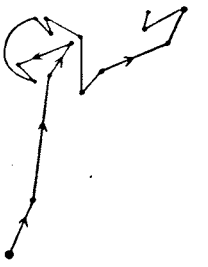
Canna Varscewiczii: circumnutazione di una plumula avente un filo fissato obliquamente alla foglia esterna simile a guaina, rilevata nell'oscurità sopra un vetro orizzontale dalle 8,45 ant. del 9 novembre alle 8,10 a. dell'11 dello stesso mese. Movimento della goccia di cera amplificato 6 volte.

Canna Warscewiczii (Cannaceæ). — Fu osservata una piantina la cui plumula si elevava di un pollice al disopra del suolo, ma le condizioni erano cattive, poichè

era stata levata dalla serra e collocata in un ambiente insufficientemente riscaldato. Tuttavia il diagramma (fig. 46) mostra ch'essa nello spazio di 48 ore descrisse due o tre ellissi o cerchi irregolari ed incompleti. La plumula è diritta, e quest'è il primo caso nel quale abbiamo visto questa parte uscire da terra senza essere incurvata.

Allium cepa (Liliaceæ). — La stretta foglia verde che sorte dal grano della cipolla comune come un cotiledone (1), appare alla superficie del suolo sotto forma di un arco, nella stessa guisa come l'ipocotilo o l'epicotilo di una pianta dicotiledone. Dopo che l'arco è apparso sopra terra, l'estremità resta chiusa ancora lungamente nel perisperma, assorbendone, evidentemente, il contenuto che è ancora abbondante. La sommità (o corona) dell'arco, quando esce in principio dal seme e si trova ancora sotterra, è semplicemente rotondata; ma prima di raggiungere la superficie, si sviluppa in una protuberanza conica di color bianco (in causa della mancanza di clorofilla), mentre che le parti attigue sono verdi, e l'epidermide appare un po' più ispessita e più dura che in ogni altra parte. Possiamo concludere che questa protuberanza conica sia un adattamento speciale per uscire da terra (2) e risponda alla cresta bianca in forma di coltello che si trova alla sommità del cotiledone diritto delle Graminacee. Dopo un certo tempo, l'estremità apicale si libera dal perisperma e si raddrizza, formando colla parte inferiore un angolo retto, o, più comunemente, un angolo ancora più aperto; qualche volta, il tutto diviene pressochè diritto. La protuberanza conica, che formava dapprima il vertice dell'arco, si trova poi da un lato, e presenta l'aspetto di un nodo o d'un *ginocchio*, che è verde perchè contiene clorifilla, ed aumenta di volume. Questi cotiledoni non divenendo giammai, o raramente tutt'affatto dritti, differiscono in modo rimarchevole dallo stato finale degli epicotili o degli ipocotili arcuati dei dicotiledoni. È degno di menzione il fatto che l'estremità assottigliata della parte superiore arcuata si dissecca invariabilmente e muore.

Fig 47.



Allium cepa: circumnutazione della metà inferiore di un cotiledone arcuato, rilevata nell'oscurità sopra un vetro orizzontale, il 31 ottobre dalle 8,15 del mattino alle 10 di sera. Movimento della goccia di cera amplificato 17 volte circa.

Un filo di pollici 1,7 di lunghezza fu fissato quasi diritto al disotto del ginocchio alla parte verticale e basilare d'un cotiledone, ed i suoi movimenti vennero rilevati nel solito modo per 14 ore.

La traccia che noi diamo indica che vi era circumnutazione (fig. 47). Il movimento della parte superiore del medesimo cotiledone, al disopra del ginocchio, fu osservato nello stesso tempo; questa parte era inclinata di 45° sull'orizzonte. Noi non la munimmo di filo, ma disponemmo un punto per segnale dietro alla sua estremità che era quasi bianca, poichè cominciava ad avvizzire, e potemmo rilevare così i suoi movimenti.

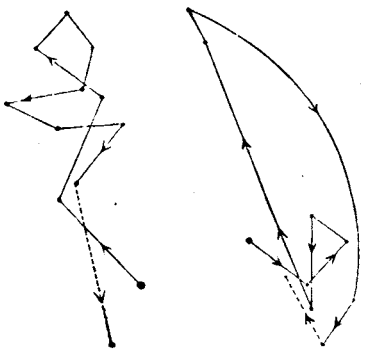
La figura descritta somigliava quasi completamente a quella data più sopra, ciò che mostra che la sede principale del movimento si trova nella parte inferiore o basilare del cotiledone.

(1) È l'espressione di cui si serve SACHS nel suo *Trattato di Botanica*.

(2) HABERLANDT ha brevemente descritto (*Die Schutzeinrichtungen der Keimpflanze*, 1877, p. 77) questa curiosa struttura e lo scopo a cui essa tende. Egli dice che sono state date delle buone figure di cotiledoni della cipolla da TITTMANN e da SACHS nella *Experimental-Physiologie*, p. 93.

Asparagus officinalis (Asparageæ). — L'estremità di una plumula diritta o di un cotiledone (non sappiamo realmente qual nome convenga usare) fu trovata ad una profondità di pollici 0, 1, e la terra venne allontanata tutt'all'ingiro per lo spessore di pollici 0,3. Essendo stato fissato un filo di vetro obliquamente su quest'organo, il movimento della goccia di cera amplificato 17 volte, fu rilevato nell'oscurità. Durante il primo intervallo di un'ora e 15 minuti, la plumula si raddrizzò e durante le due ore successive ritornò sui suoi passi seguendo una linea grossolanamente parallela, ma formando dei forti zig-zag. Sotto l'influenza di una causa che non conosciamo, era uscita dalla terra in una direzione inclinata, e sotto l'azione dell'apogeotropismo si mosse per 24 ore circa, ma descrivendo dei leggeri zig-zag, nella stessa direzione generale, sino a raggiungere una situazione completamente verticale. Al mattino successivo cambiò totalmente di cammino. Si può dunque appena dubitare che la plumula quand'è sotterrata circumnuti quel tanto che glielo permetta la pressione della terra circostante. La superficie del suolo, nel vaso, fu allora coperta da un leggero strato di sabbia argillosa assai fina che venne mantenuta umida; e dopo che le pianticelle acuminate erano cresciute di qualche decimo di pollice, trovammo che ciascuna era circondata da un piccolo spazio fesso o da una screpolatura circolare; questo fatto non può essere attribuito che all'avvenuta circumnutazione che aveva smosso la sabbia in tutte le direzioni, poichè non si scorgevano in nessun altro punto traccie di screpolatura.

Fig. 48.



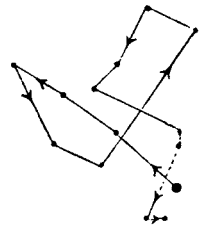
Asparagus officinalis: circumnutazione delle plumule, le cui estremità imbianchite portano, al disotto, dei segnali. A, giovane plumula; movimento rilevato dalle 8,30 ant. del 30 novembre, alle 7,15 del mattino successivo. Movimento amplificato 36 volte circa. B, plumula più vecchia; movimento rilevato il 29 novembre dalle 10,15 del mattino alle 8,10 della sera; amplificato 9 volte, ma ridotto alla metà dell'originale.

Affine di provare che vi era circumnutazione, rilevammo i movimenti di cinque rampolli, la cui altezza variava da pollici 0,3 a pollici 2. Essi erano posti in una scatola e illuminati dall'alto, ma in tutti questi cinque casi gli assi maggiori delle figure descritte erano diretti quasi verso il medesimo punto in guisa che sembra che dal tetto di vetro della serra sia penetrata maggior quantità di luce da una parte che da tutte le altre. In A (fig. 48) il rampollo non aveva che pollici 0,45 di altezza e non era formato che di un internodio portante una gemma alla sua sommità. La punta, fra le 8, 30 del mattino e le 10, 20 della sera (circa 14 ore) descrisse una figura che consterebbe probabilmente di 3 ellissi e 1/2 se il gambo non fosse stato tirato da una parte fino ad un'ora della sera, dopo il qual tempo si diresse in basso. Al mattino successivo non era molto discosta dal punto dal quale era partita la prima volta. La quantità effettiva del movimento della punta da una parte all'altra era assai debole, circa 1/18 di pollice. Il rampollo i cui movimenti sono riprodotti in B (fig. 48), aveva 1 3/4 di pollice di altezza ed era formato da tre internodi, sormontati da una gemma. La figura descritta in 10 ore sembrava presentare due ellissi o cerchi irregolari ed ineguali. La quantità effettiva del movimento dell'estremità nella direzione non influenzata dalla luce era di pollici 0,11 ed in quella che ne era influenzata, di pollici 0, 37. In un rampollo di 2 pollici di altezza si poteva vedere, anche senza l'aiuto di un diagramma, la parte superiore

del fusto incurvarsi successivamente verso tutti i punti dell'orizzonte come quello di una pianta rampicante. Un debole accrescimento della forza di circumnutazione e della flessibilità del sostegno convertiva l'asparago comune in una pianta rampicante, come è avvenuto per una specie di questo genere, *A. scandens*.

Phalaris canariensis (Gramineæ). — Presso le graminacee, la parte che esce in principio dal terreno, è stata chiamata da qualche autore il pileolo, e intorno al suo valore di omologia furono espresse opinioni diverse. Esso è considerato da qualche grande autorità come un cotiledone, termine di cui ci serviremo, senza per ora voler esprimere alcuna opinione in proposito (1). Esso consiste, nel caso presente, in un astuccio rossastro leggermente appiattito, terminato alla sua parte superiore in uno spigolo bianco acuto; esso racchiude una vera foglia verde che esce dall'astuccio da una fenditura che trovasi sotto lo spigolo acuto della sommità e fa con esso un angolo retto. L'astuccio, quando esce dal terreno, non è incurvato.

Fig. 49.



Phalaris canariensis: circumnutazione di un cotiledone portante un punto di segnale posto sotto alla sua estremità, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 8,35 a. del 26 novembre alle 8,45 a. del 27. Movimento dell'estremità amplificato 7 volte, ma ridotto qui di metà.

Fig 50.

Phalaris canariensis : circumnutazione di un giovanissimo cotiledone portante un punto di segnale posto sotto alla sua estremità, rilevata sopra un vetro orizzontale il 13 dicembre dalle 11,37 del mattino alle 9,30 della sera. Movimento fortemente amplificato, ma ridotto qui ad un quarto.

Si registrarono i movimenti di tre piantine abbastanza vecchie di circa pollici 1 1/2 di altezza, poco prima che uscissero le foglie. Queste pianticelle erano rischiarate soltanto dall'alto, poichè, come lo dimostreremo più avanti, sono estremamente sensibili all'azione della luce; e se qualche raggio luminoso accidentalmente entra da una parte, i rampolli s'inclinano fortemente in quella direzione, descrivendo dei leggeri zig-zag. Dei tre diagrammi ottenuti, non ne diamo che uno (figura 49): se le osservazioni fossero state più frequenti durante le 12 ore, si sarebbero avute due figure ovali, aventi i grandi assi perpendicolari l'uno sull'altro. L'ampiezza effettiva del movimento, da una parte all'altra, era di circa pollici 0,3. Le figure descritte dalle due altre pianticelle rassomigliano, fino ad un certo punto, a quella che qui diamo.

Una piantina appena uscita da terra e che sporgeva soltanto 1/20 di pollice venne poscia osservata nello stesso modo. Fu necessario di allontanare la terra intorno ad essa fino ad una piccola profondità per poter collocare il segnale sotto all'estremità. La fig. 50 mostra che questa estremità era in movimento verso una parte, ma che durante le 10 ore di osservazione cambiava 19 volte il suo cammino, così che si ebbe senza dubbio circumnutazione.

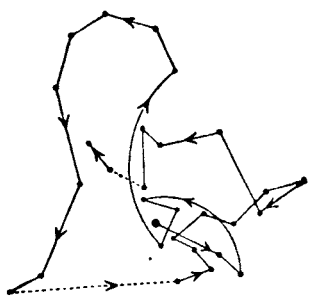
Il movimento generale in una direzione non può attribuirsi all'azione della luce laterale, poichè vennero prese accuratamente tutte le precauzioni per evitarla; noi supponiamo che questo movimento sia stato in qualche modo collegato coll'allontanamento della terra intorno alla giovane pianta.

(1) Dobbiamo essere riconoscenti al rev. G. Henslow, che ha voluto darci un estratto delle opinioni emesse su questo soggetto, coi rinvii agli autori.

In fine si esaminò con una lente la terra del medesimo vaso e si trovò esattamente al livello della superficie circostante l'estremità bianca cultriforme di un rampollo. La terra fu allontanata all'ingiro fino alla profondità di 1/4 di pollice, ma il seme stesso rimase coperto. Il vaso protetto contro la luce laterale venne posto sotto al microscopio che era munito di un oculare micrometrico, di cui ogni divisione era eguale a 1/500 di pollice. Dopo un intervallo di 30 minuti apparve l'estremità e vedemmo ch'essa attraversava un poco obliquamente due divisioni del micrometro in 9 m. e 15 s.; dopo alcuni istanti attraversava lo stesso spazio in 8 m. e 50 s. La piantina dopo un intervallo di tre quarti d'ora fu nuovamente osservata ed allora la punta attraversava abbastanza obliquamente due divisioni in 10 minuti. Dobbiamo concludere ch'essa camminava in ragione di circa 1/50 di pollice in 45 minuti. Possiamo eziandio concludere da queste osservazioni e dalle precedenti che le pianticelle di *Phalaris* uscendo da terra circumnutano quanto lo permette la pressione del suolo. Bisogna aggiungere che (come nel caso precedente citato a proposito dell'asparago) un piccolo spazio circolare fesso o screpolato era distintamente visibile intorno a molte pianticelle che erano penetrate attraverso alla sabbia argillosa, mantenuta uniformemente umida.

Zea mays (Gramineæ). — Si fissò un filo di vetro obliquamente all'estremità di un cotiledone che sporgeva da terra pollici 0,2; ma al terzo mattino aveva raggiunto tre volte quest'altezza, in modo che la distanza della goccia di cera dal punto di riscontro posto al disotto era fortemente accresciuta, e di più la traccia (fig. 51) era in conseguenza molto più amplificata il primo giorno che il secondo. La parte superiore del cotiledone mutò cammino, di almeno un angolo retto, sei volte per giorno. La pianta era rischiarata dall'alto col mezzo di una debole luce. Era questa una precauzione necessaria, poichè il giorno precedente avevamo tracciato i movimenti di cotiledoni messi in una profonda cassa, la cui porzione superiore era debolmente rischiarata sopra una parte da una finestra lontana, orientata al N.-E., e ad ogni osservazione, da una candela collocata per un minuto o due dallo stesso lato; ne risultò che i cotiledoni si mossero tutto il giorno verso questa parte, quantunque il loro cammino presentasse delle curvature rimarchevoli, dal quale solo fatto avremmo potuto concludere che vi era circumnutazione. Credemmo tuttavia miglior partito di compiere il disegno che abbiamo dato più sopra.

Fig. 51.



Zea mays: circumnutazione del cotiledone, tracciata sopra un vetro orizzontale d alle 8,30 ant. del 4 febbraio alle 8 ant. del giorno 6 febbraio. Movimento della goccia di cera amplificato circa 25 volte.

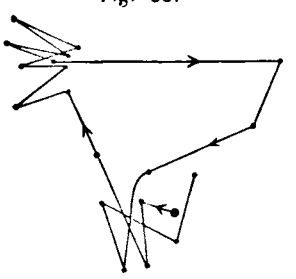
Fig. 52.

Zea mays: traccia lasciata sopra una lamina di vetro annerito, dalla punta della radichetta nel suo accrescimento in basso.

Radichette. — Si fissarono dei fili di vetro sopra due radichette corte collocate in guisa da essere quasi verticali, ed allorchè s'inclinavano sotto l'influenza del geotropismo, il loro cammino presentava dei forti zig-zag. Da quest' ultima circostanza si avrebbe potuto concludere che vi era circumnutazione se i fusti non fossero divenuti leggermente appassiti dopo le prime 24 ore, quantunque fossero inaffiati e l'aria si mantenesse assai umida. Nove radichette furono quindi disposte seguendo il metodo già descritto, in guisa da lasciare nell'accrescimento le loro traccie sopra dei vetri anneriti inclinati sotto l'orizzonte a differenti gradi (fra 45° ed 80°). Quasi tutte queste traccie essendo più strette o più larghe nei differenti punti, ed essendovi delle interruzioni a modo di ponticelli nella cancellazione della fuliggine, è evidente che la punta è venuta alternativamente in contatto più o meno perfetto col vetro. La figura 52 è una copia esatta di una di queste traccie. In due casi soltanto (e le lamine di vetro erano allora assai inclinate) vi era qualche indizio evidente di un leggero movimento laterale. Noi pensiamo dunque che lo sfregamento dell'estremità sopra la superficie annerita, per quanto debole esso sia stato, fu sufficiente per impedire il movimento laterale di queste delicate radichette.

Avena sativa (Gramineæ). — Un cotiledone di 1 1/2 pollici di altezza fu posto in faccia ad una finestra orientata al N.-E, ed il movimento dell'estremità venne rilevato sopra un vetro orizzontale durante due giorni. Esso si dirigeva verso la luce descrivendo degli zig-zag dalle 9 alle 11,30 ant. del 15 ottobre, discese allora un poco e formò molti zig-zag fino alle 5 della sera, in seguito, e durante la notte, continuò a dirigersi verso la finestra. Al mattino seguente lo stesso movimento durò fino alle 12,40 pom. in linea quasi retta, dal quale momento fino alle 2,35 la luce fu straordinariamente debole perchè nascosta da nubi fosche. In questo intervallo di un'ora e 55 minuti, durante il quale la luce era scarsa, fu interessante di osservare come la circumnutazione dominava l'eliotropismo, poichè la punta, in luogo di continuare a muoversi verso la finestra in linea leggermente ondulata, rifaceva la strada quattro volte, descrivendo due piccole e strette ellissi. Un diagramma di questo movimento sarà dato nel capitolo concernente l'eliotropismo.

Fig. 53.



Nephrodium molle: circumnutazione di una fronda giovanissima tracciata nell'oscurità sopra un vetro orizzontale il 30 ottobre dalle 9 del mattino alle 9 di sera. Movimento della goccia di cera amplificato 48 volte.

Fu in seguito fissato un filo sopra un cotiledone che non aveva che 1/4 di pollice di altezza e non era rischiarato che dall'alto; essendo stato custodito in una serra calda, crebbe rapidamente. La circumnutazione non poteva qui esser dubbia, poichè descrisse in 5 1/2 ore una figura in forma di 8 che rassomigliava a due piccole ellissi.

Nephrodium molle (Filices). — Un rampollo di questa specie di felce si sviluppò accidentalmente in un vaso presso al suo ceppo. La fronda, che non era però che leggermente lobata, non aveva che 0,16 pollici di lunghezza e 0,2 pollici di larghezza ed era sostenuta da una rachide fina quanto un capello, e alta pollici 0,23. Un filo di vetro assai fino, lungo pollici 0,36, venne fissato all'estremità della fronda. Il movimento ricevette una sì forte amplificazione che la figura (fig. 53) non dovrebbe essere intieramente esatta: ma la fronda si muoveva costantemente in modo complesso e la goccia di cera cambiò cammino 18 volte durante le 12 ore dell'osservazione. Dopo una mezz'ora ritornava spesso indietro seguendo una linea quasi parallela alla sua prima corsa. La più grande ampiezza del movimento si presentò fra le 4 e le 6 della sera. La circumnutazione di questa pianta riesce inte-

ressante, essendo le specie del genere Lygodium ben conosciute perchè circumnutano visibilmente e ravvolgonsi attorno agli oggetti vicini.

Selaginella Kraussii (?) (Lycopodiaceæ). — Una pianta assai giovane che non aveva che 0,4 pollici di altezza si sviluppò in un vaso nella serra. Un filo di vetro sottilissimo venne legato all'estremità dello stipite in forma di fronda, e il movimento della goccia di cera fu rilevato sopra un vetro orizzontale. Essa modificò il suo cammino diverse volte (come lo mostra la figura 54) durante una osservazione di ore 13 e 15 minuti, ma ritornò alla notte verso un punto poco distante da quello da cui era partita al mattino. Non vi può essere alcun dubbio sulla circumnutazione di questa piccola pianta.

Fig. 54.

Selaginella Kraussii (?) : circumnutazione della giovane pianta, osservata nell'oscurità e tracciata al 31 ottobre dalle 8,45 del mattino alle 10 della sera.

CAPITOLO II.

CONSIDERAZIONI GENERALI SUI MOVIMENTI E L'ACCRESCIMENTO DELLE PIANTICELLE.

Esistenza generale del movimento di circumnutazione. — Le radichette e l'utilità della loro circumnutazione. — Modo con cui penetrano nel suolo. — Modo con cui gli ipocotili e gli altri organi escono da terra a mezzo della loro incurvatura. — Modo singolare di germinazione della Megarrhiza, ecc. — Aborto dei cotiledoni. — Circumnutazione degli ipocotili e degli epicotili allorchè sono ancora incurvati e sotterrati. — Loro potere di raddrizzamento. — Loro uscita dagli involucri seminali. — Effetto ereditario dell'incurvamento negli ipocotili ipogei. — Circumnutazione degli ipocotili e degli epicotili allorchè si raddrizzano. — Circumnutazione dei cotiledoni. — Pulvini o articolazioni dei cotiledoni; durata della loro attività; rudimentalità nell'*Oxalis corniculata;* loro sviluppo. — Sensibilità dei cotiledoni all'azione della luce, e perturbazioni che questo agente porta nei loro movimenti periodici. — Sensibilità dei cotiledoni al contatto.

Il capitolo precedente è stato consacrato alla descrizione dei movimenti di circumnutazione proprii alle diverse parti od ai diversi organi, in un numero considerevole di piantine. Abbiamo qui posto una lista di famiglie, coorti, sottoclassi, ecc., alle quali appartengono queste pianticelle, disponendole ed ordinandole secondo la classificazione adottata da Hooker (1).

Si vedrà, esaminando questa lista, che le giovani piante scelte per le nostre osservazioni rappresentano tutti i gruppi di vegetali, ad eccezione degli inferiori, le crittogame: più avanti descriveremo anche i movimenti di qualcuna di queste ultime, giunte allo stato adulto. Tutte le pianticelle che abbiamo osservato, comprese le conifere, le cicadee, e le felci, che rappresentano i tipi vegetali più vecchi, si sono mostrate continuamente in circumnutazione; possiamo dunque concludere che questo genere di movimento è comune alle piantine di tutte le specie.

SOTTO-REGNO I. — PIANTE FANEROGAME.

CLASSE I. - **Dicotiledoni.**

Sotto-classe I. — Angiosperme.

Famiglie	Coorti	Famiglie	Coorti
14. *Crucifere* . . .	**II. Parietale.**	135. *Primulacee* . .	**XX. Primulinee.**
26. *Cariofillee* . . .	**IV. Cariofillline.**	145. *Asclepiadee* . .	**XXII. Genzianee.**
36. *Malvacee* . . .	**VI. Malvoidee.**	151. *Convolvulacee*	**XXIII. Polemoniacee.**
41. *Ossalidee* . . .	**VII. Geranioidee.**	154. *Borraginee* . .	**Id.**
49. *Tropeolee* . . .	**Id.**	156. *Nolanee*	**Id.**
52. *Auranziacee* .	**Id.**	157. *Solanee* . . .	**XXIV. Solaninee** . . .
70. *Ippocastanacee*	**X. Sapindinee.**	181. *Chenopodiee* . .	**XXVII. Chenopodinee** .
75. *Leguminose* . .	**XI. Rosinee.**	202. *Euforbiacee* . .	**XXXII. Euforbinee.**
106. *Cucurbitacee* .	**XII. Passifloree.**	211. *Cupulifere* . .	**XXXVI. Quercinee.**
109. *Cactee*	**XIV. Ficoidee.**	212. *Corilacee* . . .	**Id.**
122. *Composite* . . .	**XVII. Astralee.**		

(1) Tale quale essa è data nel *Trattato generale di Botanica* di LE MAOUT e DECAISNE, 1873.

Sotto-classe II. — Gimnosperme.

223. *Conifere.*
224. *Cicadee.*

CLASSE II. — **Monocotiledoni.**

2. *Cannacee* . . .	**II. Amomale.**	41. *Asparagee* . .	**XI. Lirioidee.**
34. *Liliacee*	**XI. Lirioidee.**	54. *Graminee* . . .	**XV. Glumacee.**

SOTTO-REGNO II. — PIANTE CRITTOGAME.

1. *Filicacee* . . .	**I. Filicinee.**	6. *Licopodiacee* .	**I. Filicinee.**

Radichette. — In tutti i semi in via di germinazione che abbiamo osservati, la prima modificazione è l'uscita della radichetta: quest'organo s'inclina immediatamente verso il basso, e si forza di penetrare nel terreno. Perchè quest' ultimo fenomeno si possa produrre, è quasi indispensabile che il seme subisca una pressione dall'alto al basso, ed offra una certa resistenza, a meno che però il suolo non sia estremamente mobile. In caso diverso, il seme è sollevato, anzichè la radichetta penetri nel suolo. Ma i semi sono spesso coperti dalla terra che spostano i quadrupedi scavatori o gli uccelli che razzolano, dai tubi dei lombrici, da ammassi di escrementi, da rami caduti dagli alberi, ecc.; è così che essi si trovano premuti dall'alto al basso. Se la terra è disseccata, è spesso necessario ch'essi cadano in buchi od in crepacci. Qualche volta, allorchè i semi giacciono allo scoperto alla superficie del suolo, i primi peli radiculari che si sviluppano possono, attaccandosi alle pietre o ad altri oggetti che si trovano sul suolo, trattenere la parte superiore della radichetta, mentre che le sue estremità si affondano nella terra.

Sachs ha dimostrato (1) con quale facilità i peli radiculari si adattino, crescendo, alle particelle le più irregolari del suolo, e contraggano con esse un intimo contatto. Questa aderenza sembra dovuta al fatto che la superficie del pelo si rammollisce, si liquefà per solidificarsi dappoi, fatto che descriveremo più tardi con maggiore diffusione. Questa unione intima ha, secondo Sachs, una parte importante nell'assorbimento dell'acqua e della materia inorganica che in essa trovasi in soluzione. L'aiuto meccanico che i peli radiculari portano alla penetrazione della radichetta sulla terra non è dunque probabilmente che un'azione d'importanza secondaria.

L'estremità della radichetta comincia a circumnutare appena che esce dagli involucri seminali, e questo movimento persiste in tutta la parte in via di accrescimento, probabilmente per tutta la durata dello sviluppo stesso. Abbiamo descritto questo movimento della radichetta nei generi *Brassica*, *Æsculus*, *Phaseolus*, *Vicia*,

(1) *Physiologie végétale*, 1868, pag. 199, 205.

Cucurbita, *Quercus* e *Zea*. Sachs (1) aveva dedotta la probabilità della sua esistenza dal fatto che collocate delle radichette verticalmente e rivolte verso il cielo, subiscono l'azione del geotropismo (fenomeno che noi pure abbiamo constatato); e infatti se queste radichette fossero rimaste assolutamente perpendicolari, l'attrazione della gravità non avrebbe potuto farle pendere da nessuna parte. Nel caso che veniamo citando, la circumnutazione fu osservata sia col mezzo di fili di vetro estremamente fini, fissati sulle radichette nel modo già descritto, sia facendole germogliare sopra delle lamine di vetro inclinate, annerite al fumo, alla superficie delle quali lasciarono le loro traccie.

In quest' ultimo caso, il loro cammino ondulato (ved. fig. 19, 21, 27, 41) mostrava, senza tema di equivoco, che l'estremità si era continuamente mossa in due sensi opposti. Questo movimento laterale aveva una debole ampiezza: nel genere Phaseolus, si estendeva, tutt'al più, da ogni parte, ad 1 mm. dalla linea mediana. Ma vi erano anche dei movimenti in un piano verticale, perpendicolare alle lamine di vetro inclinate, per cui le traccie erano alternativamente un po' più larghe o più strette, secondo che le radichette avevano premuto sul vetro con maggiore o minore forza. Talvolta sussistevano, attraverso delle traccie, delle piccole fascie di fuliggine, le quali indicavano che l'estremità della radichetta era stata sollevata in questi punti. Cotesto fatto poteva presentarsi soprattutto allorchè le radichette in luogo di proseguire il loro cammino sul vetro in linea retta verso il basso, descrivevano una curva a semicerchio; la fig. 52 mostra, tuttavia, che ciò può avvenire, anche quando la traccia è rettilinea. L'estremità della radichetta, così elevandosi, poteva, in un caso, sormontare un pelo fissato trasversalmente sul vetro inclinato; ma delle piccole festuche di legno di 1/40 di pollice di spessore soltanto, determinavano sempre la radichetta a piegarsi da una parte ad angolo retto; l'estremità dunque non si poteva elevare a questa debole altezza, lottando contro il geotropismo.

Allorchè le radichette, munite di filo di vetro, erano poste in modo da tenersi quasi verticali, si incurvavano verso il basso, sotto l'azione del geotropismo, e circumnutavano nello stesso tempo: il loro cammino era dunque a zig-zag. Qualche volta, tuttavia, avevano delle grandi oscillazioni circolari, descrivendo ancora dei zig-zag.

Delle radichette completamente circondate di terra, anche quando questa è ben umida e molle, possono forse essere intieramente impedite a circumnutare.

(1) *Ueber das Wachstum der Wurzeln.* (*Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg.* Heft III, 1873, p. 460). Questa memoria, oltre al suo grande interesse intrinseco, deve essere studiata come un modello di ricerche fatte con cura, e noi avremo occasione di riferirci spesso ad essa. Il dott. Franck aveva anteriormente rimarcato (*Beiträge zur Pflanzenphysiologie*, 1868, p. 81) che le radichette collocate verticalmente subivano l'azione del geotropismo, e spiegava questo fatto supponendo che il loro accrescimento non era eguale in ogni parte.

Dobbiamo però ricordare, che i cotiledoni in forma di astuccio e circumnutanti di Phalaris, gli ipocotili di Solanum, e gli epicotili di Asparagus, si formano d'intorno delle piccole screpolature o fenditure circolari sopra uno strato superficiale di sabbia argillosa umida. Come gli ipocotili di Brassica, essi possono, circumnutando ed inclinandosi verso una luce laterale, determinare nella sabbia umida dei solchi rettilinei. Dimostreremo, in uno dei capitoli seguenti, che il moto di rotazione o di circumnutazione dei capitoli di *Trifolium subterraneum* li aiuta ad affondarsi nella terra. È dunque probabile che il movimento di circumnutazione dell'estremità della radichetta le sia di un debole soccorso per la penetrazione nel terreno; e possiamo osservare in molti dei diagrammi già dati, che questo movimento è più fortemente pronunciato nelle radichette allorchè stanno uscendo dal seme, che un poco più tardi: ma se questa sia una coincidenza accidentale od un fatto di adattamento non vogliamo ora decidere. Quando delle giovani radichette di *Phaseolus multiflorus* erano fissate verticalmente sulla sabbia umida, noi ci aspettavamo di vederle, appena l'avessero toccata, formare dei solchi circolari; questo fatto però non si produsse, ciò che crediamo di dover attribuire al rapido accrescimento in diametro dell'estremità della radichetta che riempiva il solco man mano che si formava. Sia che una radichetta, allorchè è circondata da terra mobile, venga aiutata dalla circumnutazione a tracciarsi un passaggio, o meno; certo è che non possiamo rifiutarci di attribuire a questo movimento un'alta importanza, poichè esso guida la radichetta sopra una linea di minore resistenza, come lo si vedrà nel capitolo seguente, dove tratteremo della sensibilità della punta al contatto. Se però una radichetta nel suo accrescimento si traccia obliquamente un passaggio in una screpolatura, in un foro lasciato da una radice morta o formato da una larva d'insetto, o specialmente da un verme, il movimento di circumnutazione della sua estremità deve aiutarla materialmente a seguire il passaggio così aperto; del resto noi abbiamo osservato che le radici seguono nella loro discesa generalmente i vecchi fori dei vermi (1).

Quando una radichetta si trova posta in una posizione orizzontale od inclinata, la parte terminale in via di accrescimento s'incurva, come è noto, verso il centro della terra, e Sachs (2) ha mostrato che durante questa curvatura, l'accrescimento della faccia inferiore è fortemente ritardato, mentre che quello della faccia superiore continua nella proporzione ordinaria, e può anche essere alquanto aumentato. Egli ha mostrato ancora che se si fa passare un filo sopra una carrucola, e si attacca ad una grande radichetta orizzontale, quella per es. della veccia comune,

(1) Vedi sullo stesso soggetto il lavoro del prof. HENSEN (*Zeitschrift für Wissen., Zool.*, B. XXVIII, p. 354, 1877). Egli crede che le radici possano raggiungere una grande profondità nella terra col solo mezzo dei fori praticati dai vermi.

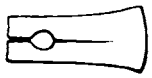
(2) *Arbeiten des bot. Inst. Würzburg*, vol I, 1873, p 461. Vedi pure pag. 397, per la lunghezza della parte in via di accrescimento, e pag. 450, per la forza del geotropismo.

questa radichetta non è capace di sollevare che il peso di 1 gramma, ossia di 15,4 grani. Possiamo dunque concludere che il geotropismo non dà alla radichetta una forza sufficiente per penetrare nella terra, ma che questo agente le indica soltanto (se tale espressione può essere usata) la via che deve seguire. Prima di conoscere le osservazioni più precise di Sachs, noi avevamo coperto una superficie piana di sabbia umida colle foglie di stagno più sottili che potemmo procurarci (0,02 a 0,03 mm., o 0,00012 a 0,00079 pollici) ed avevamo collocato, a piccola distanza al disopra, una radichetta disposta in guisa da crescere quasi perpendicolarmente verso il basso. Allorchè la sua estremità venne a contatto della superficie liscia, essa si curvò ad angolo retto, e scivolò sullo stagno, senza lasciarvi alcuna impressione; tuttavia queste foglie di stagno erano sì flessibili che un piccolo pezzo di legno tenero, posto nella medesima direzione dell'estremità della radichetta, e leggermente caricato di un peso di 1/4 di oncia (120 grani) le lacerò completamente.

Le radichette possono penetrare nella terra per la forza che accompagna il loro accrescimento longitudinale e trasversale, i semi stessi essendo trattenuti dal peso del suolo che sopportano. Nella veccia, l'estremità protetta dalla piloriza è puntuta, e la parte in via di accrescimento, lunga da 8 a 10 mm., è molto più rigida, come Sachs l'ha provato, che la parte immediatamente superiore che ha cessato di crescere in lunghezza. Noi ci siamo forzati di determinare la pressione esercitata dall'alto al basso dalla porzione in via di accrescimento. Per tale scopo, collocammo delle veccie in germinazione fra due piccole lamine di metallo, di cui la superiore era caricata di un peso noto; la radichetta era allora disposta in maniera da uscire attraverso ad un buco stretto praticato nel legno grosso 2 o 3 decimi di pollice ed obbligato al fondo. Il legno era stato tagliato in guisa che la piccola lunghezza della radichetta che si trovava fra la veccia e l'orificio del buco non poteva inclinarsi lateralmente da tre parti, mentre fu impossibile di proteggere anche la quarta in prossimità della veccia. In seguito a ciò, per tutto il tempo che la radichetta continuava ad allungarsi rimanendo dritta, la veccia, caricata di pesi, doveva essere sollevata, dopo che l'estremità della radichetta aveva attraversato il oro poco profondo. Delle veccie così disposte, circondate di sabbia umida sollevavano un peso di un quarto di libbra nelle 24 ore dopo che l'estremità della radichetta era penetrata nel foro. Con un carico più forte, le radichette stesse si incurvavano verso la parte che non era protetta; ma questo fatto non si sarebbe probabilmente prodotto se esse fossero state completamente circondate da ogni parte con della terra compatta. Vi era tuttavia in queste esperienze una sorgente possibile ma non probabile di errore, poichè non abbiamo determinato se le veccie stesse si gonfiano parecchi giorni dopo che hanno germogliato, e dopo di essere state trattate come lo furono le nostre, cioè a dire lasciate prima 24 ore nell'acqua, poi messe a germogliare nell'aria assai umida, e finalmente poste sopra il foro e quasi circondate di sabbia umida entro una scatola chiusa.

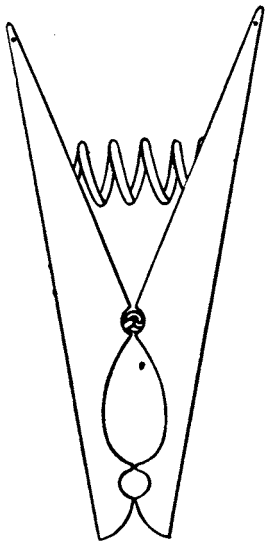
Riuscimmo meglio a determinare la forza esercitata da queste radichette in direzione trasversale. Due furono disposte in modo da penetrare in buche strette praticate in piccoli pezzi di legno, di cui l'una era tagliata sul modello esattamente rappresentato dalla fig. 55. L'estremità corta del pezzo di legno, dietro la buca, era appositamente fessa, ma tale disposizione non era ripetuta all'estremità opposta. Siccome il legno era assai elastico, la fenditura si chiudeva tosto dopo che era stata praticata. Dopo sei giorni, la veccia ed il pezzo di legno furono ritirati dalla sabbia umida, e trovammo la radichetta fortemente ingrossata davanti e di dietro della buca. La fenditura, che all'origine era completamente chiusa, si trovava allora aperta sopra una larghezza di 4 mm., appena che la radichetta fu ritirata, essa si chiuse immediatamente di 2 mm. Il pezzo di legno venne quindi sospeso orizzontalmente con un filo finissimo traversante la buca prima riempiuta dalla radichetta, ed un piccolo piatto fu sospeso al disotto per ricevere i pesi. Furono necessari 8 libbre e 8 oncie per aprire la fenditura di 4 mm., larghezza che misurava prima che si avesse levata la radichetta. Ma la parte di quest'organo (di soli 0,1 pollici di lunghezza) che era imprigionata nella buca, esercitava pure probabilmente uno sforzo trasversale più considerevole di 8 libbre e 8 oncie, poichè essa aveva fesso il legno solido sopra una larghezza di un po' più di 1/4 di pollice (esattamente 0,275 pollici). Questa fenditura si può vedere nella figura 55. Un altro pezzo di legno trattato nello stesso modo diede esattamente il medesimo risultato.

Fig. 55.



Schizzo ridotto alla metà di un pezzo di legno avente un buco attraverso al quale si spingeva la radichetta di una veccia. Spessore del legno dalla parte stretta 0,08 poll., dalla parte larga 0,16 poll., profondità del buco, 0,1 poll.

Fig. 56.



Pinzetta di legno, mantenuta chiusa da una molla di rame a spirale, con un buco di 0,14 poll. di larghezza e 0,6 poll. di profondità, praticato nella parte sottile e chiusa; una radichetta di veccia fu collocata a svilupparsi in questo buco. Temperatura 50°–60° F.

Noi adottammo allora un metodo più preciso. Si praticarono dei buchi presso la stretta estremità di due pinzette di legno (fig. 56), mantenute chiuse da delle molle spirali di rame. Due radichette collocate nella sabbia umida furono poste a svilupparsi attraverso a questi buchi. Le pinzette giacevano sopra lamine di vetro, per diminuire lo sfregamento della sabbia. I buchi erano un poco più larghi (0,14 pollici) e molto più profondi (0,6 pollici) che nell'esperienza precedente; in questo modo, la pressione trasversale era esercitata da una maggior lunghezza di una radichetta più grossa. Esse furono ritirate 10 giorni dopo. Si misurò esat-

tamente la distanza fra due punti (vedi la figura) alle estremità più lunghe delle branche, poi le radichette vennero ritirate dai buchi, ed in seguito le pinzette si richiusero naturalmente. Si sospesero allora queste orizzontalmente come si aveva fatto coi pezzi di legno, e si trovò che in una pinzetta era necessario un peso di 1,500 grammi (ossia 3 libbre e 4 oncie) per aprirla della stessa quantità della quale la aveva divaricata l'accrescimento trasversale della radichetta. Appena che questa radichetta ebbe leggermente aperta la pinzetta, prese, aumentando di volume, una forma appiattita, e uscì alquanto dall'altra parte del buco; il suo diametro in una direzione era di mm. 4,2 e nella direzione perpendicolare di mm. 3,5. Se tale schiacciamento ed uscita si fossero potuti evitare, la radichetta avrebbe probabilmente esercitato una pressione superiore a 1,500 gr. Con l'altra pinzetta la radichetta era uscita ancora più fortemente dal buco; il peso necessario per aprirla della stessa quantità fu di 600 grammi soltanto.

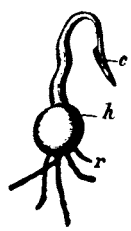
Dopo questi fatti, ci sembra che non vi sieno più delle grandi difficoltà per comprendere, come una radichetta penetri nel terreno. L'estremità è appuntita e protetta dalla piloriza; la parte terminale in via di accrescimento è rigida; essa si allunga con una forza eguale, per quanto risulterebbe dalle nostre osservazioni, ad una pressione di un quarto di libbra almeno. Questa forza diviene probabilmente più grande allorchè la pressione della terra circostante impedisce alla radichetta l'inclinarsi da una parte. Mentre essa così si allunga, la radichetta si ispessisce, allontanando in tutte le direzioni la terra umida con una forza di otto libbre in un caso e di tre libbre in un altro. Ci è stato impossibile di determinare, se l'estremità propriamente detta esercitava, relativamente al suo diametro, la stessa pressione trasversale che le parti situate un poco al disopra; ma a noi ci pareva di non avere alcuna ragione per dubitare che la cosa fosse così. La parte in via di accrescimento non agisce dunque come un chiodo che si affonda a colpi di martello in una tavola, ma piuttosto come un cuneo di legno che leggermente spinto in una fenditura si gonfia a poco a poco per assorbimento di acqua: un istrumento che agisce in questo modo rompe anche un pezzo di roccia.

Maniera con cui gli ipocotili, gli epicotili, ecc. si sviluppano e si fanno strada attraverso al suolo. — Dopo che la radichetta, penetrando nella terra, ha fissato il seme, gli ipocotili di tutte le pianticelle dicotiledoni che noi abbiamo osservato, e che sollevano i loro cotiledoni al di sopra del suolo, si fanno strada attraverso alla superficie, in forma di arco. Allorchè i cotiledoni sono ipogei, cioè a dire rimangono sotterra, l'epicotilo o plumula si eleva in maniera eguale al disopra della superficie a forma di arco. Nella maggior parte dei casi, se non sempre, l'estremità incurvata verso il basso giace qualche tempo chiusa negli involucri seminali. Nel *Corylus avellana*, i cotiledoni sono ipogei, e l'epicotilo è arcuato, ma nel caso particolare, che noi abbiamo descritto al capitolo precedente, la sua estremità era stata danneggiata, e si spingeva lateralmente nel suolo come

una radice; di più, furono emessi due fusti secondarî che uscivano da terra sotto forma di archi.

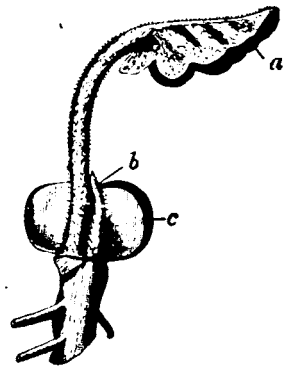
Il *Cyclamen* non produce dei fusti distinti ed in principio apparisce un solo (1) cotiledone; il suo picciuolo esce dal terreno incurvato (fig. 57). L'*Abronia*, del pari, non ha che un solo cotiledone pienamente sviluppato, ma in questo caso è l'ipocotilo che esce il primo, ed è arcuato. L'*Abronia umbellata* presenta tuttavia questa particolarità, che il lembo ripiegato del solo cotiledone sviluppato (con l'endospermo che lo circonda) ha, mentre è ancora sotto alla superficie del suolo, la sua estremità ripiegata verso l'alto, e parallela alla branca discendente dell'ipocotilo arcuato; ma esso esce da terra, in causa dell'accrescimento dell'ipocotilo, con la sua estremità diretta verso il basso. Nella *Cycas pectinata* i cotiledoni sono ipogei, ed una vera foglia esce in principio da terra col suo picciuolo ripiegato ad arco.

Fig. 57.



Cyclamen persicum: Pianticella, figura ingrandita: *c*, lembo del cotiledone non ancora spiegato, di cui il picciuolo arcuato comincia a raddrizzarsi; *h*, ipocotilo sviluppato in una formazione tuberoide; *r*, radichette secondarie.

Fig. 58.



Acanthus mollis: Pianticella il cui cotiledone ipogeo di faccia è levato e di cui la radice è tagliata. *a*, lembo della prima foglia che incomincia a distendersi, avente il suo picciuolo ancora parzialmente arcuato; *b*, seconda foglia opposta, ancora imperfettamente sviluppata; *c*, secondo cotiledone ipogeo.

Nel genere *Acanthus*, i cotiledoni sono pure ipogei. Nell'*A. mollis* una semplice foglia esce in principio da terra col suo picciuolo incurvato, mentre la foglia opposta è molto meno sviluppata, corta, stretta, di colore giallastro, e munita di un picciuolo che non è in principio grosso quanto la metà dell'altro. La foglia non sviluppata è protetta dalla sua inserzione al disotto dell'altra foglia ripiegata; e bisogna rimarcare, come un fatto istruttivo, che non dovendo essa farsi strada

(1) Tale è la conclusione alla quale è giunto il dott. H. Gressner (*Bot. Zeit.*, 1874, p. 837), che sostiene che ciò che gli altri botanici hanno preso per la prima vera foglia, è in realtà il secondo cotiledone, considerevolmente ritardato nel suo sviluppo.

attraverso alla terra, non è incurvata ad arco. Nella figura 58, il picciuolo della prima foglia si è già parzialmente raddrizzato, ed il lembo comincia a spiegarsi. La seconda piccola foglia ingrandisce più tardi fino a raggiungere la taglia della prima, ma questo stato è ottenuto con dei procedimenti ben differenti presso i diversi individui: in un caso, la seconda foglia non apparve pienamente sopra il suolo che sei settimane dopo la prima. Siccome le espansioni fogliari in tutta la famiglia delle Acantacee sono sia opposte sia verticillate, ed hanno la medesima grandezza, è strano di riscontrare questa grande differenza fra le due prime foglie. Si comprende come questa ineguaglianza di sviluppo, e la curvatura del picciuolo, possano essere state acquistate gradatamente, se costituiscono, per le pianticine, un benefizio, favorendo la loro uscita; infatti nelle specie *A. candelabrum*, *spinosus* e *latifolius* vi erano delle grandi variazioni nell'ineguaglianza fra le due prime foglie, e nella curvatura dei loro picciuoli. In una piantina di *A. candelabrum*, la prima foglia era arcuata, e nove volte sì lunga della seconda che consisteva di uno stiletto semplice, piccolo, bianco giallastro, diritto e peloso. In altre pianticelle, la differenza di lunghezza fra le due prime foglie era soltanto nel rapporto di 3 a 2, o di 4 a 3, o soltanto di pollici 0,76 a 0,62. In questi ultimi casi, la prima foglia, la più grande, non era propriamente arcuata. Finalmente, in un'altra pianticella non vi era la minima differenza di grandezza fra le due prime foglie, ed entrambe avevano dei picciuoli dritti; i loro lembi erano ripiegati e chiusi l'uno contro l'altro, formanti una testa di lancia od un cuneo a mezzo del quale erano uscite da terra. Dunque, presso diversi individui di questa medesima specie di *Acanthus*, il primo paio di foglie esce da terra seguendo due modi ben differenti. Se l'uno o l'altro di questi modi fosse stato nettamente vantaggioso o svantaggioso, l'uno di essi avrebbe avuto ben presto la preponderanza.

Asa Gray (1) ha descritto il modo particolare di germinazione propria a tre piante ben differenti, nelle quali l'ipocotilo è appena sviluppato. Noi le abbiamo, per questo fatto, osservate come riferibili al nostro soggetto.

Delphinium nudicaule. — I picciuoli allungati dei due cotiledoni sono confluenti (come, qualche volta, i loro lembi alla base) ed escono da terra in forma di arco. Rassomigliano così, in modo assai ingannevole, ad un ipocotilo. In principio, sono solidi, poi divengono tubulari, e la parte basilare, sotterranea, si allarga in una camera incavata, nella quale si sviluppano le giovani foglie senza veruna plumula prominente. Esteriormente, si formano delle radichette sui picciuoli confluenti, sia un poco al disopra, sia all'altezza della plumula. La prima foglia, ad un periodo precoce del suo accrescimento, e mentre è ancora nella camera, si trova tutt'affatto ritta, ma il suo picciuolo si incurva ben tosto; l'accrescimento di questa

(1) *Botanical Text-Book*, 1879, p. 22.

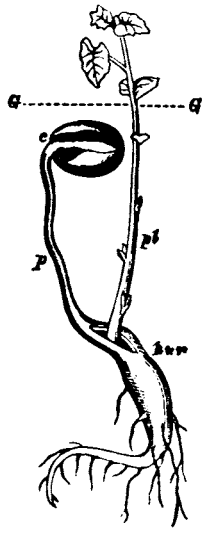
ultima parte (e probabilmente del lembo) determina la fenditura e l'apertura di uno dei lati della camera, onde poi la foglia esce. Trovammo che in un caso la fenditura aveva mm. 3,2 di lunghezza ed era situata sulla linea di confluenza di due picciuoli. La foglia, allorchè esce dalla sua cavità, è ancora sotterrata, ed allora la parte superiore del picciuolo, presso al lembo, si incurva nel modo solito. La seconda foglia sorte dalla fenditura sia dritta, sia qualche poco arcuata, ma in seguito la parte superiore del picciuolo — in qualche caso certamente, e per quanto crediamo in tutti — si incurva mentre si fa strada attraverso al terreno.

Megarrhiza californica. — I cotiledoni di questa cucurbitacea non si liberano mai dagli inviluppi seminali; di più, sono ipogei. I loro picciuoli restano intieramente confluenti, e costituiscono un tubo che termina, alla sua parte inferiore, in una punta solida, formata da una radichetta assai piccola e dall'ipocotilo: la plumula pure molto piccola, è chiusa nella porzione basilare di questo tubo. Tale struttura era ben evidente in un esemplare anormale, il quale presentava l'uno dei due cotiledoni sprovveduto di picciuolo, mentre che nell'altro quest'organo aveva sviluppato un sostegno picciuolare consistente in un mezzo cilindro aperto, terminato da una punta acuta, formata dalle parti testè descritte. Non appena i picciuoli confluenti escono dal seme, s'incurvano (poichè sono fortemente geotropici) e perforano il terreno. Il seme stesso conserva la sua posizione primitiva, sia alla superficie, sia sotterrato ad una certa profondità, come lo porta il caso. Se, peraltro, l'estremità dei picciuoli confluenti riscontra qualche ostacolo nel suolo, come sembra essere avvenuto per le pianticelle descritte e figurate da Asa Gray (1), i cotiledoni sono sollevati al disopra della superficie. I picciuoli sono circondati da peli radicolari come quelli di una vera radichetta e rassomigliano alle radichette ancora in ciò che si fanno bruni quando vengono immersi in una soluzione di permanganato di potassio. I nostri semi furono esposti ad un'alta temperatura, e nello spazio di tre o quattro giorni i picciuoli penetravano perpendicolarmente nel suolo fino ad una profondità di 2 a 2 1/2 pollici, è a questo momento soltanto che la vera radichetta incomincia a crescere. In un esemplare che fu accuratamente osservato, i picciuoli avevano, sette giorni dopo la loro uscita, raggiunto una lunghezza di 2 1/2 pollici, e la radichetta si era pure, nello stesso tempo, bene sviluppata. La plumula, ancora chiusa nel tubo, misurava allora soltanto 0,3 pollici di lunghezza, ed era perfettamente dritta; ma siccome aveva aumentato di spessore, incominciava a fendere da un lato la parte inferiore dei picciuoli lungo la loro linea di confluenza. Al mattino successivo la porzione superiore della plumula si era incurvata ad angolo retto, e la parte convessa era stata così cacciata attraverso la fenditura. Qui dunque l'incurvatura della plumula si comporta nello

(1) *American Journal of science*, vol. XIV, 1877, p. 21.

stesso modo come i picciuoli di *Delphinium*. Siccome la plumula continuava a crescere, l'estremità si curvava maggiormente, e dopo sei giorni emergeva attraverso alla terra sovraincombente che aveva lo spessore di oltre 2 1/2 pollici, conservando ancora la sua forma arcuata. Dopo di aver guadagnato la superficie, essa si raddrizzò come al solito. La figura 58 A è uno schizzo di una pianticella in questo stadio avanzato di sviluppo; la superficie del suolo è rappresentata dalla linea G... G.

Fig. 58 A.



Megarrhiza californica: Schizzo di una pianticella riprodotto secondo Asa Gray, ridotto di metà; *c*, cotiledoni sotto gl' inviluppi seminali; *p*, i due picciuoli confluenti; *h* ed *r*, ipocotilo e radichetta; *pl*. plumula; *G*..... *G*, superficie del suolo.

La germinazione dei semi in California, loro patria, si produce in modo alquanto differente, come ce lo insegna una interessante lettera del signor Rattan, che ce l'ha spedita il prof. Asa Gray. I picciuoli escono dai semi poco dopo le pioggie autunnali, e si affondano nel suolo generalmente con una direzione verticale, ad una profondità di 4 a 6 pollici. Sono stati trovati in questo stato da Rattan durante le vacanze di Natale, con le plumule ancora chiuse nei tubi, e questo autore fa osservare che, se le plumule, dopo di essersi sviluppate, avessero guadagnato la superficie (come avveniva nei nostri semi esposti ad un'alta temperatura), sarebbero certamente state uccise dal freddo. Invece esse rimangono in riposo a qualche profondità sotto la superficie, si trovano così protette contro il gelo, e i peli radicolari dei picciuoli le forniscono di sufficiente umidità. Noi vedremo in seguito che molte pianticelle sono protette contro il gelo, ma da un procedimento tutt'affatto diverso: e cioè perchè sono portate al disotto della superficie del suolo dalla contrazione delle loro radichette. Possiamo tuttavia ammettere che il procedimento straordinario di germinazione del genere *Megarrhiza* presenti un altro vantaggio secondario. Dopo qualche settimana la radichetta comincia ad allargarsi in un piccolo tubero, abbondantemente provveduto di amido, e solamente poco amaro. Essa avrebbe dunque potuto essere divorata dagli animali se non fosse stata protetta, durante lo stato giovanile e tenero, dal suo sotterramento ad una profondità di qualche pollice. Più tardi raggiunge un'enorme grandezza.

Ipomœa leptophylla. — Nella maggior parte delle specie di questo genere, l'ipocotilo è ben sviluppato, ed esce da terra in forma di arco. Ma i semi della specie che noi consideriamo si comportano germogliando come quelli di *Megarrhiza*, con la differenza che i picciuoli allungati dei cotiledoni non sono confluenti. Dopo di essere usciti dal seme sono uniti alla loro estremità inferiore, con l'ipocotilo e la radichetta poco sviluppati che formano assieme una punta lunga soltanto

pollici 0,1 circa. Sono in principio fortemente geotropici, e penetrano nel suolo ad una profondità di un po' più di mezzo pollice. La radichetta comincia allora a crescere. In quattro casi, dopo che i picciuoli si erano debolmente allungati in basso, furono posti orizzontalmente nell'aria umida, all'oscuro, e dopo quattro ore, erano di nuovo curvati verticalmente in basso, avendo percorso, in questo tempo, un arco di 90°. Ma la loro sensibilità al geotropismo non dura che due o tre giorni, e solo la parte terminale, sopra una lunghezza di pollici 0,2 a 0,4 possiede questa sensibilità. Quantunque i picciuoli dei nostri esemplari non penetrassero nel suolo ad una profondità maggiore di mezzo pollice circa, essi continuavano tuttavia a crescere rapidamente durante qualche tempo, e raggiunsero infine la rilevante lunghezza di 3 pollici circa. La parte superiore è apogeotropica; essa cresce, per conseguenza, verticalmente in alto, ad eccezione di una breve porzione presso ai lembi, che, ad un periodo precoce, s'incurva e si piega ed arriva così alla superficie. Più tardi questa porzione si raddrizza, ed i cotiledoni si liberano allora dagli involucri seminali. Noi abbiamo nel caso presente in differenti punti del medesimo organo diverse sorta di movimento e di sensibilità; infatti, la parte basilare è geotropica, la porzione superiore apogeotropica, mentre che una parte presso al lembo s'incurva temporaneamente e affatto spontaneamente. Durante qualche tempo la plumula non si sviluppa; e siccome si eleva fra le basi dei cotiledoni che, uscendo da terra, hanno formato un passaggio quasi aperto, non ha bisogno di essere incurvata, e rimane quindi sempre diritta. Ignoriamo se la plumula rimanga sotterrata ed in riposo durante un certo tempo, nel paese dove la pianta è originaria, e se essa sia così protetta contro il freddo dell'inverno. La radichetta, come quella di *Megarrhiza*, si sviluppa in una massa tuberoide, che raggiunge infine una grande statura. Ciò succede anche nell'*Ipomœa pandurata*, la cui germinazione, a quanto ci dice Asa Gray, rassomiglia a quella d'*I. leptophylla*.

Il caso seguente è interessante in causa della natura quasi radicolare dei picciuoli. Fu levata la radichetta di una pianticella perchè era completamente morta, ed i due cotiledoni, separati fra di loro, furono piantati nella terra. Essi emisero alla loro base delle radici, e rimasero per due mesi verdi e vivi. I lembi di ciascuno di essi erano appassiti, ed allontanando la terra trovammo le basi dei picciuoli (in luogo della radichetta) allargate in piccoli tuberi. Non sappiamo se essi avrebbero avuto la potenza di produrre nella successiva estate due piante indipendenti.

Nel *Quercus virens*, secondo il dottor Engelmann (1), i due cotiledoni ed i loro picciuoli sono confluenti. Gli ultimi giunsero ad una lunghezza « di 1 pollice od anche più », e se lo comprendiamo bene, penetrano nel terreno, così che devono essere geotropici. Gli alimenti che racchiudono i cotiledoni sono allora rapida-

(1) *Transact. St.-Louis Acad. Science*, vol. IV, p. 190.

mente trasportati nell'ipocotilo o radichetta che così si sviluppa in un tubero fusiforme. Questo fatto, che cioè dei tuberi sono prodotti dalle piante ben distinte sopra accennate, ci fa credere che la protezione che essi presentano contro gli animali, nella giovane età, e nel tempo che sono teneri, è almeno uno dei vantaggi che procura il notevole allungamento dei picciuoli dei cotiledoni, cui si aggiunge il potere di penetrare nel terreno come le radici sotto l'azione del geotropismo.

I seguenti casi sono qui da citarsi, poichè si riferiscono al nostro soggetto, quantunque non sieno applicati a delle pianticelle. Il fusto fiorifero della pianta parassita *Lathræa squamaria*, che è sprovveduta di vere foglie, esce da terra in forma di arco (1); lo stesso avviene del fusto fiorifero di *Monotropa hypopitys* parassita e sprovveduta di foglie. Nell'*Helleborus niger*, i fusti fioriferi, che si elevano indipendentemente dalle foglie, escono pure dal terreno sotto forma di archi. Ed altrettanto dicasi dei fusti fioriferi assai allungati e dei picciuoli di *Epimedium pinnatum*, nonchè dei picciuoli di *Ranunculus ficaria*, allorchè devono praticarsi un passaggio attraverso al suolo; ma quando escono dalla sommità del bulbo, al disopra del suolo, sono in principio completamente dritti: è questo un fatto che merita di essere notato. La rachide della felce aquilina (*Pteris aquilina*) e di qualche altra, e probabilmente di molte altre, esce egualmente da terra in forma di arco. Senza alcun dubbio, si potrebbe, con ricerche fatte con cura, trovare altri esempi analoghi. In tutti i casi ordinarî dei bulbi, rizomi, fusti sotterranei, ecc., coperti dal suolo, la terra è allontanata da un cono costituito dalle giovani foglie embricate, alle quali il loro accrescimento combinato dà la forza necessaria per questo scopo.

(1) Il passaggio del fusto fiorifero attraverso alla terra non può mancare di essere singolarmente facilitato dalla quantità straordinaria di acqua che secernono in questo momento dell'anno le foglie squamose sotterranee; ciò tuttavia non costituisce una ragione per supporre che questa secrezione sia un adattamento speciale per questo oggetto: essa è probabilmente una conseguenza della grande quantità di succo assorbito nella primavera precedente dalle radici parassite. Dopo un lungo periodo senza pioggia, la terra aveva preso un coloramento chiaro ed era assai secca, ma essa era di colore oscuro ed in pari tempo umida in certi siti, e completamente bagnata ad una distanza di sei pollici almeno tutto attorno ad ogni fusto fiorifero. L'acqua è secreta da delle ghiandole (descritte da Cohn, *Bericht. Bot. Sect. der Schlesischen Gesell.*, 1876, p. 113), che rivestono le scanalature longitudinali che percorrono ciascuna foglia squamosa. Fu levata dal suolo una forte pianta, lavata per asportare la terra, quindi posta, durante la mattina, sopra una lamina asciutta di vetro, coperta da una campana pure di vetro: al mattino successivo essa aveva secreto una grande fiasca di acqua. La lamina di vetro venne asciugata, e durante le 7 od 8 ore che seguirono, ne fu secreta un'altra piccola fiasca; dopo 16 altre ore, vi erano diverse larghe goccie. Si lavò allora un'altra pianta più piccola, che venne quindi collocata in un gran vaso, che rimase inclinato durante un'ora; dopo questo tempo non discendeva più acqua. Il vaso fu quindi raddrizzato e chiuso; 23 ore dopo, furono raccolte sul fondo due dramme d'acqua, e poca di più dopo 25 altre ore. I fusti fioriferi furono poscia tagliati, poichè non prendevano parte alla secrezione, e trovammo che la porzione sotterranea pesava 106 gr. 8 (1611 grani), e l'acqua secreta durante le 48 ore, 11 gr. 9 (183 grani), ossia un nono del peso totale della pianta, eccettuati i fusti fioriferi. È mestieri ricordare che le piante, nel loro stato naturale, secernerebbero probabilmente in 48 ore una quantità d'acqua maggiore della sopra indicata, poichè le loro radici continuerebbero durante tutto il tempo ad assorbire il succo della pianta sulla quale sono parassite.

Nei semi monocotiledoni in atto di germogliare (noi disgraziatamente non ne abbiamo osservato un gran numero), le plumule, quelle per es. di *Asparagus* e di *Canna*, sono dritte al momento in cui escono da terra. Nelle Graminacee, i cotiledoni in forma di guaine sono egualmente dritti; essi terminano però con una piccola cresta bianca e qualche poco indurita; tale struttura facilita evidentemente la loro uscita dalla terra. Le prime vere foglie emergono dalla guaina per una fenditura situata al disotto della sua estremità foggiata a scalpello, e ad angolo retto con questa estremità. Nel caso della cipolla (*Allium cepa*), riscontrammo di nuovo l'arco; il cotiledone fogliaceo è bruscamente piegato allorchè esce da terra, avente la sua estremità ancora rinchiusa sotto gl'involucri seminali. Il vertice dell'arco, come l'abbiamo già indicato, è sviluppato in una protuberanza conica, bianca, che possiamo, senza tema, considerare come un adattamento speciale per tale scopo.

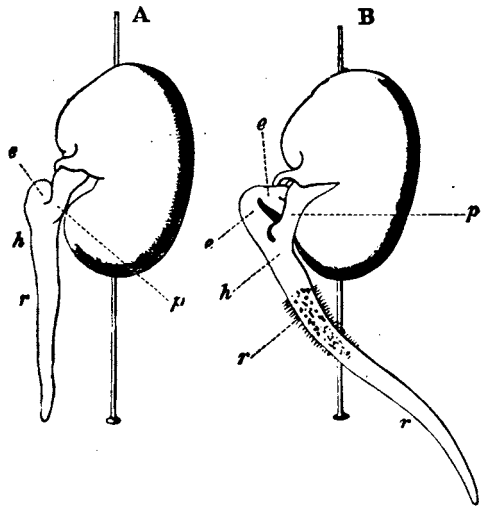
Questo fatto, che molti organi di specie diverse — ipocotili ed epicotili, picciuoli di certi cotiledoni e di certe prime vere foglie, cotiledoni della cipolla, rachidi di alcune felci, diversi fusti fioriferi — sono tutti incurvati quando escono da terra, mostra quale sia l'esattezza delle osservazioni del dottor Haberlandt (1) sull'utilità dell'incurvamento nelle pianticelle. Egli ne attribuisce la principale importanza a ciò che le parti superiori giovani e più tenere dell'ipocotilo o dell'epicotilo sfuggono per tale provvedimento ad ogni attrito e compressione mentre escono da terra. Ma noi crediamo che sia necessario di attribuire pure qualche importanza all'aumento di forza che procura all'ipocotilo, all'epicotilo, o ad altri organi, il loro incurvamento primitivo; infatti, le due branche dell'arco guadagnano in lunghezza, e tutte due hanno dei punti di resistenza per tutto il tempo che rimangono sotto gl'involucri seminali; il vertice dell'arco è così spinto fuori dalla terra con una forza doppia di quella che potrebbe esercitare un ipocotilo od ogni altro organo dritto. Appena però l'estremità superiore si è resa libera, ogni sforzo dev'essere esercitato dalla branca basilare. Nell'epicotilo della veccia comune, la branca basilare (quando l'estremità si era liberata dagli involucri seminali) crebbe con una forza sufficiente per sollevare una piastra sottile di zinco caricata di un peso di dodici oncie. Essendo state aggiunte altre 2 oncie, le 14 oncie furono sollevate ad un'assai piccola altezza; poi l'ipocotilo si piegò e s'inclinò da una parte.

Quanto alla causa primitiva dell'incurvamento, noi pensammo che potesse essere attribuita al modo con cui l'ipocotilo o l'epicotilo era disposto e ripiegato nel seme, e che la forma ad arco così acquistata fosse semplicemente conservata fino a che la parte in questione avesse raggiunto la superficie del suolo. Ma è a dubitare che

(1) *Die Schutzeinrichtungen in der Entwickelung der Keimpflanze*, 1877 Questo interessante saggio ci ha molto insegnato, benchè le nostre osservazioni ci sembrino in parecchi punti diverse da quelle dell'autore.

la cosa sia sempre così. Per la veccia comune, per es., l'epicotilo (o la plumula) è incurvato ad arco allorchè esce dall'involucro seminale, come lo mostra la fig. 59.

Fig. 59.



Vicia faba: semi in germinazione, sospesi nell'aria umida: A, la radichetta diretta perpendicolarmente verso il basso; B, la medesima veccia dopo 24 ore, dopo che la radichetta si è incurvata: *r*, radichetta; *h*, ipocotilo corto; *e*, epicotilo appariscente come una protuberanza in A, e come un arco in B; *p*, picciuolo del cotiledone, quest'ultimo chiuso nell'involucro seminale.

La plumula esce in principio sotto forma di una protuberanza solida (*e* in A) che dopo 24 ore di accrescimento, costituisce il vertice dell'arco (*e* in B). Nondimeno in parecchie veccie che germogliavano nell'aria umida, e che erano state trattate in modo poco naturale, si sono sviluppate delle piccole plumule nelle ascelle dei picciuoli dei due cotiledoni, ed esse erano così perfettamente incurvate come la plumula normale, sebbene non fossero state sottomesse ad alcun imprigionamento o pressione, poichè gl'involucri seminali erano intieramente rotti, ed esse si sviluppavano in piena aria. Questo fatto prova chiaramente che la plumula ha una tendenza innata o spontanea ad incurvarsi.

In altri casi, l'epicotilo o l'ipocotilo non esce in principio dal seme che assai poco incurvato; ma l'incurvamento si accentua in seguito indipendentemente da ogni pressione. L'arco è in tale guisa ridotto; le branche che si sono nello stesso tempo molto allungate, divengono parallele e quasi si toccano, laonde l'arco stesso è reso bene adatto ad aprirsi un passaggio attraverso alla terra.

In molte specie di piante, la radichetta, mentre è ancor chiusa nel seme, e perfino dopo la sua prima uscita, si trova nel prolungamento del futuro ipocotilo e dell'asse longitudinale dei cotiledoni. È così nella *Cucurbita ovifera;* tuttavia, in qualunque posizione che il seme sia sotterrato, l'ipocotilo esce sempre incurvato in una direzione particolare. Furono seminati dei grani in torba friabile ad una profondità di circa un pollice, e nella posizione verticale, aventi la parte da cui doveva uscire la radichetta, rivolta in basso. Tutte le parti occupavano così le medesime posizioni relative che dovevano conservare più tardi quando le pianticelle si sarebbero elevate al disopra della superficie del suolo. Malgrado ciò, l'ipocotilo s'incurvò, e siccome l'arco continuava a crescere nella torba, i semi sotterrati furono voltati

sossopra, oppure si trovarono orizzontali, e vennero più tardi portati sopra terra. Finalmente l'ipocotilo si raddrizzò come al solito, ed allora, dopo tutti questi movimenti, le diverse parti occupavano le une rispetto alle altre, ed in rapporto al centro della terra, le medesime posizioni ch'esse avevano allorquando il seme fu messo in terra. Ma in questo come in altri casi analoghi, si può concludere, che l'ipocotilo crescendo in alto attraverso alla terra, il seme sarà certamente sempre inclinato da un lato, ed allora la parte superiore dell'ipocotilo, in seguito alla resistenza che deve esercitare durante la sua elevazione susseguente, si ripiegherà su se stessa, e diventerà così arcuata.

Questo modo di vedere sembra il più probabile, tanto più che nel *Ranunculus ficaria* i soli picciuoli delle foglie che si aprono un passaggio attraverso alla terra, sono ripiegati, e non quelli delle foglie che escono dalla sommità dei bulbi sopra terra. Tuttavia, questa spiegazione non la si applica alla cucurbita. Infatti, allorchè dei semi in germinazione erano sospesi nell'aria umida, occupando delle posizioni varie, nelle quali essi erano mantenuti con degli spilli che attraversavano i cotiledoni, e che erano fissati al lato interno dei coperchi dei vasi di vetro, gl'ipocotili non erano, in questo caso, sottomessi ad alcuno sfregamento, nè ad alcuna violenza, e tuttavia la loro parte superiore s'incurvava spontaneamente. Questo fatto prova anche che non è il peso dei cotiledoni che determina l'incurvatura. Dei semi d'*Helianthus annuus* e di due specie di Ipomæa (quelli d'*I. bona nox* sono grandi e pesanti per questo genere di piante) furono fissati nello stesso modo, e gl'ipocotili s'incurvarono spontaneamente. Le radichette che pendevano verticalmente presero, in seguito, una posizione orizzontale. Nel caso d'*Ipomœa leptophylla*, sono i picciuoli dei cotiledoni che s'incurvano uscendo da terra, ed il fatto si produceva spontaneamente quando i semi erano fissati sui coperchi di vetro.

Si può tuttavia ritenere, con qualche probabilità, che l'incurvamento sia stato provocato in origine da violenza meccanica, dovuta all'imprigionamento delle parti nell'involucro seminale ed allo sfregamento che esse subiscono durante la loro uscita. Ma se è così, noi dobbiamo ammettere, in vista dei casi sopra esposti, che una tendenza, nella parte superiore dei diversi organi in questione, ad incurvarsi verso il basso, ed a farsi così arcuata, sia divenuta ereditaria in molte piante. Lo incurvamento, a qualunque causa sia dovuto, è il risultato della circumnutazione modificata in seguito ad un accrescimento più considerevole sulla parte convessa dell'organo; un tale accrescimento però non è che temporaneo, poichè l'organo in seguito si raddrizza sempre per l'accrescimento più considerevole sul lato concavo, come lo descriveremo più avanti.

È un fatto notevole che in certe piante gl'ipocotili poco sviluppati, e che non portano giammai i loro cotiledoni sopra terra, ereditano tuttavia una certa tendenza ad incurvarsi, benchè questo movimento non sia loro di alcuna utilità. Noi ci riportiamo ad un movimento osservato da Sachs negl'ipocotili della veccia e di

certe altre Leguminose, e che mostra la figura 59, copiata dalla sua Memoria (1). L'ipocotilo e la radichetta si spingono in principio verso il basso, come in A, e s'inclinano allora, spesso nello spazio di 24 ore, fino alla posizione indicata in B. Siccome avremo spesso, in seguito, a riportarci a questo movimento, lo chiameremo, per brevità, « incurvamento di Sachs ». A prima vista, si potrebbe credere che la posizione modificata della radichetta in B sia intieramente dovuta all'uscita dell'epicotilo (*e*), il picciuolo (*p*) servendo di cardine, ed è probabile che in effetto tale fenomeno riconosca parzialmente questa causa; ma l'ipocotilo e la parte superiore della radichetta s'incurvano essi stessi leggermente.

Il movimento sopra descritto della veccia venne da noi osservato più volte; ma le nostre osservazioni furono fatte soprattutto sul *Phascolus multiflorus*, di cui i cotiledoni sono pure ipogei. Delle pianticelle munite di radichette bene sviluppate furono dapprima immerse in una soluzione di permanganato potassico; e a giudicare dai cambiamenti di colorazione (quantunque non fossero nettamente definiti) l'ipocotilo misurava circa 0,3 pollici di lunghezza. Delle linee nere, di questa lunghezza, dritte e sottili, furono allora tracciate, a partire dalla base dei corti picciuoli, lungo gl'ipocotili di 23 semi che germogliavano e che erano fissati con spilli sui coperchi dei vasi; questi semi avevano il loro ilo rivolto verso il basso e le radichette dirette verso il centro della terra. Dopo un intervallo di 24 a 48 ore, le linee nere tracciate sugl'ipocotili di 16 di questi 23 semi si fecero manifestamente curve, ma a gradi diversi (cioè a dire con dei raggi compresi fra 20 ed 80 mm. al ciclometro di Sachs) nella stessa direzione relativa che è indicata in B (fig. 59). Siccome il geotropismo, evidentemente, tenderà a togliere questo incurvamento, furono messi a germogliare sette semi, con le precauzioni necessarie al loro sviluppo, sopra un *clinostato* (2), col mezzo del quale il geotropismo veniva annullato. La posizione degli ipocotili fu osservata durante quattro giorni successivi, e questi organi continuarono ad inclinarsi verso l'ilo e verso la faccia inferiore del seme. Al quarto giorno essi formavano un angolo di circa 63° con una linea perpendicolare alla superficie inferiore, ed erano, per conseguenza, quantunque occupanti la medesima posizione relativa, molto più incurvati che l'ipocotilo e la radichetta della veccia rappresentata in B (fig. 59).

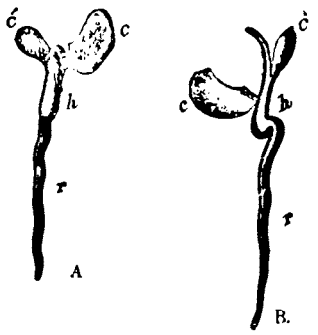
Si vorrà ben ammettere, noi crediamo, che tutte le Leguminose a cotiledoni ipogei sieno discese da forme primitive che elevavano i loro cotiledoni al disopra del suolo seguendo il metodo ordinario; e comportandosi così, è certo che i loro ipocotili dovevano essere fortemente arcuati, come quelli di tutte le altre piante dicotiledoni. Il fatto è particolarmente evidente nel *Phascolus*, poichè, su 5 specie

(1) *Arbeiten des bot. Instit. Würzburg*, vol. I, 1873, p. 403.

(2) Istrumento inventato da SACHS; consiste essenzialmente in un asse orizzontale che gira lentamente, sul quale si colloca la pianta da osservare. Vedi *Arbeiten des botanischen Instit. Würzburg*, 1879, p. 209.

di cui noi potemmo esaminare le pianticelle: *P. multiflorus, caracalla, vulgaris, Hernandezii* e *Roxburghii* (abitanti il vecchio ed il nuovo mondo), i tre ultimi hanno degli ipocotili ben sviluppati, che escono da terra arcuati. Se immaginiamo ora che una piantina di veccia comune o di *P. multiflorus* si comporti come i suoi progenitori, l'ipocotilo (*h*, fig. 59), in qualunque posizione il seme possa essere stato piantato, si farà talmente arcuato, che la parte superiore si ripiegherà verso il basso fino a divenire parallela alla parte inferiore; ed è precisamente questo il modo d'incurvamento che si presenta attualmente, quantunque in minor grado, in queste due piante. Possiamo dunque ritenere che i loro corti ipocotili abbiano conservato per eredità una tendenza ad incurvarsi nella stessa guisa che lo facevano in un periodo anteriore, allorchè questo movimento era loro assai importante per uscire da terra, benchè esso sia ora divenuto inutile per il fatto che i cotiledoni sono ipogei. Le strutture rudimentali sono, nella più parte dei casi, assai variabili e noi possiamo aspettarci che le funzioni rudimentali od inutili lo sieno egualmente; così l'incurvamento di Sachs varia considerevolmente d'intensità, e manca talora totalmente. È questo il solo caso che noi conosciamo di una trasmissione ereditaria di movimenti, sebbene in grado leggero, divenuti superflui in seguito a modificazioni che la specie ha subito.

Fig. 60.



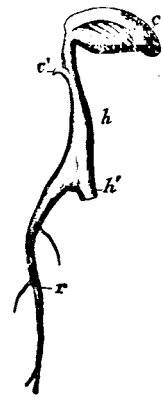
Citrus aurantium: due giovani semi: *c*, è il cotiledone maggiore; *c'* il cotiledone minore; *h*, ipocotilo ingrossato; *r*, radichetta; in A, l'epicotilo è ancora arcuato, si è raddrizzato in B.

Cotiledoni rudimentali. — Possiamo collocare qui alcune poche osservazioni sopra questo soggetto. Si sa che alcune piante dicotiledoni non mostrano che un solo cotiledone; per es., certe specie di *Ranunculus, Corydalis, Chærophyllum;* ora procureremo di dimostrare che la mancanza di uno dei cotiledoni, o di questi due organi, è probabilmente dovuta al fatto che una quantità di materia nutritiva è stata accumulata in qualche altra parte della pianta, come nell'ipocotilo, o nell'uno dei due cotiledoni, o in una delle radici secondarie. L'arancio (*Citrus aurantium*) ha i suoi cotiledoni ipogei, e l'uno di essi è più grande dell'altro, come si può vederlo in A (fig. 60). In B, l'ineguaglianza è un po' maggiore, ed il tronco si è spinto fra i punti d'inserzione dei due picciuoli, in modo ch'essi non sono più opposti; in un altro caso, questa separazione andava fino a 1/5 di pollice. Il minore dei cotiledoni di una pianticella era assai sottile, e non aveva la metà della lunghezza del maggiore; esso diventava dunque nettamente rudimentale (1). In tutte queste piantine, l'ipocotilo era allargato e gonfiato.

(1) Nella *Pachira aquatica*, come lo ha descritto il signor R. I. Lynch (*Journal Linn Soc. Bot.*, vol. XVII, 1878, p. 147), uno dei cotiledoni ipogei è di grandezza considerevole; l'altro assai piccolo

Nell'*Abronia umbellata* uno dei cotiledoni è completamente rudimentale, come si può vederlo in C' (fig. 61). In questo esemplare, esso consiste in una piccola appendice verde, di 1/84 di pollice di lunghezza, sprovveduto di picciuolo, e coperto di glandule simili a quelle del cotiledone pienamente sviluppato (*c*). Esso era in principio opposto a quest'ultimo; ma siccome il picciuolo di questo guadagnava in lunghezza, e cresceva nella stessa direzione come l'ipocotilo, il rudimento sembrava, nelle pianticelle più vecchie, essere posto in qualche modo per un certo tratto in basso sull'ipocotilo. Nell'*Abronia arenaria* vi è un rudimento simile che in un esemplare non aveva che 1/100 di pollice, ed in un altro 1/60 di pollice di lunghezza; esso sembrava infine occupare il mezzo dell'altezza dell'ipocotilo. In queste due specie, l'ipocotilo è sì allargato, soprattutto ad un'età poco avanzata, che si può quasi chiamarlo un rizoma. L'estremità inferiore forma uno sperone od una protuberanza, di cui descriveremo più avanti gli usi.

Fig. 61.



Abronia umbellata: seme ingrandito due volte: *c*, cotiledone; *c'* cotiledone rudimentale; *h*, ipocotilo ingrossato avente uno sperone od un prolungamento (*h'*) all'estremità inferiore; *r* radichetta.

Nel *Cyclamen persicum* l'ipocotilo, chiuso ancora negli involucri seminali, si ingrandisce in un tubercolo regolare (1) ed in principio si sviluppa un solo cotiledone (vedi sopra la fig. 57). Nel *Ranunculus ficaria* non vi sono mai due cotiledoni sviluppati, e qui è una delle radici secondarie che si sviluppa assai per tempo in una specie di tubero (2). Inoltre certe specie di *Chærophyllum* e di *Corydalis* non mostrano che un solo cotiledone (3); nel primo di questi generi, secondo Irmisch, è l'ipocotilo, e nell'ultimo la radichetta, che dà nascita ad un tubero.

Nei diversi casi che vennero citati, l'uno dei cotiledoni si arrestò nel suo sviluppo, o venne ridotto nella grandezza, o divenne rudimentale, od aborti affatto; ma in altri casi, i due cotiledoni non sono rappresentati che da semplici rudimenti. Nella *Opuntia basilaris* ciò non accade, poichè i due cotiledoni sono grandi e grossi e l'ipocotilo non presenta in principio alcun indizio di accrescimento; ma più tardi, allorchè i cotiledoni si sono piegati e distaccati, questo s'ingrossa e per la sua

cade ben presto: la coppia non resta sempre opposta. In un'altra pianta acquatica molto differente, *Trapa natans*, l'uno dei cotiledoni, riempiuto di materia farinosa, è molto maggiore dell'altro, che è appena visibile, come lo ha constatato Aug. de Candolle (*Physiologie végétale*, tom II, p. 834, 1832).

(1) Dott. H. Gressner, *Bot. Zeitung.*, 1874, p. 824.

(2) Irmisch, *Beiträge zur Morphologie der Pflanzen*, 1854, p. 11, 12; *Bot. Zeitung*, 1874, p. 805.

(3) Delpino, *Rivista Botanica*, 1877, pag. 21. È evidente, secondo quanto riferisce Vaucher (*Hist. Phys. des Plantes d'Europe*, t. 1, p. 149, 1841) sulla germinazione dei semi di diverse specie di Corydalis, che il bulbo o tubero comincia a formarsi in un'età assai precoce.

forma appuntita come ancora per la sua epidermide ispessita, liscia, colorata di bruno, trovandosi sotterrata ad una certa profondità, somiglia ad una radice. D'altra parte, in molte altre Cactacee, l'ipocotilo è in principio assai ingrossato, ed i due cotiledoni rimangono quasi, o del tutto, rudimentali. Così nel *Cereus Landbeckii*, due piccole protuberanze triangolari, rappresentanti i cotiledoni, sono più strette che l'ipocotilo, che ha la forma di una pera la cui sommità è rivolta verso il basso. Nel *Rhipsalis cassytha* i cotiledoni sono rappresentati da semplici punte sull'ipocotilo ingrossato. Nell'*Echinocactus viridescens* l'ipocotilo è globuloso e provveduto di due piccole prominenze alla sua sommità. Nel *Pilocereus Houlletii* l'ipocotilo, assai ingrossato alla parte superiore, è bifido alla sommità; ed ogni parte della divisione rappresenta evidentemente un cotiledone. La *Stapelia sarpedon*, un membro della grande e multiforme famiglia delle Asclepiadee, è carnosa come un Cactus; ed anche qui la parte superiore dell'ipocotilo è ingrossata e porta due cotiledoni assai piccoli, che misurati sulla loro faccia interna, non avevano che 0,15 pollici di lunghezza, e non erano eguali, in larghezza, al quarto del diametro dell'ipocotilo nella sua parte più stretta. Questi piccoli cotiledoni non sono probabilmente affatto inutili, giacchè, quando l'ipocotilo esce da terra in forma di arco, essi sono chiusi e compressi l'uno contro l'altro, e proteggono così la plumula; e si aprono in seguito.

Dai differenti esempi sopra citati e che si riferiscono a piante molto distinte, possiamo inferire che vi è una intima connessione fra la riduzione della grandezza di uno dei cotiledoni o di questi due organi, e la formazione, per ispessimento dell'ipocotilo o della radichetta, di un tubero o bulbo. Ma (ed è questa una questione che si può mettere innanzi) sono i cotiledoni che in principio tendono ad abortire, o forse è il bulbo che primo incomincia a formarsi? Tutte le piante dicotiledoni producendo naturalmente due cotiledoni, mentre, nelle differenti piante, la grossezza dell'ipocotilo e della radichetta è soggetta a numerose variazioni, sembra probabile che questi ultimi organi si sieno ispessiti per una causa qualunque — in rapporto evidente, in molti casi, con la natura carnosa della pianta adulta — in modo da contenere una quantità di materie nutritive sufficiente per la pianticella e che, da quel momento, l'uno dei cotiledoni o tutti due, essendo superflui, abbiano perduto nella loro statura. Non è cosa sorprendente che qualche volta si sia trovato un solo cotiledone così modificato, poichè, in certe piante, nel cavolo per es., sono fino da principio di grandezza ineguale, e ciò probabilmente in causa del modo con cui sono disposti nel seme. Da ciò non deriva tuttavia che tutte le volte che si forma in epoca precoce un bulbo, l'uno dei cotiledoni od ambedue divengano necessariamente inutili e per conseguenza più o meno rudimentali. Infine, questi diversi casi ci danno una bella conferma del principio di compensazione dell'accrescimento e noi vediamo, come disse Goethe, che « la natura, affine di poter spendere da una parte, è costretta di economizzare dall'altra ».

Circumnutazione ed altri movimenti degli ipocotili e degli epicotili quando sono ancora incurvati e nascosti sotto terra e mentre cercano di penetrare alla superficie del suolo. — A seconda della posizione nella quale un grano è stato seminato, l'ipocotilo arcuato o l'epicotilo comincia ad uscire in un piano sia orizzontale, sia più o meno inclinato, sia verticale; tranne il caso che sia già rivolto verticalmente verso l'alto, le due branche dell'arco subiscono, dai primi momenti, l'influenza dell'apogeotropismo, in conseguenza del quale tutti due si curvano verso l'alto, fino a che l'asse diviene verticale. Durante tutta questa evoluzione, ed anche prima che l'arco sia uscito da terra, esso procura continuamente di circumnutare in una certa estensione, nella stessa guisa come se a caso si trova posto verticalmente fin da principio, casi che noi abbiamo osservati e più o meno estesamente descritti nel primo capitolo. Allorchè l'arco si è elevato ad una certa altezza, la parte basilare cessa di circumnutare, mentre la parte superiore continua in questo movimento.

Che un ipocotilo od un epicotilo arcuato, avendo le due branche fissate nella terra, possa essere capace di circumnutare, ci pareva cosa inesplicabile, fino a che ci furono note le osservazioni del professore Wiesner. Questo scienziato ha mostrato (1), in certe pianticelle, le cui estremità erano rivolte in basso (o che erano nutanti), che mentre la faccia posteriore della parte superiore o pendente è dotata di un accrescimento rapido, la faccia anteriore ed opposta della parte basilare del medesimo internodio cresce pure rapidamente; queste due parti sono separate da una zona neutra, dove l'accrescimento conserva il medesimo grado sulle due faccie. Vi può perfino esistere, nel medesimo internodio, più di una zona neutra, e le faccie opposte delle parti situate al disopra od al disotto di queste zone hanno un più forte accrescimento. Questo modo particolare di crescere è chiamato da Wiesner « nutazione ondulatoria ». La circumnutazione dipende da ciò che una faccia di un organo cresce rapidamente (questo accrescimento è con ogni probabilità preceduto da un aumento di turgescenza), ed un'altra faccia, generalmente opposta, cresce pure con grande rapidità. Se noi consideriamo ora un arco, avente la forma seguente ∩, e se supponiamo che una faccia intiera (la faccia convessa delle due branche per es.) si accresca in lunghezza, essa non indurrà gli archi a curvarsi verso una parte qualsiasi; ma se la faccia esterna della branca sinistra aumenta di lunghezza, l'arco sarà portato verso la parte destra, e questo movimento sarà facilitato dall'accrescimento in lunghezza della faccia interna della branca destra. Se, poscia, quest'ordine di cose è invertito, l'arco sarà allora portato dalla parte opposta (sinistra), e così di seguito, in modo che vi sarà circumnutazione. Siccome un ipocotilo arcuato, le cui due branche sono fissate in terra, circumnuta certamente

(1) *Die undulirende Nutation der Internodien. Akad. der Wissensch* (Vienna) 17 gennaio 1878; pubblicazione separata, vedi p. 32.

e non è composto che di un solo internodio, noi possiamo concludere ch'esso cresca secondo il modo descritto da Wiesner. Si può aggiungere che il vertice dell'arco non cresce, o non cresce che assai leggermente, poich'esso non guadagna molto in larghezza, mentre che l'arco stesso aumenta molto in altezza.

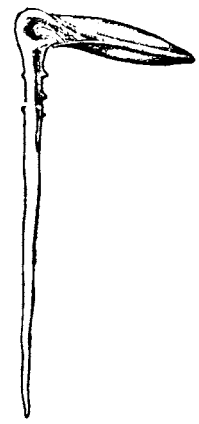
I movimenti di circumnutazione degli ipocotili ed epicotili arcuati aiuteranno quindi questi organi a rompere un passaggio traverso la terra, quando questa è umida e mobile; la loro uscita dipende tuttavia senza dubbio principalmente dalla forza esercitata dal loro accrescimento longitudinale. Benchè l'arco non circumnuti che sopra una debole estensione, e probabilmente con poca forza, esso può tuttavia rimuovere la terra presso alla superficie, sebben sia incapace di farlo ad una certa profondità. Un vaso contenente dei semi di *Solanum palinacanthum*, il cui lungo ipocotilo arcuato era uscito dal suolo, e non cresceva che lentamente, fu coperto di sabbia argillosa assai fina, mantenuta umida, che in principio circondava strettamente le basi degli archi; ma si formò ben presto intorno a ciascuno di essi una piccola fessura, la quale non poteva attribuirsi che all'avere ciascuno di essi spinta innanzi a sè la sabbia da tutte le parti, poichè nessuna fessura circondava gli spilli ed i bastoncini infissi nella sabbia medesima. Noi del resto abbiamo già constatato che i cotiledoni di *Phalaris* e di *Avena*, le plumule di *Asparagus*, e gl'ipocotili di *Brassica*, potevano pure spostare la medesima sabbia, sia per semplice circumnutazione, sia inclinandosi verso una luce laterale.

Mentre un ipocotilo od un epicotilo arcuato rimane nascosto sotterra, le due branche non possono separarsi l'una dall'altra, tranne che in limitata misura dipendente dal cedere del suolo; ma appena l'arco si eleva al disopra della terra, oppure se in epoca precoce, la pressione del suolo circostante viene soppressa artificialmente, l'arco comincia a raddrizzarsi. Questo fatto è dovuto, senza alcun dubbio, all'accrescimento lungo la parte interna *tutta intiera* delle due branche dell'arco, accrescimento che è rallentato od impedito quando le due branche sono fortemente premute l'una contro l'altra. Se si allontana la terra da un arco, quando le due branche sono legate assieme alla loro base, l'accrescimento sulla faccia inferiore del vertice rende, dopo un certo tempo, quest'ultima superficie più piatta e più larga di quello che lo sarebbe naturalmente. Il modo di raddrizzamento è una forma modificata della circumnutazione, poichè le linee tracciate durante questo processo (come nell'ipocotilo di *Brassica* e gli epicotili di *Vecia* e di *Corylus*) sono spesso conformate a zig-zag, e qualche volta a laccio. Dopo che gl'ipocotili o gli epicotili sono apparsi sopra terra, divengono rapidamente affatto dritti. Nessuna traccia si conserva del loro incurvamento primitivo, eccettuato per l'*Allium cepa*, di cui il cotiledone raramente si raddrizza del tutto, in causa della protuberanza sviluppata sul vertice dell'arco.

L'aumentata crescenza sulla faccia interna dell'arco, che ne determina il raddrizzamento, comincia sulla branca basilare cioè a dire su quella che è unita

alla radichetta; poichè, come è stato più volte osservato, questa branca viene da prima curvata in senso opposto all'altra branca. Questo movimento aiuta l'estremità dell'ipocotilo o dei cotiledoni a liberarsi dagli involucri seminali e dalla terra. Ma accade spesso che i cotiledoni, quando emergono, sono ancora strettamente chiusi sotto agl'involucri seminali, che servono evidentemente alla loro protezione. Questi involucri sono, più tardi, squarciati e cadono per l'accrescimento dei cotiledoni strettamente riuniti, e non sotto l'influenza di un movimento tendente a separare l'uno dall'altro questi due organi.

Fig 62.



Cucurbita ovifera: seme in via di germinazione, che mostra lo sperone o cavicchio che fa sporgenza sopra una parte della sommità della radichetta e che tiene depressa l'estremità inferiore degli involucri seminali, che sono stati in parte rotti in causa dell'accrescimento dell'ipocotilo arcuato.

In qualche caso peraltro, soprattutto presso le Cucurbitacee, gl'involucri seminali sono divaricati da un apparecchio singolare, che ha descritto il sig. Flahault (1). Uno sperone o cavicchio si sviluppa sopra una faccia della sommità della radichetta o della base dell'ipocotilo, ed esso tiene depressa la metà inferiore degl'involucri seminali (la radichetta essendo fissata in terra), mentre l'accrescimento continuato dall'ipocotilo arcuato spinge in alto la metà superiore e rompe ad una delle estremità in due porzioni gl'involucri seminali; i cotiledoni si liberano poscia facilmente.

La figura 62 renderà intelligibile questa descrizione. Quarant'un semi di *Cucurbita ovifera* furono collocati sopra della torba friabile, e coperti con uno strato grosso un pollice circa di questa materia, senza troppo comprimerli, in modo che i cotiledoni, liberandosi, erano sottomessi ad uno sfregamento assai debole; malgrado ciò, quaranta di essi uscirono nudi, gl'involucri seminali essendo rimasti nella torba. Questo fatto era certamente dovuto all'azione dello sperone, poichè quando s'impediva ad esso di agire, i cotiledoni, come avremo presto occasione di vedere, uscivano da terra ancora chiusi entro i loro involucri. Questi ultimi, tuttavia, erano reietti in capo a due o tre giorni, in causa dell'accrescimento dei cotiledoni. Finchè ciò avvenga, i cotiledoni sono privati della luce e non possono decomporre l'acido carbonico; nessuno tuttavia avrebbe probabilmente ammesso che il vantaggio procurato dalla caduta un po' più pronta degli involucri seminali potesse essere una causa sufficiente per lo sviluppo dello sperone. Secondo Flahault, delle pianticelle alle quali si aveva impedito di sbarazzarsi dei loro involucri seminali, allorchè erano ancora sotto terra, avevano uno sviluppo minore di quelle che erano uscite coi loro cotiledoni liberi e pronti ad entrare in funzione.

(1) *Bull. Soc. Bot. de France.* tom. XXIV, 1877. p 201.

Lo sperone si sviluppa con una rapidità straordinaria; quantunque esso fosse appena percettibile in due piantine le cui radichette misuravano in lunghezza pollici 0,35, ventiquattr'ore dopo fu trovato bene sviluppato in ambedue. Esso sarebbe formato, secondo Flahault, dall'accrescimento degli strati del parenchima corticale alla base dell'ipocotilo. Se tuttavia noi giudichiamo dagli effetti che produsse una soluzione di permanganato potassico, esso si sviluppa sulla linea esatta di riunione fra l'ipocotilo e la radichetta: infatti, la faccia inferiore piatta, come pure i lati, erano colorati in bruno al pari della radichetta, mentre la faccia superiore, leggermente inclinata, rimaneva senza colorazione come l'ipocotilo. Sopra 33 rampolli così trattati, bisogna però eccettuarne uno, nel quale una gran parte della faccia superiore era colorata in bruno. Dalla faccia inferiore dello sperone escono talora delle radici secondarie, per cui questo partecipa sotto ogni riguardo della natura della radichetta. Lo sperone si sviluppa sempre sulla parte che diviene concava per l'incurvamento dell'ipocotilo, e non sarebbe infatti di nessuna utilità se si sviluppasse sulla parte opposta. Si forma inoltre sempre in modo che la sua faccia inferiore appiattita, che, come l'abbiamo stabilito, forma una parte della radichetta, sia ad angolo retto con quest'ultima, ed in un piano orizzontale. Tale fatto si faceva evidente allorchè seminavamo alcuni di questi grani sottili e piatti nella posizione indicata dalla figura 62, con questa differenza ch'essi non giacevano sopra le loro faccie larghe e piatte, ma con uno dei loro bordi diretto in basso. Nove grani furono così seminati, e lo sperone si sviluppò, relativamente alla radichetta, nella stessa posizione che lo indica la figura; per conseguenza non riposava sull'estremità appiattita della metà inferiore dell'involucro seminale, ma si trovava inserito come un cuneo fra i due apici. Siccome l'ipocotilo arcuato si sviluppava verso l'alto, esso tendeva a trascinare con sè il seme intero, e lo sperone fregava necessariamente contro le due estremità, ma non premeva in basso nè l'una nè l'altra. Ne risultò che i cotiledoni di cinque dei nove semi così posti, furono portati alla superficie ancora chiusi negli involucri seminali. Quattro semi vennero collocati in una posizione tale che l'estremità, onde esce la radichetta, era diretta verticalmente in basso, e siccome lo sperone si sviluppò nella stessa posizione, la sua punta soltanto venne in contatto coll'estremità di una delle faccie, e sfregò contro di essa; i cotiledoni di questi quattro semi uscirono da terra ancora chiusi negli involucri seminali. Questi differenti casi ci mostrano, come l'azione dello sperone sia legata alla posizione che devono sempre occupare questi semi larghi, sottili e piatti, quando sieno seminati naturalmente. Se veniva levata l'estremità della metà inferiore degli involucri seminali, Flahault ha trovato (come lo trovammo pur noi), che lo sperone non poteva agire, poichè non aveva su che esercitare una pressione, e i cotiledoni venivano alla superficie senza che gl'involucri seminali fossero caduti. Finalmente la natura stessa ci indica l'uso dello sperone: infatti, nel solo genere delle Cucurbitacee attualmente note, nel quale i cotiledoni sono ipogei

e non perdono gl'involucri seminali, cioè a dire nel genere *Megarrhiza*, non vi è alcuna traccia di sperone. Quest'ultimo organo sembra esistere nella maggior parte degli altri generi della famiglia, se giudichiamo da quanto dice il Flahault. Noi li trovammo ben sviluppati, ed agivano assai bene, nella *Trichosanthes anguina*, dove non avevamo punto speranza di riscontrarli, poichè i cotiledoni sono piuttosto grossi e carnosi. Non esistono molti esempi di una struttura meglio adatta di questa ad uno scopo speciale.

Nella *Mimosa pudica*, la radichetta emerge da una piccola apertura posta sul bordo acuto del seme; ed alla sua sommità, al punto nel quale la radice è unita all'ipocotilo, si sviluppa assai per tempo una cresta trasversale, che agevola evidentemente la rottura degl'involucri seminali resistenti, ma che non è di alcuna utilità per farli cadere, poichè ciò è operato dal gonfiarsi dei cotiledoni non appena sono usciti da terra. Tuttavia, la cresta o lo sperone non agisce completamente nella stessa maniera come nella Cucurbita. La superficie inferiore ed i suoi orli si sono colorati in bruno in presenza del permanganato potassico, mentre che questo reattivo restava senza azione sulla faccia superiore. È un fatto rimarchevole che quando la cresta ha compiuto le sue funzioni ed è uscita dagli involucri seminali, si sviluppa in un collare tutt'attorno alla sommità della radichetta (1).

Nell'*Abronia umbellata* alla base dell'ipocotilo ispessito e nel punto dove quest'organo si unisce alla radichetta, si trova una sporgenza o sperone variabile nella sua forma; il suo schizzo è un po' troppo angoloso nella nostra figura 61. La radichetta esce in principio da un piccolo orifizio situato ad una estremità del frutto resistente, coriaceo ed alato. In questo periodo, la parte superiore della radichetta occupa nel frutto una posizione parallela all'ipocotilo, ed il cotiledone unico è ripiegato in dietro su se stesso, parallelamente a quest'ultimo. Il rigonfiamento di queste tre parti, e soprattutto lo sviluppo rapido dello sperone fra l'ipocotilo e la radichetta, al punto dove questi organi si ripiegano, determinano la rottura del frutto alla sua parte superiore, e l'uscita dell'ipocotilo arcuato; tale sembra essere la funzione dello sperone. Essendo stato levato un seme da un frutto, e messo a germogliare nell'aria umida, si sviluppò un disco appiattito e sottile intorno alla base dell'ipocotilo ed acquistò delle proporzioni straordinarie, come il collare già descritto della Mimosa, ma un po' più largo. Flahault dice che nel genere *Mirabilis*, che fa parte della stessa famiglia dell'*Abronia*, si forma uno sperone o collare attorno alla base dell'ipocotilo, ma più sviluppato da una parte che dall'altra, e che quest'organo libera i cotiledoni dai loro involucri seminali. La nostra osservazione non è stata portata che sopra dei vecchi semi che si ruppero per l'assorbimento dell'umidità, senza

(1) La nostra attenzione fu richiamata sopra questo punto da una breve nota di Nobbe, inserita nel suo *Handbuch der Samenkunde*, 1876, pag. 215, dove dà pure la figura di una piantina di *Martynia* provveduta di uno sperone o cresta, alla congiunzione della radichetta e dell'epicotilo. Il seme possiede un involucro assai forte e resistente, ed ha bisogno di aiuto per rompersi e liberare i cotiledoni.

alcun intervento dello sperone e prima dell'uscita della radichetta; ma questa esperienza non prova che i frutti freschi e resistenti si comportino nella stessa maniera.

Terminando questa parte del presente capitolo, può essere utile di riassumere, sotto forma comparativa, i movimenti proprii agli ipocotili ed agli epicotili delle pianticelle, allorchè escono da terra, ed immediatamente dopo la loro uscita.

Supponiamo che un uomo sia rovesciato sulle mani e sulle ginocchia, e nello stesso tempo sopra un fianco, da un carico di fieno che gli cada addosso. Egli si forzerà dapprima di raddrizzare il suo corpo curvato, e nello stesso tempo si agiterà in tutte le direzioni per liberarsi dalla pressione circostante; questo paragone può rappresentare gli effetti combinati dell'apogeotropismo e della circumnutazione, allorchè un seme è sotterrato in modo che l'epicotilo o l'ipocotilo arcuato esca da principio in un piano orizzontale od inclinato. L'uomo, agitandosi di continuo, solleverà più alto che potrà il suo dorso curvato, ciò che può rappresentare l'accrescimento e la circumnutazione continua dell'ipocotilo o dell'epicotilo arcuato, prima che quest'organo abbia raggiunta la superficie del suolo. Appena quest'uomo si troverà completamente libero, solleverà la parte superiore della sua persona, rimanendo sempre in ginocchio e continuando ad agitarsi; quest'ultima azione può rappresentare contemporaneamente l'inclinazione verso il basso della branca basilare dell'arco che, nella maggior parte dei casi, aiuta l'uscita dei cotiledoni dagli involucri seminali interrati e rotti, ed il raddrizzamento susseguente dell'ipocotilo o dell'epicotilo tutto intiero, mentre la circumnutazione continua ancora a prodursi.

Circumnutazione degli ipocotili e degli epicotili dopo il loro raddrizzamento. — Gli ipocotili, gli epicotili ed i primi germogli di molte pianticelle da noi osservate, dopo il raddrizzamento, continuano a circumnutare. Le diverse figure ch'essi descrivono, spesso durante due giorni consecutivi, sono state indicate nelle tavole del capitolo precedente. Il lettore si ricorderà che i punti erano uniti da linee rette e che ne risultavano delle figure angolose. Ma se le osservazioni fossero state fatte a degli intervalli di qualche minuto, le figure sarebbero state più o meno curvilinee, e si sarebbero formate delle ellissi o delle ovali, o forse talora dei circoli. Le direzioni degli assi maggiori delle ellissi descritte nella stessa giornata, od in giornate consecutive, cambiano generalmente in modo completo, fino ad essere perpendicolari l'una sull'altra. Il numero delle ellissi o dei circoli irregolari descritti in un tempo dato differisce molto a seconda delle specie. Nella *Brassica oleracea*, *Cerinthe major* e *Cucurbita ovifera*, circa quattro figure simili erano completate in dodici ore; mentre che nel *Solanum palinacanthum* ed *Opuntia basilaris* se ne formava appena più di una. Le figure differiscono pure notevolmente nella grandezza; così esse erano assai piccole e fino ad un certo punto dubbie nella Stapelia, grandi nella Brassica, ecc. Le ellissi descritte dal *Lathyrus nissolia* e *Brassica* erano strette, mentre quelle di quercia erano larghe. Queste figure sono state spesso complicate da piccoli nodi o da linee a zig-zag.

Siccome la maggior parte delle pianticelle, prima dello sviluppo delle vere foglie, sono di statura bassa e talora bassissima, la quantità estrema del movimento da destra a sinistra, nei loro fusti in circumnutazione, si è mostrata assai poco manifesta; quella dell'ipocotilo nella *Githago segethum* era di circa 0,2 pollici, e quella di *Cucurbita ovifera* di 0,28 pollici circa. Un germoglio molto giovane di *Lathyrus nissolia* aveva un movimento approssimativo di 0,14 pollici, quello di una quercia americana di 0,2, quello dell'avellana comune di 0,04 ed un germoglio abbastanza forte di asparago di 0,11 pollici.

La quantità estrema del movimento nel cotiledone a forma di guaina di *Phalaris canariensis* era di 0,3 pollici, ma questo movimento non era molto rapido. In un caso l'estremità attraversò 5 divisioni del micrometro, ossia 1/100 di pollice, in 22 minuti e 5 secondi. Una piantina di *Nolana prostrata* percorse la medesima distanza in 10 m. 38 sec. Delle pianticelle di cavolo circumnutarono assai più rapidamente, poichè l'estremità di un cotiledone traversò 1/100 di pollice sul micrometro in 3 m. 20 sec.; questo rapido movimento, accompagnato da incessanti oscillazioni, a vederlo sotto al microscopio, era sorprendente.

La mancanza di luce, almeno per un giorno, non turba affatto la circumnutazione degli ipocotili, epicotili o giovani germogli nelle diverse pianticelle dicotiledoni che abbiamo osservate, e nemmeno quella dei giovani germogli di certe monocotiledoni. La circumnutazione era, in realtà, più evidente all'oscuro che in piena luce, poichè se questa era in qualche modo laterale, il fusto si volgeva verso di essa descrivendo delle linee a zig-zag più o meno pronunciate.

Finalmente, gli ipocotili di molte piantine sono attirati nell'inverno verso la terra, od anche entro ad essa, in modo che scompariscono. Tale fenomeno rimarchevole, che serve evidentemente alla loro protezione, è stato diffusamente descritto da De Vries (1). Questo autore ha mostrato che è prodotto dalla contrazione delle cellule parenchimatiche della radice. Ma l'ipocotilo stesso in certi casi si contrae molto, di guisa che la sua superficie, dapprima liscia, è coperta di pieghe a zig-zag, come l'abbiamo osservato nella *Githago segetum*. Non abbiamo osservato in quale proporzione la contrazione di questa parte e quella della radichetta agiscano per attirare verso la terra e sotterrarvi l'ipocotilo di *Opuntia basilaris*.

Circumnutazione dei cotiledoni. — In tutte le piantine delle dicotiledoni descritte nel capitolo precedente, i cotiledoni erano in continuo movimento, soprattutto nel piano verticale, ed in generale questo movimento si esercitava una volta verso l'alto ed una volta verso il basso nello spazio di 24 ore. Ma una tale semplicità di movimento incontrava molte eccezioni: così, i cotiledoni di *Ipomœa cœrulea* si muovevano 13 volte, sia verso l'alto, sia verso il basso, in 16 ore e 18

(1) *Bot. Zeitung*, 1879, p. 649. Vedasi pure WINKLER in *Verhandl. des Bot. Vereins der Pr. Brandenburg*, Jahrg. XVI, p. 16, e HABERLANDT, *Schutzeinrichtungen der Keimpflanze*, 1877, p. 52.

minuti; quelli di *Oxalis rosea*, nello stesso modo, 7 volte in 24 ore, e quelli di *Cassia tora* descrivevano in 9 ore cinque ellissi irregolari. I cotiledoni di qualche esemplare di *Mimosa pudica* e di *Lotus jacobæus* non si muovevano in 24 ore che una volta in alto ed in basso, mentre quelli di altri compivano nello stesso tempo una piccola oscillazione supplementare. Così in differenti specie ed in differenti individui della medesima specie vi erano numerose gradazioni, da un semplice movimento diurno fino a delle oscillazioni così complesse come sono quelle d'*Ipomœa* e di *Cassia*. I cotiledoni opposti della medesima piantina si muovono in una certa misura indipendentemente l'uno dall'altro. Questo fatto era visibilissimo nell'*Oxalis sensitiva*, pianta nella quale si poteva vedere un cotiledone elevarsi, nella giornata, fino alla stazione verticale, mentre l'altro opposto si abbassava.

Quantunque i movimenti dei cotiledoni si compiano in generale nel medesimo piano verticale, la loro corsa di ascesa e di discesa non coincide mai esattamente, in guisa che si formano delle ellissi più o meno strette, tanto che si può dire senza esitanza che i cotiledoni hanno circumnutato. Questo fatto non può essere attribuito ad un aumento nella lunghezza dei cotiledoni dovuta alla loro crescita, poichè tale aumento non produrrebbe per se stesso spostamento laterale. È evidente che in certi casi, come nei cotiledoni di cavolo, avvengono dei movimenti laterali; poichè questi organi, oltre al loro movimento verticale, cambiavano di direzione, da destra a sinistra, dodici volte in 14 ore e 15 minuti. Nel *Solanum lycopersicum*, i cotiledoni, dopo essere discesi al mattino, descrivevano delle linee a zig-zag da diritta a sinistra fra mezzodì e le 4 di sera, poi cominciavano ad elevarsi.

I cotiledoni di *Lupinus luteus* sono così grossi (0,08 poll. circa) e così carnosi (1), che sembravano poco atti a muoversi; e furono perciò osservati con interesse speciale. Essi erano certamente dotati di un movimento verticale pronunciato, ma siccome la linea descritta era a zig-zag, ne risultò che erano pure dotati di movimento laterale. I nove cotiledoni di una pianticella di *Pinus pinaster* circumnutavano manifestamente, poichè le figure descritte si avvicinavano più a circoli irregolari che ad ovali od ellissi non regolari. I cotiledoni a modo di guaina delle Graminacee circumnutavano pure, cioè a dire si muovevano in tutti i sensi, precisamente come gl'ipocotili o gli epicotili delle dicotiledoni. Infine circumnutavano anche le fronde assai giovani di una felce e di una selaginella.

Nella grande maggioranza di casi che sono stati accuratamente osservati, i cotiledoni discendono un poco nella mattina e si elevano alquanto dopo mezzodì o la sera. Si trovano così un poco più fortemente inclinati durante la notte che a

(1) Questi cotiledoni, quantunque di un verde cupo, ricordano in una certa misura lo stato ipogeo. Vedi l'interessante discussione di HABERLANDT (*Die Schutzeinrichtungen, etc.*, 1877, p. 95) sulle gradazioni che, nelle Leguminose, esistono tra i cotiledoni subaerei e sotterranei.

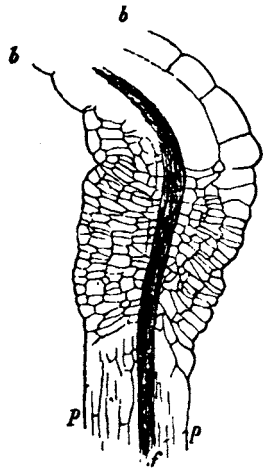
metà della giornata, momento in cui essi sono distesi quasi orizzontalmente. Il movimento di circumnutazione è perciò, almeno in parte, periodico, e senza alcun dubbio, in rapporto, come vedremo più tardi, colle alternazioni quotidiane della luce e dell'oscurità. I cotiledoni di diverse piante si raddrizzano talmente durante la notte, che si trovano quasi affatto verticali; in quest'ultimo caso vengono in intimo contatto fra di loro. D'altra parte, i cotiledoni di alcune poche piante cadono affatto verticalmente, o quasi, durante la notte; in quest'ultimo caso essi abbracciano la parte superiore dell'ipocotilo. Nel medesimo genere *Oxalis*, i cotiledoni di certe specie si raddrizzano verticalmente, e quelli di altre specie cadono verticalmente durante la notte. In tutti i casi simili si può dire che i cotiledoni dormono, poichè si comportano nella stessa maniera delle foglie di molte piante che vanno soggette al sonno. È questo un movimento adatto ad uno scopo speciale; lo esamineremo in un prossimo capitolo consacrato a questo soggetto.

Per farci un concetto generale intorno al numero relativo dei casi nei quali i cotiledoni delle dicotiledoni (ben inteso eccettuati gl'ipogei) cambiano di posizione in modo apprezzabile durante la notte, osservammo alla sfuggita una o più specie di diversi generi, oltre quelli descritti nel capitolo precedente. In tutto osservammo 153 generi, ripartiti nel maggior numero di famiglie che potemmo procurarci. I cotiledoni vennero esaminati a metà della giornata, e poi nuovamente durante la notte, e registrammo come soggetti al sonno quelli che erano o verticali od inclinati di 60° almeno sopra o sotto all'orizzonte. Vi furono 26 generi in queste condizioni; in 21 di essi i cotiledoni di alcune specie si elevano, ed in 6 soltanto si abbassano durante la notte, e fra questi ultimi casi alcuni sono alquanto dubbii, per ragioni che esporremo nel capitolo che tratta del sonno dei cotiledoni. Allorchè questi organi, che a mezzodì erano quasi orizzontali, si trovavano di notte inclinati più di 20° e meno di 60° sull'orizzonte, erano classificati come « decisamente elevati »; e di tali generi ne contammo 38. Non incontrammo nessun chiaro esempio di cotiledoni che di notte s'abbassassero di soli pochi gradi, benchè tali esempi esistano senza dubbio. Noi abbiamo citato 64 generi sopra un totale di 153; ne restano 89, i cui cotiledoni non cambiano posizione durante la notte che di un angolo minore di 20°, ossia non in modo facilmente apprezzabile ad occhio nudo e colla memoria; ma non si deve da ciò concludere che questi cotiledoni non sieno stati dotati di alcun movimento, poichè, in molti casi, osservando attentamente, potemmo notare un movimento di ascesa di alcuni gradi. Il numero 89 poteva essere alquanto accresciuto, poichè in certe specie di alcuni pochi generi, ad es. di *Trifolium* e di *Geranium*, che sono compresi fra quelli che dormono, i cotiledoni rimangono durante la notte quasi orizzontali; cotali generi potevano dunque essere aggiunti agli 89. D'altra parte, una specie di *Oxalis* eleva generalmente i suoi cotiledoni, durante la notte, di più di 20° e di meno di 60° sull'orizzonte, in guisa che questo genere avrebbe potuto essere inscritto in due categorie

diverse. Tuttavia, siccome non abbiamo spesso osservato parecchie specie di un medesimo genere, abbiamo evitato queste doppie inscrizioni.

In uno dei capitoli seguenti mostreremo che in molte piante non soggette al sonno, le foglie si elevano di alcuni gradi nella sera e nella prima parte della notte, e sarà utile di riservare a quel capitolo le nostre considerazioni sulla periodicità dei movimenti dei cotiledoni.

Fig. 63.



Oxalis rosea: Sezione longitudinale di un pulvino alla sommità del picciuolo di un cotiledone, disegnato alla camera chiara ed amplificato 75 volte: *pp*, picciuolo; *f*, fascio fibro-vascolare; *bb*, cominciamento del lembo cotiledonare.

Dei pulvini od articolazioni dei cotiledoni. — Su diverse delle pianticelle che abbiamo descritte in questo capitolo e nel precedente, la sommità del picciuolo si sviluppa in un *cuscinetto*, *pulvino* od *articolazione* (sono questi i diversi nomi che ha ricevuto quest'organo) simile a quello di cui sono munite molte foglie. E consiste in una massa di piccole cellule, di colore ordinariamente pallido per la mancanza di clorofilla; i contorni sono più o meno convessi, come l'indica la fig. 63. Nell'*Oxalis sensitiva*, i due terzi del picciuolo, e nella *Mimosa pudica*, probabilmente l'intero breve picciuolo delle foglioline, si cambiano in un pulvino. Nelle foglie articolate (cioè a dire provvedute di un cuscinetto) il movimento periodico dipende, secondo Pfeffer (1), dalla turgescenza delle cellule del pulvino che è alternativamente più forte da una parte che dall'altra; mentre i movimenti simili delle foglie non provvedute di pulvino dipendono dal loro accrescimento alternativamente più rapido da una parte che dall'altra (2). Per tutto il tempo che una foglia articolata resta giovane e continua a crescere, il suo movimento dipende dalla combinazione (3) di queste due cause, e se si ammettono le viste adottate da diversi botanici, cioè che l'accrescimento è sempre preceduto da una turgescenza delle cellule crescenti, la differenza fra i movimenti determinati coll'aiuto di un cuscinetto e quelli prodotti senza quest'organo, sarebbe ridotta a ciò che nel primo caso la turgescenza delle cellule non è seguita dall'accrescimento, mentre lo è nel secondo.

Furono tracciati dei punti con l'inchiostro di China sulla nervatura mediana di due cotiledoni articolati di una pianticella abbastanza vecchia di *Oxalis Valdi-*

(1) *Die Periodische Bewegungen der Blattorgane*, 1875.
(2) BATALIN, *Flora*, 1° ottobre 1873.
(3) PFEFFER, l. c., p. 5.

viana; la distanza che li separava venne misurata a diverse riprese col mezzo di un oculare micrometrico per otto giorni e tre quarti, senza che si potesse scorgere la minima traccia di accrescimento. È quindi quasi certo che il cuscinetto stesso non era allora in via di accrescimento. Nondimeno, durante tutto questo tempo, e dieci giorni appresso, questi cotiledoni si raddrizzarono verticalmente ogni notte. In alcune pianticelle ottenute con semi comperati sotto il nome di *Oxalis floribunda*, i cotiledoni continuarono lungo tempo a muoversi di notte verticalmente in basso, e tale movimento pareva risiedere unicamente nel cuscinetto, poichè i picciuoli erano quasi egualmente lunghi nelle pianticelle giovani e nelle più vecchie che avevano di già prodotto delle vere foglie. D'altra parte in alcune specie di cassia era visibile, senza prendere delle misure, che i cotiledoni articolati aumentavano molto di lunghezza per più settimane, dimodochè qui la turgescenza delle cellule del cuscinetto e l'accrescimento del picciuolo si combinavano probabilmente per determinare i movimenti periodici prolungati. Era pure evidente che in parecchie piante i cotiledoni sprovveduti di cuscinetti crescevano rapidamente in lunghezza, ed i loro movimenti periodici erano, senza alcun dubbio, esclusivamente dovuti a questo accrescimento.

In accordo coll'opinione, che i movimenti periodici di tutti i cotiledoni dipendono principalmente dalla turgescenza delle cellule, ch'essa sia seguìta o meno dall'accrescimento, noi possiamo comprendere come non vi esista che una debole differenza nella natura o forma del movimento in queste due categorie di casi. È ciò che si può constatare confrontando i diagrammi che abbiamo dato nel precedente capitolo. Così, i movimenti dei cotiledoni di *Brassica oleracea* e d'*Ipomœa cærulea*, che non sono articolati, sono altrettanto complessi quanto quelli di *Oxalis* e di *Cassia*, provveduti di un cuscinetto. I cotiledoni articolati di certi individui di *Mimosa pudica* e di *Lotus jacobæus* non descrivono che una semplice oscillazione, mentre quelli di altri individui si muovono due volte in alto ed in basso nel corso di 24 ore; avviene qualche volta la stessa cosa nei cotiledoni di *Cucurbita ovifera*, che sono sprovveduti di pulvino. I movimenti dei cotiledoni articolati hanno generalmente una estensione alquanto maggiore di quelli dei cotiledoni sprovveduti di pulvino; tuttavia alcuni di questi ultimi percorrono un angolo di 90°. Esiste peraltro una differenza notevole fra queste due sorta di casi: i movimenti notturni dei cotiledoni inarticolati, per esempio di quelli delle Crucifere, delle Cucurbitacee, di *Githago* e di *Beta*, non durano mai, in modo apprezzabile, più di una settimana; i cotiledoni articolati, al contrario, continuano ad alzarsi nella notte per un tempo più lungo, perfino per oltre un mese, come tra breve vedremo. Ma, senza alcun dubbio, questo tempo dipende molto dalla temperatura alla quale le pianticelle sono esposte, e dalla conseguente celerità del loro sviluppo.

Oxalis Valdiviana. — Alcuni cotiledoni che si erano aperti ampiamente, e si trovavano orizzontali il 6 marzo a mezzodì, erano, durante la notte, verticali e

rivolti verso l'alto; il 13 era formata la prima vera foglia, ed abbracciata durante la notte dai due cotiledoni; il 9 aprile, dopo un intervallo di 35 giorni, erano sviluppate sei foglie, ed i cotiledoni si elevavano nondimeno sempre verticalmente durante la notte. I cotiledoni di un'altra pianticella, che al momento della prima osservazione aveva già prodotto una foglia, si tenevano verticali durante la notte, e continuarono a comportarsi nella stessa maniera ancora per 11 giorni; 16 giorni dopo la prima osservazione erano sviluppate due foglie, ed i cotiledoni erano ancora assai elevati nella notte. Dopo 21 giorni, i cotiledoni erano, di giorno, inclinati sotto all'orizzonte, ma si elevavano, all'entrar della notte, a 45° al disopra; 24 giorni dopo la prima osservazione (cominciata dopo lo sviluppo di una vera foglia) i cotiledoni cessarono alla notte di elevarsi.

Oxalis (*Biophytum*) *sensitiva*. — I cotiledoni di diverse pianticelle si trovavano, 45 giorni dopo il loro primo aprirsi, quasi verticali durante la notte ed abbracciavano strettamente ora una ed ora due delle vere foglie che a quest'epoca erano formate. Queste pianticelle erano tenute nella serra ed il loro sviluppo fu rapido.

Oxalis corniculata. — I cotiledoni non sono verticali di notte, ma si elevano generalmente fino ad un angolo di 45° circa sull'orizzonte. Essi continuarono a comportarsi in questa guisa 23 giorni dopo che avevano incominciato a svolgersi; a quest'epoca si erano formate due vere foglie. Anche dopo 29 giorni, si elevarono ancora moderatamente al disopra della loro posizione diurna orizzontale od anche inclinata verso il basso.

Mimosa pudica. — I cotiledoni si aprirono per la prima volta il 2 novembre, e si tennero verticali durante la notte. Al 15 si formò la prima foglia, ed alla notte i cotiledoni erano verticali. Al 28, si comportarono nella stessa maniera. Al 15 dicembre, cioè a dire dopo 44 giorni, i cotiledoni, alla notte, si elevarono ancora considerevolmente, ma quelli di un'altra pianticella, più vecchia di un giorno soltanto, erano poco elevati.

Mimosa albida. — Una piantina fu osservata per soli 12 giorni; nel corso di questo tempo si era formata una vera foglia; i cotiledoni stavano allora, di notte, verticali.

Trifolium subterraneum. — Una pianticella di 8 giorni aveva i suoi cotiledoni orizzontali alle 10,30 del mattino, e verticali alle 9,15 della sera. Due mesi dopo, quando si erano sviluppate le due prime vere foglie, i cotiledoni possedevano ancora lo stesso movimento. Essi si erano molto ingranditi e fatti ovali; i loro picciuoli misuravano allora 0,8 poll. di lunghezza.

Trifolium strictum. — Dopo 17 giorni, i cotiledoni si elevarono ancora durante la notte; non furono osservati per un tempo maggiore.

Lotus jacobæus. — I cotiledoni di alcune pianticelle provvedute di foglie ben sviluppate si raddrizzavano alla notte fino a raggiungere un angolo di 45° circa, ed anche dopo la formazione di tre o quattro verticilli di foglie, alla notte si elevarono ancora considerevolmente al disopra della loro posizione diurna orizzontale.

Cassia mimosoides. — I cotiledoni di questa specie indiana, 14 giorni dopo il loro primo svolgimento, e dopo lo sviluppo di una foglia, erano orizzontali di giorno e verticali di notte.

Cassia sp.? (un grande albero del Brasile meridionale nato da semi che ci aveva spediti Fr. Müller). — I cotiledoni, 16 giorni dopo la loro prima apparsa, erano molto grandi, e s'erano formate due foglie. Essi stavano orizzontali di giorno e verticali alla notte; ma non li osservammo più lungamente.

Cassia neglecta (specie pure del Brasile). — Una pianticella dopo il primo svolgimento dei suoi cotiledoni misurava da 3 a 4 pollici in altezza, e portava tre foglie ben sviluppate; i cotiledoni, che nella giornata erano quasi orizzontali, si

tenevano verticali alla notte, ed abbracciavano strettamente il giovane fusto. I cotiledoni di un'altra piantina della stessa età, che misurava 5 pollici nell'altezza, ed era provveduta di quattro foglie ben sviluppate, si comportavano, alla notte, esattamente nello stesso modo.

Si sa (1) che non esiste, fra la metà superiore e la metà inferiore dei cuscinetti delle foglie, nessuna differenza di struttura sufficiente per spiegare i loro movimenti verso l'alto o verso il basso. A questo riguardo, i cotiledoni offrono una facilità non comune per confrontare la struttura di queste due metà; infatti, i cotiledoni di *Oxalis Valdiviana* si elevano verticalmente di notte, mentre quelli di *O. rosea* cadono perpendicolarmente. E tuttavia, se si praticano dei tagli nei cuscinetti, non si trova alcuna differenza rimarchevole fra le metà corrispondenti di questi organi nelle due specie che si muovono in modo sì differente. L'*O. rosea*, peraltro, presenta un numero di cellule alquanto maggiore nella metà inferiore che nella superiore, ma la stessa differenza trovammo pure in un esemplare di *O. Valdiviana*. I cotiledoni di due specie (3 1/2 mm. di lunghezza) furono esaminati nella mattina, mentre erano distesi orizzontalmente; la faccia superiore del cuscinetto d'*O. rosea* era allora increspata, ciò che accennava ad uno stato di compressione; cosa che era da aspettarsi, poichè i cotiledoni cadono di notte; nell'*O. Valdiviana* si era la superficie inferiore del pulvino che trovavasi increspata, poichè i cotiledoni si elevano di notte.

Il genere *Trifolium* è un genere naturale, e le foglie, in tutte le specie che abbiamo potuto esaminare, erano articolate; la stessa cosa dicasi dei cotiledoni di *T. subterraneum* e *strictum*, che si elevano verticali durante la notte; ma quelli di *T. resupinatum* non presentano alcuna traccia di cuscinetto, e nessun movimento notturno. Questo fatto fu stabilito misurando di giorno e di notte la distanza fra le estremità dei cotiledoni in 4 pianticelle. In questa specie, peraltro, la prima foglia, che è semplice e non trifogliata, si eleva come nelle altre e dorme come la fogliolina terminale di una pianta adulta.

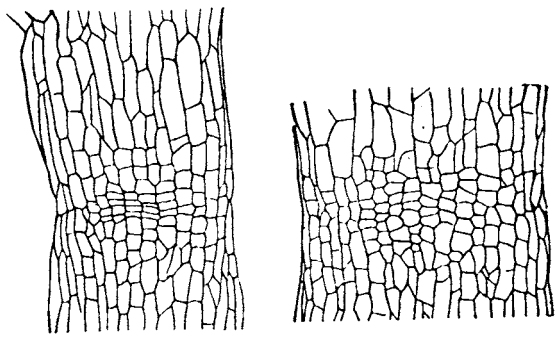
In un altro genere naturale, *Oxalis*, i cotiledoni di *O. Valdiviana*, *rosea*, *floribunda*, *articulata* e *sensitiva* sono articolati, e tutti si muovono di notte per prendere una posizione verticale, sia verso l'alto, sia verso il basso. In queste diverse specie, il pulvino è posto presso al lembo del cotiledone, come si osserva nella maggior parte delle piante. L'*Oxalis corniculata* (var. *atro-purpurea*) differisce dalle altre sotto diversi rapporti; i cotiledoni si elevano di notte, di una quantità assai variabile, raramente più di 45°; ed in un gruppo di piantine comperate sotto il nome di *O. tropæoloides*, ma appartenenti certamente alla varietà succitata, essi non si elevavano che da 5° a 15° sull'orizzonte. Il cuscinetto è di sviluppo imperfetto ed assai variabile, in guisa che sembra avere la tendenza ad abortire.

(1) PFEFFER, *Die period. Bewegungen*, 1875, p. 157.

Noi non crediamo che sia stato altra volta descritto un fatto simile. Colorato in verde dai grani clorofillici che contengono le cellule, esso è situato press'a poco nel mezzo del picciuolo, in luogo di occuparne l'estremità superiore, come in tutte le altre specie. Il movimento notturno si effettua in parte per opera sua ed in parte in causa dell'accrescimento della faccia superiore del picciuolo, come presso le piante sprovvedute di pulvino. Per queste diverse ragioni, e perchè noi abbiamo in parte seguito lo sviluppo del pulvino dalla prima sua età, crediamo di dover descrivere questo caso con qualche dettaglio.

Quando i cotiledoni di *O. corniculata* furono estratti dal seme, dal quale sarebbero ben presto usciti spontaneamente, non si potè scorgere alcuna traccia di pulvino, e tutte le cellule che formano il breve picciuolo, in numero di 7 in una serie longitudinale, erano di quasi eguale grandezza. Nelle pianticelle dell'età di uno o due giorni il cuscinetto era sì poco distinto, che noi credemmo in principio che non esistesse; ma si poteva vedere, nel mezzo del picciuolo, una zona trasversale e mal definita di cellule, le quali erano molto più corte di quelle situate sia al disopra che al disotto, sebbene avessero la medesima larghezza. Esse sembravano formate recentemente dalla divisione trasversale di cellule più lunghe; e non si poteva punto dubitare che fosse così, poichè le cellule del picciuolo, che era stato estratto dal seme, misuravano in lunghezza press'a poco 7 divisioni del micrometro (ogni divisione rappresentava mm. 0,003) ed erano un poco più lunghe di quelle formanti un pulvino ben sviluppato, che variavano fra 4 e 6 delle stesse divisioni. Dopo qualche giorno ancora la zona mal definita di cellule divenne distinta, e quantunque non si estendesse a tutta la larghezza del picciuolo, e le sue cellule fossero colorate in verde dalla clorofilla, essa costituiva tuttavia un pulvino che, come vedremo presto, agisce come tale. Queste piccole cellule erano disposte in serie longitudinali, e variavano di numero fra 4 e 7; le cellule stesse erano di lunghezza diversa nelle differenti parti del pulvino e nei varii individui. Le figure qui unite (A e B fig. 64) ci rappresentano due aspetti dell'epidermide (1) nella parte media del picciuolo di due pianticelle, nelle quali i cuscinetti, per la specie osservata, erano ben sviluppati. Essi offrono un contrasto evidente coi pulvini di *O. rosea* (vedi fig. 63) o di *O. Valdiviana*.

Fig. 64.



A B

Oxalis corniculata: A e B cuscinetti quasi rudimentali dei cotiledoni di due pianticelle abbastanza vecchie, visti per trasparenza, ingranditi 50 volte.

(1) Le sezioni longitudinali mostrano che le forme delle cellule epidermiche possono essere considerate con sufficiente esattezza come rappresentanti le cellule che costituiscono il pulvino.

Nelle piantine, chiamate a torto *O. tropœoloides*, nelle quali i cotiledoni non si elevano che assai poco durante la notte, le piccole cellule erano anche meno numerose, ed in parte formavano una semplice fila trasversale, ed in altre parti delle brevi serie longitudinali di 2 o 3 cellule soltanto. Esse erano tuttavia sufficienti per attirare l'attenzione quando il picciuolo intiero era visto per trasparenza sotto al microscopio. In queste pianticelle si poteva appena dubitare che il pulvino fosse divenuto rudimentale e tendesse a scomparire, ciò che spiega la sua grande variabilità di struttura e di funzione.

Diamo, nella tabella seguente, alcune misure di cellule nei cuscinetti assai bene sviluppati di *O. corniculata:*

Pianticella dell'età di 1 giorno, coi cotiledoni lunghi mm. 2,3.

	Divisioni del micrometro (1)
Lunghezza media delle cellule del pulvino	6 a 7
Lunghezza delle cellule più lunghe al disotto del pulvino . . .	13
Lunghezza delle cellule più lunghe al disopra del pulvino . . .	20

Pianticelle dell'età di 5 giorni, cotiledoni lunghi mm. 3,1 pulvino assai distinto.

Lunghezza media delle cellule del pulvino	6
Lunghezza delle cellule più lunghe al disotto del pulvino	22
Lunghezza delle cellule più lunghe al disopra del pulvino . . .	40

Pianticelle di 8 giorni, cotiledoni lunghi mm. 5, con una vera foglia sviluppata, ma non espansa.

Lunghezza media delle cellule del pulvino	9
Lunghezza delle cellule più lunghe al disotto del pulvino	44
Lunghezza delle cellule più lunghe al disopra del pulvino . . .	70

Pianticelle di 13 giorni, cotiledoni di mm. 4,5, con una piccola vera foglia ben sviluppata.

Lunghezza media delle cellule del pulvino	7
Lunghezza delle cellule più lunghe al disotto del pulvino . . .	30
Lunghezza delle cellule più lunghe al disopra del pulvino . . .	60

Noi vediamo da ciò che le cellule del pulvino, progredendo coll'età, aumentano poco in lunghezza in confronto con quelle del picciuolo poste sopra o sotto di esse; ma continuano a crescere in spessore, e rimangono eguali, sotto questo rapporto, alle altre cellule del picciuolo. Tuttavia la rapidità dell'accrescimento varia in tutte le parti del picciuolo, come si può vedere dalle misure prese sulle pianticelle di 8 giorni di età.

I cotiledoni delle piantine di un giorno solamente si elevano molto durante la notte, talvolta tanto quanto lo farebbero più tardi; ma, a tale riguardo, vi sono molte varianti. Il cuscinetto essendo in principio assai poco distinto, il movimento non deve allora dipendere dalla turgescenza delle sue cellule, ma da una ineguaglianza periodica nell'accrescimento del picciuolo. Confrontando delle pianticelle di differenti età conosciute, si poteva avere la certezza che la sede principale dell'accrescimento del picciuolo si trovava nella parte superiore, fra il cuscinetto ed il lembo; ciò che si accorda col fatto (dimostrato dalle misure che abbiamo dato) che le cellule giungono ad una maggiore lunghezza nella parte superiore che nella

(1) Ogni divisione era eguale a mm. 0,003.

parte inferiore del picciuolo. In una pianticella dell'età di 11 giorni, l'elevazione notturna si trovava in gran parte dipendente dall'azione del pulvino, poichè il picciuolo era di notte curvato verso l'alto in questo punto; e durante il giorno, mentre il picciuolo era orizzontale, la faccia inferiore del pulvino era increspata e la superiore tesa. Quantunque i cotiledoni, ad un'età avanzata, non si elevino alla notte maggiormente che nella gioventù, hanno tuttavia da descrivere un angolo grande (raggiungendo in un caso 63°) per guadagnare la loro posizione notturna, essendo generalmente nella giornata inclinati sotto all'orizzonte. Anche nelle piantine di 11 giorni, il movimento non dipendeva esclusivamente dal pulvino, poichè il lembo, alla sua congiunzione col picciuolo, era curvato verso l'alto, ciò che si deve attribuire ad una ineguaglianza di accrescimento. I movimenti periodici dei cotiledoni di *O. corniculata* dipendono dunque da due cause distinte, ma collegate insieme, e cioè dalla turgescenza delle cellule del cuscinetto, e dall'accrescimento della parte superiore del picciuolo, compresa la base del lembo.

Lotus jacobæus. — Le pianticelle di questa specie, secondo le nostre osservazioni, offrono un caso simile, sotto un certo aspetto, a quello di *Oxalis corniculata*, e sotto altri aspetti, un caso unico. I cotiledoni durante i 4 o 5 primi giorni della loro vita, non mostrano alcun movimento notturno distinto; ma più tardi si tengono verticali, o quasi, durante la notte. Vi è per altro, a questo riguardo, un certo grado di variabilità, dipendente probabilmente dalla stagione e dalla quantità di luce ch'essi hanno ricevuto nella giornata. In pianticelle più vecchie, portanti dei cotiledoni lunghi 4 mm., che si elevavano considerevolmente durante la notte, esisteva presso al lembo un pulvino ben sviluppato, incoloro ed un po' più stretto del resto del picciuolo da cui era nettamente separato. Era formato da una massa di piccole cellule, di una lunghezza media di mm. 0,021; al contrario, le cellule della parte inferiore del picciuolo misuravano circa mm. 0,06, e quelle del lembo da mm. 0,034 a mm. 0,04. Le cellule epidermiche nella parte inferiore del picciuolo sporgevano innanzi a modo di coni e differivano così per la forma da quelle situate al disopra del pulvino.

Se noi consideriamo ora delle pianticelle molto giovani, i di cui cotiledoni non si elevano alla notte e non hanno che mm. 2 a 2 1/2 di lunghezza, i loro picciuoli non mostrano alcuna zona definita di piccole cellule sprovvedute di clorofilla e differenti dalle inferiori nella forma esterna. Tuttavia, le cellule, al punto dove più tardi si svilupperà un pulvino, sono più piccole (esse hanno una lunghezza media di mm. 0,015) di quelle situate nella parte inferiore dello stesso picciuolo, che discendendo divengono gradatamente più grandi, misurando le maggiori mm. 0,03 di lunghezza. In quest'età, poco avanzata, le cellule del lembo misurano circa mm. 0,027 di lunghezza.

Noi vediamo da ciò che il pulvino è formato dalle cellule della parte superiore estrema del picciuolo, che si allungano per un tempo assai breve, e si arrestano poi nel loro accrescimento, nello stesso tempo che esse perdono i loro grani di clorofilla; mentre le cellule della parte inferiore del picciuolo continuano per molto tempo ad allungarsi, e quelle dell'epidermide divengono più coniche. Il fatto singolare, che i cotiledoni di questa pianta non dormono dapprima, è dunque dovuto a ciò, che il pulvino, in un'età poco avanzata, non è ancora sviluppato.

Noi impariamo da questi due casi di *Lotus* e di *Oxalis*, che lo sviluppo di un pulvino proviene dal fatto che l'accrescimento delle cellule in una parte stretta e definita del picciuolo è quasi arrestato ad un'età precoce. Nel *Lotus jacobæus* le cellule aumentano in principio un poco in lunghezza; nell'*Oxalis corniculata* esse

diminuiscono alquanto in seguito a scissione. Una quantità di queste piccole cellule formanti un cuscinetto può dunque, dalle specie differenti di un medesimo genere naturale, essere agevolmente acquistata o perduta, e noi sappiamo che nelle pianticelle di *Trifolium*, di *Lotus* e di *Oxalis*, certe specie possiedono un cuscinetto ben sviluppato, mentre altre non ne hanno alcuno, o l'hanno soltanto allo stato rudimentale. Siccome i movimenti determinati dalla turgescenza alternativa delle cellule nelle due metà di un cuscinetto devono risultare principalmente dall'estensione e dalla successiva contrazione delle loro pareti, possiamo forse comprendere la ragione per la quale a questo scopo giovi meglio un grande numero di piccole cellule di un piccolo numero di grandi cellule occupanti il medesimo spazio. Poichè un pulvino è formato dall'arresto di sviluppo delle sue cellule, i movimenti che dipendono dalla loro azione possono continuarsi lungamente senza che aumenti in lunghezza la parte che ne è provveduta; questa persistenza dei movimenti sembra essere uno degli scopi principali ai quali è destinato lo sviluppo di un cuscinetto. Un movimento continuato a lungo sarebbe impossibile in una parte qualunque, senza un insolito aumento di lunghezza, se la turgescenza delle cellule fosse sempre seguita da accrescimento.

Turbamento portato dalla luce nei movimenti periodici dei cotiledoni. — Gli ipocotili ed i cotiledoni della maggior parte delle pianticelle sono, come è notorio, estremamente eliotropici; ma i cotiledoni, oltre al loro eliotropismo, subiscono ancora l'azione paratonica (per usare l'espressione di Sachs) della luce; cioè a dire che i loro movimenti periodici quotidiani sono grandemente e rapidamente turbati dai cambiamenti d'intensità o dalla mancanza della luce. Non è che questi organi nell'oscurità cessino di circumnutare, poichè essi continuarono a farlo in tutti i casi che abbiamo osservato; ma l'ordine normale dei loro movimenti in relazione all'alternanza del giorno e della notte è fortemente turbato o completamente annullato. Questo fatto si produce tanto nelle specie i cui cotiledoni si elevano od abbassano durante la notte in guisa che si possano considerare come soggetti al sonno, quanto in altre nelle quali gli stessi organi non si raddrizzano che assai poco. Ma le specie differenti sono impressionate a gradi diversi dai mutamenti della luce.

Per esempio, i cotiledoni di *Beta vulgaris*, *Solanum lycopersicum*, *Cerinthe major* e *Lupinus luteus*, posti nell'oscurità, si curvano in basso durante il pomeriggio ed il principio della notte, in luogo di elevarsi, come avrebbero fatto se fossero stati esposti alla luce. Tutte le pianticelle di *Solanum* non si comportarono nella stessa maniera, poichè i cotiledoni di una circumnutarono intorno ad un medesimo punto fra le 2,30 e le 10 di sera. I cotiledoni di una pianticella di *Oxalis corniculata*, che era debolmente rischiarata dall'alto, discesero durante la prima mattina nel modo normale, ma poi salirono durante la seconda. I cotiledoni di *Lotus jacobæus* non vennero influenzati dalla dimora nell'oscurità perfetta durante quattro ore; ma allorchè furono collocati sotto ad una doppia invetriata, e così

debolmente rischiarati, perdettero, al terzo mattino, affatto i loro movimenti periodici. D'altra parte, i cotiledoni di *Cucurbita ovifera* si mossero normalmente durante tutta una giornata nell'oscurità.

Delle piantine di *Githago segetum* furono debolmente rischiarate dall'alto al mattino prima che i loro cotiledoni fossero distesi, ed essi rimasero allora chiusi durante le 40 ore che seguirono. Altre pianticelle furono poste nell'oscurità dopo che i loro cotiledoni si erano aperti al mattino, e questi non cominciarono a chiudersi prima che fossero trascorse circa 4 ore. I cotiledoni di *Oxalis rosea* caddero verticalmente, dopo di essere rimasti all'oscuro per 1 ora e 20 minuti; ma quelli di certe altre specie di *Oxalis* non vennero impressionati da una oscurità di molte ore. I cotiledoni di parecchie specie di *Cassia* sono eminentemente sensibili ai mutamenti della intensità della luce cui sono esposti. Così le pianticelle di una specie del Brasile meridionale (un albero grande e bello) furono levate dalla serra e poste sopra una tavola in mezzo ad una camera rischiarata da due finestre orientate l'una a N.-E. e l'altra a N.-O.; in questa guisa le pianticelle erano sufficientemente illuminate, ma per altro meno che nella serra, il giorno essendo moderatamente chiaro; dopo 36 ore, i cotiledoni che erano orizzontali si elevarono verticalmente e si chiusero in modo come se dormissero; dopo di essere rimasti così sulla tavola 1 ora e 13 minuti, cominciarono ad aprirsi. I cotiledoni delle giovani pianticelle di un'altra specie brasiliana e di *Cassia neglecta*, trattati nella stessa maniera, si comportarono egualmente, colla differenza che non si elevarono tanto; dopo un'ora circa divennero di nuovo orizzontali.

Qui va registrato un caso dei più interessanti: delle pianticelle di *Cassia tora*, occupanti due vasi, che erano rimasti qualche tempo sulla tavola della camera di cui abbiamo parlato, avevano i loro cotiledoni orizzontali. Un vaso fu allora esposto per 24 ore alla luce solare assai debole, ed i cotiledoni rimasero orizzontali, poi esso fu riposto sulla tavola, e 50 minuti dopo i cotiledoni si erano elevati a 68° al disopra dell'orizzonte. L'altro vaso venne posto, durante queste due stesse ore, dietro ad uno schermo nella stessa camera (la luce era quivi assai debole), ed i suoi cotiledoni si elevarono di 63° sopra l'orizzonte; il vaso fu allora riposto sulla tavola, e 50 minuti dopo i cotiledoni erano caduti di 33°. Questi due vasi, contenenti delle pianticelle della stessa età, rimasero assieme, e vennero esposti ad una luce rigorosamente eguale; nondimeno i cotiledoni si elevavano in un vaso, mentre nell'altro nello stesso tempo cadevano. Questo fatto mostra in modo evidente, che i loro movimenti non sono posti sotto la dipendenza della quantità di luce, ma invece di un cambiamento nella sua intensità. Un esperimento della stessa natura fu fatto sopra due serie di pianticelle ambedue esposte ad una luce debole, ma a dei gradi differenti, e si ottenne il medesimo risultato. I movimenti dei cotiledoni di questa *Cassia* sono per altro determinati in gran parte (come in molti altri casi) dall'abitudine o dall'eredità, indipendentemente dalla luce; infatti, delle pianticelle che erano state moderatamente rischiarate nella giornata, rimasero nell'oscurità tutta la notte ed il mattino successivo, e tuttavia i cotiledoni erano in parte aperti nella mattina, e rimasero tali nell'oscurità per 6 ore circa. I cotiledoni in un altro vaso, trattati altra volta nella stessa maniera, s'aprirono a 7 ore del mattino, e rimasero aperti nell'oscurità per 4 ore e 30 minuti; poscia cominciarono a chiudersi. Queste stesse pianticelle però allorchè si facevano passare, a metà della giornata, da una luce moderatamente chiara ad una luce piuttosto smorta, elevavano, come abbiamo visto, i loro cotiledoni ad una certa altezza sull'orizzonte.

Sensibilità dei cotiledoni al contatto. — Questo soggetto non presentò grande interesse, poichè non consta che una sensibilità di tale natura sia utile in qualche cosa alle pianticelle. Noi l'abbiamo constatata in soli quattro generi, quantunque

avessimo osservato, ma invano, i cotiledoni di molti altri. Il genere *Cassia* sembra distinguersi particolarmente a questo riguardo: così i cotiledoni di *C. tora*, mentre erano distesi orizzontalmente, furono tutti due leggermente urtati con una bacchetta assai sottile per 3 minuti, e nello spazio di pochi minuti essi formarono assieme un angolo di 90°, in guisa che si erano elevati ciascuno di 45°. Un singolo cotiledone di un'altra pianticella venne urtato nello stesso modo per un minuto, e si elevò di 27° in 9 minuti; dopo 8 altri minuti, si era elevato di altri 10°; il cotiledone opposto, che non venne punto toccato, si mosse appena. I cotiledoni, in tutti questi casi, ritornarono alla posizione orizzontale in meno di mezz'ora. Il pulvino è la parte più sensibile, poichè punzecchiando tre cotiledoni in questo punto con un ago, si facevano elevare verticalmente; ma trovammo pure il lembo sensibile, avendo cura di non toccare il pulvino. Delle goccie di acqua collocate delicatamente sopra questi cotiledoni, non producevano alcun effetto; ma un getto di acqua assai sottile, proiettato col mezzo di una siringa, li faceva muovere verso l'alto. Quando un vaso contenente delle pianticelle, veniva rapidamente battuto con una bacchetta, e per conseguenza scosso, i cotiledoni si elevavano leggermente. Se una piccola goccia di acido nitrico veniva posta sopra ai due pulvini di una pianticella, i cotiledoni si elevavano con tanta rapidità, che si potevano vedere facilmente a muoversi; ma essi cominciavano a cadere quasi immediatamente dopo; i cuscinetti erano stati uccisi e divennero bruni.

I cotiledoni di una specie indeterminata di *Cassia* (un grande albero del mezzodì del Brasile) si elevavano di 31° nello spazio di 26 minuti, dopo che i pulvini ed i lembi erano stati soffregati per un minuto con una bacchetta; ma quando il lembo solo era fregato nella stessa maniera, i cotiledoni non si elevavano che di 8°. I cotiledoni straordinariamente lunghi e stretti di una terza specie indeterminata del Brasile meridionale, non mostrarono alcun movimento, quando i loro lembi furono fregati, a sei riprese, con una bacchetta appuntita per 30 secondi od un minuto; ma allorchè il pulvino era soffregato e leggermente punzecchiato con uno spillo, i cotiledoni si elevavano di 60° in pochi minuti. Diversi cotiledoni di *C. neglecta* (pure originaria del Brasile meridionale) si elevarono nello spazio di 5 a 15 min., e raggiunsero diversi angoli compresi fra 16° e 34°, dopo essere stati fregati per un minuto col mezzo di una bacchetta. La loro sensibilità persiste in un'età abbastanza avanzata, poichè i cotiledoni di una piccola pianta di *C. neglecta*, dell'età di 34 giorni, e portanti tre vere foglie, si elevavano se erano leggermente premuti fra l'indice ed il pollice. Si esposero delle piantine per 30 m. ad un vento abbastanza forte per mantenere i cotiledoni in vibrazione, ma, con nostra grande sorpresa, questa causa non determinò alcun movimento. I cotiledoni di quattro pianticelle di *C. glauca* dell'India, furono fregati o premuti con una bacchetta sottile per 2 m.; uno si elevò di 34°, un secondo di 6° soltanto, un terzo di 13°, ed un quarto di 17°. Un cotiledone di *C. florida*, trattato nella stessa maniera, si elevò di 9°; uno di *C. corymbosa*, di 7 1/2°, ed uno della specie ben differente, *C. mimosoides*, di soli 6°. Quelli di *C. pubescens* non sembravano sensibili affatto, e nemmeno quelli di *C. nodosa*, ma questi ultimi erano piuttosto grossi e carnosi, e non si elevano di notte per dormire.

Smithia sensitiva. — Questa pianta appartiene ad una suddivisione delle Leguminose diversa da quella della *Cassia*. I due cotiledoni di una pianticella abbastanza vecchia, la cui prima vera foglia era in parte sviluppata, furono fregati per un minuto con una piccola bacchetta, ed in 5 minuti ciascuno di questi organi si elevò di 32°; essi rimasero in questa posizione per 15 minuti; ma quando si esaminarono, 40 minuti dopo di essere stati fregati, ciascuno era disceso di 14°. I due cotiledoni di un'altra pianticella più giovane furono fregati nella stessa guisa per

un minuto, e dopo un intervallo di 32 minuti ciascuno si era elevato di 30°. Essi erano appena sensibili all'azione di un fino getto d'acqua. I cotiledoni di *S. Pfundii*, pianta acquatica africana, sono grossi e carnosi, non sono sensibili nè soggetti al sonno.

Mimosa pudica ed albida. — I lembi di diversi cotiledoni di queste due piante furono fregati o leggermente grattati con un ago per 1 o 2 minuti; ma essi non presentarono assolutamente alcun movimento; quando però grattammo i cuscinetti di 6 cotiledoni di *M. pudica*, due di questi si elevarono leggermente. In questi due casi forse il pulvino fu accidentalmente punzecchiato, poichè quello di un altro cotiledone essendo stato punto, si elevò un poco. Si vede da ciò che i cotiledoni di *Mimosa* sono meno sensibili di quelli delle piante sopracitate (1).

Oxalis sensitiva. — I lembi ed i cuscinetti di due cotiledoni, che avevano una posizione orizzontale, furono soffregati, o piuttosto solleticati per 30 s. con una piccola setola fessa, ed in 10 minuti ciascuno si elevò di 48°; quando essi furono esaminati di nuovo, 35 minuti dopo di essere stati eccitati, si erano ancora elevati di 4°; dopo 30 altri minuti trovavansi nuovamente orizzontali. Battendo rapidamente un vaso con un bastone per un minuto, vedemmo i cotiledoni di due pianticelle elevarsi considerevolmente nello spazio di 11 minuti. Un vaso essendo stato trasportato ad una piccola distanza sopra un asse, ed essendo stato scosso in questa maniera, i cotiledoni di quattro pianticelle si elevarono tutti in 10 minuti; dopo 17 minuti, l'uno si era elevato di 56°, un secondo di 45°, un terzo quasi di 90°, ed un quarto di 90°. Dopo un nuovo intervallo di 40 minuti tre di essi erano ritornati allo stato di espansione. Queste osservazioni erano fatte prima che sapessimo con quale straordinaria rapidità i cotiledoni circumnutino, e sono quindi soggette ad un errore. Tuttavia è assai poco probabile che i cotiledoni negli 8 casi che abbiamo descritto si fossero elevati al momento dell'eccitazione. I cotiledoni di *Oxalis Valdiviana* e *rosea* vennero soffregati e non manifestarono alcuna sensibilità.

Riassumendo, sembra esistere una certa relazione fra l'abitudine propria ai cotiledoni di elevarsi verticalmente alla notte o di dormire, e la loro sensibilità al contatto, soprattutto nei loro cuscinetti; infatti, tutte le piante che citammo, dormono. D'altra parte, vi sono molte piante i cui cotiledoni dormono senza possedere la minima sensibilità. Siccome i cotiledoni di molte specie di *Cassia* sono facilmente impressionati sia da una leggiera diminuzione di luce, sia dal contatto, pensiamo che queste due sorta di sensibilità possano essere in connessione, ma non in modo necessario, poichè i cotiledoni di *Oxalis sensitiva* non si elevarono dopo di essere stati tenuti, in un caso un'ora e mezza ed in un altro circa quattro ore, imprigionati in un gabinetto oscuro. Altri cotiledoni, come quelli di *Githago segetum*, sono assai impressionati da una debole luce, ma non hanno alcun movimento allorchè sono graffiati da uno spillo. Sembra assai probabile che esista, nella stessa pianta, una certa relazione fra la sensibilità dei cotiledoni e quella delle foglie, poichè la *Smithia* e l'*Oxalis* che abbiamo descritto, hanno ricevuto il nome di

(1) La sola indicazione che noi riscontrammo sulla sensibilità dei cotiledoni è relativa alla Mimosa; infatti, A. DE CANDOLLE dice (*Phys. vég.*, 1832, t. II, p. 865): « I cotiledoni di *M. pudica* tendono ad avvicinarsi colle loro faccie superiori quando sieno irritati ».

sensitiva in causa della sensibilità delle loro foglie; e quantunque le foglie di diverse specie di *Cassia* non sieno sensibili al contatto, esse prendono però in parte la loro posizione notturna, quando un ramo sia scosso od inaffiato dall'acqua. Ma la relazione non è molto stretta fra la sensibilità al contatto dei cotiledoni e quella delle foglie della stessa pianta, come risulta dal fatto che i cotiledoni di *Mimosa pudica* non sono che leggermente sensibili, mentre le foglie, come è noto, lo sono al più alto grado. Finalmente le foglie di *Neptunia oleracea* sono assai sensibili al contatto, mentre i cotiledoni non sembrano esserlo in nessun grado.

CAPITOLO III.

SENSIBILITÀ DELL'ESTREMITÀ DELLA RADICHETTA AL CONTATTO ED AGLI ALTRI ECCITANTI.

Modo di curvarsi delle radichette allorchè incontrano un ostacolo nel suolo. — *Vicia faba*, estremità delle radichette sensibili al contatto ed agli altri eccitanti. — Effetti di una temperatura troppo elevata. — Potere di elezione fra oggetti attaccati sopra delle faccie opposte. — Estremità delle radici secondarie, sensibili. — *Pisum*, estremità della radichetta sensibile. — Effetti di questa sensibilità nel vincere il geotropismo. — Radichette secondarie. — *Phaseolus*, estremità delle radichette appena sensibili al contatto, ma sensibilissime ai caustici ed alla sezione di una fetta. — *Tropæolum* — *Gossypium* — *Cucurbita* — *Raphanus* — *Æsculus*, estremità insensibile ad un leggero contatto, ma assai sensibile ai caustici. — *Quercus*, estremità assai sensibile al contatto. — Potere di elezione. — *Zea*, estremità molto sensibile, radici secondarie. — Sensibilità delle radichette all'aria umida. — Riassunto del capitolo.

Proponendoci di vedere come le radichette delle pianticelle si aprono un passaggio attraverso alle pietre, alle radici ed agli altri ostacoli che incessantemente incontrano nel suolo, collocammo delle veccie (*Vicia faba*) in via di germinazione, in modo che le loro estremità radiculari venissero in contatto, quasi a rettangolo, o sotto un angolo molto aperto, con delle lamine di vetro poste al disotto di questi organi. In altri casi le veccie furono girate, mentre le loro radichette crescevano così che discendevano quasi verticalmente alla propria faccia superiore, larga e quasi piatta. Quando la delicata piloriza toccava dapprincipio una superficie direttamente opposta al suo cammino, essa si appiattiva un poco trasversalmente; ma tale appiattimento diveniva ben presto obliquo e scompariva del tutto in poche ore. L'estremità si dirigeva allora perpendicolarmente o quasi al suo cammino primitivo. La radichetta sembrava, in questo caso, scivolare verso la sua nuova direzione sulla superficie che le era opposta, premendo sopra di essa con debolissima forza. Dobbiamo lasciare indeterminata la misura nella quale tali cambiamenti nella direzione primitiva sieno facilitati dalla circumnutazione della radichetta. Sopra delle lamine di vetro più o meno inclinate si fissarono dei sottili pezzi di legno perpendicolarmente alle radichette che scivolavano su queste lamine. Delle linee rette erano state tracciate lungo la parte terminale in via di accrescimento di alcune di queste radichette, prima ch'esse toccassero i pezzi di legno; queste linee si curvarono sensibilmente in due ore, dopo che la punta era venuta al contatto degli ostacoli. In una radichetta di cui l'accrescimento era abbastanza debole, la piloriza dopo di aver incontrato un pezzo di legno scabro posto perpen-

dicolarmente alla sua direzione, si appiattì in principio alcun poco trasversalmente; dopo un intervallo di 2 ore 30 m., l'appiattimento divenne obliquo; dopo tre altre ore, era totalmente scomparso, e l'estremità era allora diretta perpendicolarmente alla sua corsa primitiva. Essa continuò poscia a crescere in questa nuova direzione lungo il pezzo di legno, fino a che arrivò alla di lui estremità, intorno alla quale si inclinò a rettangolo. Poco dopo, quando raggiunse il bordo della lamina di vetro, si curvò di nuovo seguendo un angolo molto aperto, e discese perpendicolarmente nella sabbia umida.

Allorchè, come nel caso precedente, le radichette incontravano un ostacolo perpendicolare alla loro direzione, la loro parte terminale in via di accrescimento si curvava sopra una lunghezza di 8 a 10 mm., misurata a partire dalla loro estremità. Ciò mostravano bene le linee nere che erano state antecedentemente tracciate sulla radichetta. La prima e più ovvia spiegazione di questo incurvamento si è ch'esso risulti in gran parte dalla resistenza meccanica portata all'accrescimento della radichetta nella sua direzione primitiva. Tuttavia, questa spiegazione non ci sembra soddisfacente. Le radichette non mostrano di essere state sottomesse ad una pressione bastante per renderci conto della loro incurvatura, e di più, Sachs (1) ha dimostrato, che la parte in via di accrescimento è più rigida della parte immediatamente superiore che ha cessato di crescere; era dunque da aspettarsi che quest'ultima cedesse e si curvasse nel momento in cui l'estremità incontrava un oggetto resistente, mentre invece è la parte rigida, in via di accrescimento, che viene curvata; di più, un oggetto che cede colla maggiore facilità, è capace di produrre la deviazione di una radichetta: quando, come abbiamo visto, l'estremità radicolare di una fava incontrava la superficie liscia di una foglia di stagno estremamente sottile e distesa sulla sabbia cedevole, essa non lasciava sopra questa superficie alcuna impressione, benchè l'organo si curvasse ad angolo retto. Una seconda spiegazione si è presentata alla nostra mente: che cioè la più debole pressione possa impedire l'accrescimento dell'estremità, nel quale caso esso sarebbe continuato da un lato soltanto, in seguito a che la radichetta prenderebbe una forma rettangolare; ma questo modo di vedere lascia l'incurvamento della parte superiore sopra una lunghezza di 8 a 10 mm. senza alcuna spiegazione.

Noi fummo così condotti a pensare che l'estremità sia sensibile al contatto, e trasmetta un'impressione alla parte superiore della radichetta, la quale si trova così eccitata ad allontanarsi dall'ostacolo. Sapendo che un piccolo laccio di filo sottile fissato sopra un viticcio o sopra un picciuolo di una pianta rampicante a foglie determina l'incurvamento dell'organo che lo porta, pensammo che un piccolo oggetto qualunque, fissato all'estremità di una radichetta delicatamente sospesa e crescente nell'aria umida, potrebbe farla incurvare, se essa fosse sensibile, anche

(1) *Arbeiten des Bot. Inst. Würzburg*, Heft., III, 1873, p. 398.

qualora il corpo straniero non offrisse alcuna resistenza meccanica al suo accrescimento. Noi daremo tutti i dettagli delle esperienze intraprese a questo fine, giacchè il risultato è molto interessante. Questo fatto che l'estremità di una radichetta è sensibile al contatto, non era mai stato osservato, benchè, come vedremo più avanti, Sachs abbia scoperto che la radichetta, un po' al disopra della sua estremità, presenta una certa sensibilità che la fa inclinare come un viticcio *verso* l'oggetto col quale è in contatto. Ma, allorchè una parte dell'estremità è premuta da un oggetto qualunque, la parte in via di accrescimento si curva *allontanandosi* da questo oggetto; tale fatto sembra essere il risultato di un notevole adattamento allo scopo di evitare gli ostacoli nel suolo, e, come vedremo, per seguire le linee della minore resistenza. Appena toccati, molti organi s'inclinano in una direzione fissa, come gli stami di Berberis, i lobi della Dionea, ecc.; e molti, come i viticci, od alcune foglie modificate, o dei peduncoli fiorali, e diversi fusti s'inclinano verso l'oggetto che li irrita; ma non crediamo che un solo caso sia già conosciuto di un organo che s'inclini per allontanarsi dall'oggetto che lo tocca.

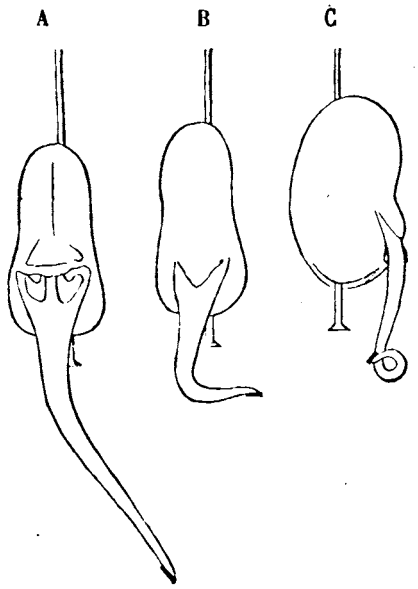
Sensibilità dell'estremità radiculare di Vicia faba. — Delle fave comuni antecedentemente immerse nell'acqua per 24 ore, e collocate in una situazione tale che l'ilo fosse rivolto verso il basso (secondo il metodo seguìto da Sachs) furono fermate con spilli sopra turaccioli di sughero di alcuni vasi di vetro a metà riempiuti di acqua; le pareti dei vasi ed il sughero si resero assai umidi, e si escluse la luce. Appena le fave produssero le loro radichette, alcune di una lunghezza di meno di 1/10 di pollice, ed altre della lunghezza di parecchi decimi, vennero fissati dei piccoli pezzi di cartone, quadrati od oblunghi, sopra le faccie inclinate delle loro estremità coniche. I piccoli quadrati pendevano quindi obliquamente, rispetto all'asse longitudinale della radichetta; era questa una precauzione necessaria, poichè se i pezzi di cartone si trovavano accidentalmente spostati o tratti in posizione diversa dal mastice, in modo da pendere parallelamente a lato della radichetta (benchè ad una piccola distanza soltanto sopra l'estremità conica), questa non si piegava nel modo speciale che qui consideriamo. Dei pezzi di cartone di circa mm. 1 1/2, quadrati od ovali, e press'a poco della stessa dimensione, si trovarono i più convenienti ed efficaci a questo scopo. Impiegammo in principio del solito cartone sottile, o quello dei biglietti da visita, o dei pezzi di vetro assai sottili, e diversi altri oggetti; ma più tardi ci servimmo soprattutto di carta di sabbia, poichè essa era quasi così solida del cartone sottile, e la sua superficie rugosa facilitava l'aderenza. Dapprima usammo l'acqua gommata assai densa; ma, secondo le circostanze, o non si seccava del tutto, o qualche volta, al contrario, pareva assorbisse il vapore acqueo, in guisa che il pezzo di cartone si trovava separato dalla radichetta da uno strato liquido. Se non aveva luogo tale assorbimento ed il cartone non veniva spostato, la sua azione era conveniente, e ne veniva l'incurvamento della radichetta verso la parte opposta. Devo aggiungere

che l'acqua gommata, densa per se stessa, non produce alcuna azione. Nella maggior parte dei casi, i pezzi di cartone furono rivestiti di un'assai piccola quantità di gomma lacca sciolta nell'alcool, che lasciammo evaporare fino ad ispessimento; essa disseccava allora in pochi secondi e fissava assai bene i pezzi di cartone. Quando alcune goccie di gomma lacca erano collocate sulle estremità delle radichette, senza cartone, esse seccavano formando delle piccole perle, che agendo come tutti gli altri oggetti duri, determinavano l'incurvamento delle radichette verso la parte opposta. Perfino delle goccie assai piccole di gomma lacca manifestavano una debole azione, come si vedrà più avanti. Ma si fu soprattutto il cartone che determinò il movimento nelle nostre numerose esperienze; ebbimo la prova di questo fatto coprendo un lato dell'estremità radiculare con un minuto pezzo di foglia d'oro (che per se stessa agisce appena) e fissando allora sulla fogliolina predetta un pezzo di cartone che non arrivava mai in contatto con la radichetta: malgrado questa interposizione, la radichetta s'inclinò allontanandosi dal cartone nel modo consueto.

Furono tentate alcune esperienze preliminari (che tosto descriveremo) per determinare la temperatura più conveniente; e poscia vennero eseguiti i seguenti esperimenti. È bene avvertire che le fave furono sempre, per la comodità della manipolazione, fissate sui turaccioli in modo da presentare il margine onde sortono la radichetta e la plumula rivolto verso l'esterno, ed è necessario ricordare che in causa di ciò che abbiamo chiamato « incurvamento di Sachs », le radichette, in luogo di crescere perpendicolarmente in basso, si curvano qualche poco, spesso fino a 45° circa, all'interno od al disotto della fava sospesa. Per conseguenza, quando un quadrato di cartone era fissato davanti all'estremità radicolare, l'incurvatura che ne derivava coincideva coll'incurvamento di Sachs, e non poteva essere distinta da quest'ultimo che per il fatto ch'essa era più fortemente pronunciata o che si produceva più rapidamente. Per evitare questa sorgente di dubbio, si fissarono i pezzi di cartone di dietro, per produrre un incurvamento direttamente opposto a quello di Sachs, o, più spesso, sulla parte diritta o sinistra. Per brevità diremo dei pezzi di cartone, ecc. che furono fissati *davanti*, *di dietro* o *lateralmente*. Siccome l'incurvatura principale della radichetta è a breve distanza dall'estremità, e le porzioni estreme, terminale e basilare, sono quasi diritte, è possibile di valutare in modo alquanto grossolano l'ampiezza della curvatura con un angolo; per cui quando diremo che la radichetta si curvava ad un certo angolo dalla perpendicolare, ciò significherà che l'estremità era rivolta verso l'alto e lontana di tanti gradi dalla direzione perpendicolare che avrebbe naturalmente seguita, e dalla parte opposta a quella dove era fissato il cartone. Affinchè il lettore possa avere un'idea giusta del movimento provocato dai pezzi di cartone fissati, diamo qui gli schizzi fedeli di tre fave in via di germinazione, trattate in questa guisa e scelte fra diversi esemplari per mostrare i gradi d'incurvatura. Esporremo ora

una serie di esperimenti dettagliati, poscia daremo un riassunto dei risultati ottenuti.

Fig. 65



Vicia faba: A radichetta che s'incomincia ad inclinare per allontanarsi dal pezzo di cartone attaccato alla sua estremità; B, curvata ad angolo retto; C, curvata in circolo od a riccio, con l'estremità che incomincia ad incurvarsi verso il basso, sotto l'azione del geotropismo.

Nelle 12 prime esperienze furono fissati, col mezzo di gomma lacca, sull'estremità delle radichette dei piccoli pezzi di cartone umido, quadrati od oblunghi di mm. 1,8 di lunghezza e di mm. 1,5 o soltanto mm. 0,9 di larghezza. Nelle esperienze successive i piccoli quadrati non furono misurati che qualche volta, ma essi avevano press'a poco le stesse dimensioni:

1. Una giovane radichetta lunga 4 mm., era munita di un pezzo di cartone fissato di dietro: dopo 9 ore, essa s'incurvò nel piano di appiattimento della veccia, a 50° dalla perpendicolare, allontanandosi dal cartone, ed in opposizione all'incurvatura di Sachs. Al mattino successivo, 23 ore dopo la fissazione del cartone, nessun cambiamento.

2. Radichetta lunga mm. 5,5, avente il suo cartone fissato di dietro. Dopo 9 ore, essa era deflessa nel piano della veccia a 20° dalla perpendicolare e dal cartone, in opposizione coll'incurvatura di Sachs: dopo 23 ore, nessun cambiamento.

3. Radichetta lunga 11 mm.; cartone fissato di dietro; dopo 9 ore essa era deflessa nel piano della veccia a 40° dalla perpendicolare e dal cartone, in opposizione coll'incurvatura di Sachs; l'estremità della radichetta era più curvata che la parte superiore, ma nel medesimo piano. Dopo 23 ore l'estrema punta era leggermente curvata verso il cartone, mentre l'incurvatura generale della radichetta rimaneva la stessa.

4. Radichetta lunga 9 mm.; cartone fissato di dietro ed un po' lateralmente: dopo 9 ore, essa è deflessa nel piano della veccia a 7° od 8° soltanto dalla perpendicolare o dal cartone, in opposizione coll'incurvatura di Sachs. Vi era di più una leggera incurvatura laterale diretta in parte in senso opposto al cartone. Dopo 23 ore, nessun cambiamento.

5. Radichetta lunga 8 mm., cartone fissato quasi lateralmente. Dopo 9 ore, essa è deflessa a 30° dalla perpendicolare nel piano della veccia ed in opposizione coll'incurvatura di Sachs, deflessa dunque in un piano perpendicolare all'anzidetto, e cioè a 20° dalla perpendicolare; dopo 23 ore, nessun cambiamento.

6. Radichetta lunga 9 mm., cartone fissato davanti: dopo 9 ore essa è deflessa nel piano della veccia di 40° circa dalla verticale e dal cartone, nella direzione dell'incurvatura di Sachs. Non si ha dunque in questo caso nessuna prova che il cartone fosse la causa dell'incurvatura, tranne che una radichetta non si mosse mai spontaneamente, per quanto ci consta, di una quantità eguale a 40° nello spazio di 9 ore. Dopo 23 ore, nessun cambiamento.

7. Radichetta lunga 7 mm., cartone fissato al dorso, dopo 9 ore la parte terminale della radichetta è deflessa nel piano della veccia a 20° dalla verticale e dal cartone ed in opposizione coll'incurvatura di Sachs. Dopo 22 ore e 30 minuti, questa parte della radichetta si è raddrizzata.

8. Radichetta lunga 12 mm.; cartone fissato quasi lateralmente: dopo 9 ore, essa è deflessa lateralmente in un piano perpendicolare a quello della veccia fra 40° e 50° dalla verticale e dal cartone. Nel piano della veccia stessa, la deflessione si elevava ad 8° o 9° dalla verticale e dal cartone, in opposizione coll'incurvatura di Sachs. Dopo 22 ore e 30 m., l'estremità si è leggermente curvata verso il cartone.

9. Cartone fissato lateralmente: dopo 11 ore e 30 m. nessun effetto, la radichetta essendo ancora quasi verticale.

10. Cartone fissato quasi lateralmente: dopo 11 ore e 30 m. la radichetta è deflessa di 90° dalla verticale e dal cartone, in un piano intermedio fra quello della veccia stessa ed uno perpendicolare a questo. Radichetta quindi parzialmente deviata dall'incurvatura di Sachs.

11. Estremità della radichetta protetta con foglietta d'oro e munita di un quadrato di cartone, avente le dimensioni ordinarie, fissato col mezzo di gomma lacca. Dopo 11 ore, forte deflessione nel piano della veccia, e nella direzione dell'incurvatura di Sachs; questa incurvatura è più forte e più rapida di quelle che si producono spontaneamente.

12. Estremità della radichetta protetta nello stesso modo: dopo 11 ore, non si osservò nessun effetto, ma dopo 24 ore e 40 m., si ebbe visibile inflessione nel senso opposto al cartone. Questa leggiera azione era probabilmente dovuta al fatto che una parte della foglietta si era avvolta, ed era venuta ad irritare col suo contatto la faccia opposta della radichetta.

13. Radichetta di considerevole lunghezza, provveduta di un piccolo quadrato di cartone, fissato col mezzo di gomma lacca, lateralmente presso l'estremità: dopo 7 ore e 15 m., un pezzo della lunghezza di 0,4 mm., misurato dalla punta e lungo la linea di mezzo si era curvato considerevolmente verso la parte opposta a quella che portava il cartone.

14. Questo caso è in tutto simile al precedente, ma l'incurvatura non si manifestava che sopra una lunghezza di 0,25 poll. della radichetta.

15. Giovane radichetta munita di un piccolo quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca: dopo 9 ore e 15 m., deflessione di 90° dalla perpendicolare e dal cartone. Dopo 24 ore, deflessione assai più considerevole; dopo un secondo giorno, essa è ridotta a 23°.

16. Quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca dietro l'estremità della radichetta, che in causa di un cambiamento della posizione durante la notte si era considerevolmente curvata; la parte terminale era tuttavia diritta, e questa s'inflesse di circa 45° dalla perpendicolare, allontanandosi dal cartone, ed in opposizione coll'incurvatura di Sachs.

17. Quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca: dopo 8 ore, la radichetta è deflessa ad angolo retto dalla perpendicolare e dal cartone. Dopo 15 altre ore questa incurvatura ha di molto diminuito.

18. Quadrato di cartone fissato colla gomma lacca: dopo 8 ore, nessun effetto; dopo 23 ore e 3 m., a datare dal momento della fissazione, la radichetta si era notevolmente curvata allontanandosi dal cartone.

19. Quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca; dopo 24 ore, non si ebbe alcun effetto; la radichetta non è cresciuta e sembra ammalata.

20. Quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca: dopo 24 ore, non si è prodotto alcun effetto.

21-22. Quadrati di cartone fissati col mezzo di gomma lacca: dopo 24 ore, le due radichette sono deflesse di 45° circa dalla perpendicolare e dai cartoni.

23. Quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca sopra una giovane radice. Dopo 9 ore, questa si era leggermente curvata allontanandosi dal cartone; dopo 24 ore, l'estremità è curvata verso il cartone. Questo è di nuovo fissato lateralmente: dopo 9 ore, deflessione distinta dal cartone, e dopo 24 ore, deflessione ad angolo retto dalla perpendicolare e dal cartone.

24. Pezzo di cartone oblungo, abbastanza grande, fissato sull'estremità col mezzo di gomma lacca: dopo 24 ore, non si vide alcun effetto, ma il cartone non giungeva a toccare la punta. Un piccolo quadrato venne di nuovo fissato col mezzo di gomma lacca; dopo 16 ore, leggiera deflessione dalla perpendicolare e dal cartone. Dopo un'altra giornata la radichetta si era quasi raddrizzata.

25. Quadrato di cartone fissato lateralmente sull'estremità di una giovane radice: dopo 9 ore, deflessione considerevole dalla perpendicolare; dopo 24 ore, questa deflessione è diminuita. È fissato un nuovo quadrato col mezzo di gomma lacca; dopo 24 ore, deflessione di circa 40° dalla perpendicolare e dal cartone.

26. Assai piccolo quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca sull'estremità di una giovane radichetta: dopo 9 ore, deflessione ad angolo quasi retto dalla perpendicolare e dal cartone. Dopo 24 ore, l'incurvatura è molto diminuita: dopo 24 altre ore, la radichetta è quasi diritta.

27. Quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca sull'estremità di una giovane radichetta: dopo 9 ore l'inflessione è ad angolo retto colla perpendicolare, nel senso opposto al cartone; al mattino successivo essa è quasi nulla. Un nuovo cartone è fissato lateralmente col mezzo di gomma lacca. Dopo 9 ore, leggiera curvatura, che aumenta dopo 24 ore fino a quasi 20° dalla perpendicolare e scostandosi dal cartone.

28. Quadrato di cartone fissato col mezzo di gomma lacca: dopo 9 ore, leggiera incurvatura. Al mattino successivo, il cartone era caduto; fu rimesso col mezzo di gomma lacca; si staccò di nuovo, e venne ancora fissato. In questa terza esperienza, dopo 14 ore, la radichetta era deflessa ad angolo retto dal cartone.

29. Un piccolo quadrato di cartone fu fissato in principio all'estremità della radichetta col mezzo di una densa acqua gommata; l'effetto fu debole, ed il cartone cadde ben presto. Un altro simile venne fissato lateralmente col mezzo della gomma lacca; dopo 9 ore, la radichetta formava colla perpendicolare un angolo di circa 45°, nel senso opposto al cartone. Dopo 36 altre ore, l'angolo d'inflessione era ridotto a 30°.

30. Un piccolissimo pezzo di stagno assai sottile, che misurava meno di 1/20 di poll. in quadrato, venne fissato col mezzo della gomma lacca sulla punta di una giovane radichetta. In capo a 24 ore non si ebbe alcun effetto. Fu allora levato lo stagno e sostituito da un piccolo quadrato di cartone umido: dopo 9 ore, si ebbe una deflessione quasi ad angolo retto dalla perpendicolare e dal cartone. Al mattino successivo, l'incurvatura era ridotta a 40° circa.

31. Una laminetta di vetro sottile fissata all'estremità della radichetta non produsse alcun effetto dopo 9 ore; ma si trovò che era collocata in modo da non toccare l'estremità della radichetta. Al mattino successivo fu fissato un cartone col mezzo della gomma lacca, e dopo 9 ore la radichetta era fortemente deflessa dal cartone. Dopo due altri giorni l'inclinazione aveva diminuito, e si trovava ridotta a 35° dalla perpendicolare.

32. Piccolo quadrato di cartone umido attaccato lateralmente all'estremità di una radichetta lunga e diritta col mezzo di densa acqua gommata. Dopo 9 ore, forte deflessione dal cartone. L'incurvatura si estendeva sopra una lunghezza di 0,22 poll.

dalla punta. Dopo tre altre ore, la parte terminale formava un angolo retto colla perpendicolare. Al mattino successivo la porzione incurvata era lunga 0,36 pollici.

33. Quadrato di cartone fissato all'estremità col mezzo dell'acqua gommata; dopo 15 ore, deflessione di circa 90° dal cartone.

34. Piccoli pezzi oblunghi di cartone fissati all'estremità a mezzo dell'acqua gommata. Dopo 15 ore, deviazione di 90° dalla perpendicolare e dal cartone. Nel corso dei tre giorni che seguirono, la parte terminale si torse molto e finì per ripiegarsi a fitta spira.

35. Quadrato di cartone fissato all'apice con gomma; dopo 9 ore, deflessione dal cartone; 24 ore dopo la fissazione, la punta era molto obliqua, ed in parte deflessa in opposizione alla curvatura di Sachs.

36. Piccolo pezzo di cartone, un poco minore di 1/20 di poll. in quadrato, fissato mediante la gomma; dopo 9 ore, deflessione considerevole dal cartone, ed in opposizione colla curvatura di Sachs. Dopo 24 ore, l'incurvatura era forte, nella medesima direzione; dopo un altro giorno, l'estremità era curvata verso il cartone.

37. Quadrato di cartone, fissato di fronte sull'estremità mediante l'acqua gommata; nessun effetto sensibile dopo 8 ore e 30 m. Fu fissato un nuovo cartone lateralmente: dopo 15 ore, deflessione di circa 90° dal cartone. Dopo due altri giorni, questa incurvatura era molto ridotta.

38. Quadrato di cartone fissato all'apice con gomma; dopo 9 ore, forte incurvamento che si elevava a circa 90°, 34 ore dopo la fissazione. Dopo un'altra giornata, la parte terminale aveva formato un'ansa, ed il giorno successivo una spira elicoide.

39. Piccolo pezzo di cartone oblungo, fissato di fronte sull'estremità, col mezzo dell'acqua gommata, ma un po' inclinato verso una parte: dopo 9 ore, leggiera deflessione nel senso di quella di Sachs, ma un poco obliqua e nella direzione opposta al cartone. Al mattino successivo, l'incurvamento si è accentuato nella stessa direzione, e la radichetta ha formato un cerchio dopo due altri giorni.

40. Quadrato di cartone fissato all'estremità mediante l'acqua gommata: dopo 9 ore, leggiera deflessione dal cartone; al mattino successivo la radichetta è diritta, e la punta si è spinta al di là del cartone. Un altro cartone è fissato lateralmente col mezzo della gomma lacca: dopo 9 ore, leggiera deflessione, ma nello stesso senso di quella di Sachs. Dopo due altri giorni la curvatura ha considerevolmente aumentato nello stesso senso.

41. Piccolo quadrato di stagno fissato lateralmente presso l'apice di una radichetta giovane ed ancora corta: dopo 15 ore, non si ebbe alcun effetto, ma il quadrato venne spostato. Si fissò allora un piccolo quadrato di cartone da un lato della punta col mezzo dell'acqua gommata: dopo 8 ore e 40 m. si osservò un leggiero incurvamento il quale, 24 ore dopo la fissazione del cartone, raggiunse 90°. Dopo 9 altre ore, la radichetta formò un uncinetto dirigendo la sua estremità verso lo zenit. Tre giorni dopo la fissazione, la parte terminale della radichetta formò un cerchio completo.

42. Piccolo quadrato di carta da lettere grossa, fissato col mezzo dell'acqua gommata all'apice della radichetta, che dopo 9 ore ne era deflessa, 24 ore dopo la fissazione della carta, la deflessione aumentò molto, e dopo due altri giorni, si elevò a 50° dalla perpendicolare e dalla carta.

43. Un sottile frammento di penna venne fissato colla gomma lacca sull'estremità della radichetta. Dopo 9 ore, non si ebbe alcun effetto. Dopo 24 ore, incurvatura moderata; a questo punto il frammento di penna cessò di toccare l'estremità. Esso venne tolto e sostituito da un quadrato di cartone che dopo 8 ore determinò

una leggiera incurvatura. Il quarto giorno dopo la fissazione della penna, l'estrema punta era curvata verso il cartone.

44. Un frammento abbastanza lungo e stretto di vetro sottilissimo venne fissato sull'estremità col mezzo della gomma lacca: esso determinò in 9 ore un leggiero incurvamento, che scomparve in 24 ore; si trovò allora che il frammento non toccava più la punta. Esso venne fissato di nuovo due volte, con dei risultati press'a poco eguali; cioè a dire determinando una leggiera incurvatura che disparve ben presto. Al quarto giorno, l'estremità della radichetta si curvò verso il frammento.

Da queste esperienze risulta chiaro che l'estremità della radichetta della fava è sensibile al contatto e che in conseguenza di essa la parte superiore è allontanata dall'oggetto toccato. Ma prima di dar un riassunto dei risultati, sarà bene di esporre brevemente qualche altra osservazione. Dei pezzi di vetro assai sottile, e dei piccoli quadrati di cartone ordinario furono, a scopo di esperienze preliminari, fissati sulle estremità radiculari di sette fave col mezzo di una densa acqua gommata. Sei di esse vennero chiaramente eccitate, ed in due casi le radichette si curvarono per formare delle anse complete. Un'altra radichetta era curvata a semicerchio nel breve spazio di tempo di 6 ore e 10 minuti. La settima, che non ne risentì alcun effetto, era probabilmente ammalata, poichè divenne bruna al mattino successivo; essa non costituiva dunque una reale eccezione.

Alcune di queste esperienze furono fatte al principio della primavera, durante il freddo, in un salone, e le altre in una serra, ma la temperatura non venne notata. Questi sei casi notevoli ci convinsero quasi della sensibilità dell'estremità radiculare; ma risolvemmo tuttavia di tentare un numero molto maggiore di esperienze. Avendo osservato che le radichette si sviluppano molto più rapidamente quando sono esposte ad una considerevole temperatura, e ritenendo che il calore accresca la loro sensibilità, collocammo dei vasi con delle fave in via di germogliazione nell'aria umida sopra un camino, dove durante la maggior parte della giornata queste erano esposte ad una temperatura che variava fra 69° e 72° F.; alcune peraltro vennero poste nella serra dove la temperatura era un poco più elevata. Esperimentammo così sopra altre due dozzine di fave, ed allorchè un quadrato di vetro o di cartone non agiva, veniva levato e sostituito immediatamente, operazione che abbiamo spesso ripetuta tre volte per la stessa radichetta. Si fecero così in complesso da 5 a 6 dozzine di esperienze. In questo numero considerevole di casi, constatammo sopra *una* radichetta soltanto, un'incurvatura moderatamente distinta, allontanantesi dalla perpendicolare e dall'oggetto attaccato. In cinque altri casi, ebbe luogo un'incurvatura assai leggiera e dubbiosa. Sorpresi di questo risultato, concludemmo che doveva essere stato commesso qualche errore inesplicabile nelle sei prime esperienze. Ma prima di abbandonare in modo definitivo questo soggetto, ci risolvemmo di fare una nuova prova, giacchè pensammo che la sensibilità è facilmente turbata dalle condizioni esterne, e che le radichette,

che crescono naturalmente al principio della primavera, non sono esposte ad una temperatura vicina ai 70° F. Facemmo dunque sviluppare le radichette di 12 fave ad una temperatura fra 55° a 60° F. In ciascuno di questi casi, il risultato (compreso nelle esperienze che abbiamo descritte) si fu che la radichetta nel corso di alcune poche ore era deflessa dall'oggetto attaccato. Tutte le esperienze che abbiamo riferite qui sopra ed alcune altre di cui parleremo quanto prima, vennero fatte in una stanza alla temperatura sopra indicata. Risulta dunque da questi fatti che una temperatura di 70° F., od un poco al disopra, distrugge la sensibilità delle radichette, sia direttamente, sia indirettamente, in causa dell'aumento anormale dell'accrescimento; questo fatto curioso spiega probabilmente perchè Sachs, che disse espressamente che le sue fave erano conservate ad un'alta temperatura, non potè constatare la sensibilità dell'estremità radiculare.

Ma altre cause ancora turbano questa sensibilità. Durante gli ultimi giorni del 1878, ed i primi giorni dell'anno successivo, si fecero degli sperimenti sopra diciotto radichette, alle quali si fissarono dei piccoli quadrati di cartone umido sia con della gomma lacca, sia con dell'acqua gommata. Esse furono durante il giorno conservate in una stanza alla solita temperatura, ma la notte era probabilmente troppo fredda, giacchè in quell'epoca sopravvenne un forte gelo. Le radichette, quantunque sembrassero sane, non si sviluppavano che lentamente. Ne risultò che 6 soltanto di queste 18 radichette vennero deflesse dai pezzi di cartone, e solo in misura assai debole e molto lentamente. Queste radichette presentavano dunque un contrasto evidente colle 44 che abbiamo descritte. Li 6 e 7 marzo, la temperatura dell'ambiente variando fra 12° e 15° C., furono messe in esperimento nella stessa guisa undici fave in via di germinazione; ciascuna delle radichette si deflesse dai cartoni, peraltro una fra esse non lo fece che leggermente. Alcuni orticultori credono che certe specie di semi non germoglino regolarmente nel cuore dell'inverno, benchè tenute ad una temperatura conveniente. Se vi è realmente un periodo favorevole per la germogliazione delle fave, il debole grado di sensibilità delle radichette che abbiamo constatato può essere dovuto al fatto che le esperienze hanno avuto luogo a mezzo inverno, e non soltanto al fatto che le notti erano troppo fredde. Finalmente quattro fave che, sotto l'influenza di una medesima causa interna, germogliarono più tardi che tutte le altre dello stesso gruppo, e le cui radichette, quantunque belle in apparenza, si svilupparono lentamente, furono messe in esperimento nella stessa maniera: dopo 24 ore esse erano appena deflesse dai pezzi di cartone. Possiamo quindi concludere, che una causa che rende più lento o più rapido l'accrescimento delle radichette, diminuisce o annulla la sensibilità delle loro estremità al contatto. Bisogna particolarmente osservare che, allorquando gli oggetti attaccati restavano senza azione, non vi era alcuna specie d'incurvamento all'infuori di quello di Sachs. Il nostro ragionamento perderebbe molto della sua forza se talvolta, sebbene di raro, le radichette si fossero curvate in una

direzione indipendente dagli oggetti fissati alla loro estremità. Nei paragrafi precedenti per altro abbiamo potuto vedere che l'estremità si curva qualche volta bruscamente, dopo uno spazio di tempo considerevole, verso il pezzo di cartone; ma questo è un fenomeno intieramente distinto da quello che studiamo qui, come diremo quanto prima.

Riassunto dei risultati ottenuti dalle esperienze precedenti sulle radichette di Vicia faba. — Dei piccoli quadrati della misura di 1/20 di pollice circa di carta di vetro dura quanto il cartone grosso (di mm. 0,15 a mm. 0,20 di spessore), qualche volta anche di cartone ordinario, oppure dei piccoli pezzi di vetro assai sottile, ecc., furono in tempi diversi fissati ad un lato delle estremità coniche di 55 radichette. Gli 11 casi ultimamente citati sono compresi in questo numero; ma non quelli delle esperienze preliminari. I diversi quadrati vennero generalmente fissati mediante la gomma lacca, ed in 19 casi con dell'acqua gommata densa. Allorchè impiegammo quest'ultimo metodo, i quadrati qualche volta si trovavano, come abbiamo già detto, separati dalla radichetta col mezzo di uno strato liquido denso e non furono più in contatto con essa; essi non poterono dunque determinare il di lei incurvamento; alcuni casi di questo genere non sono stati riportati. Ma tutte le volte che abbiamo usato la gomma lacca, se i quadrati non sono tosto caduti, abbiamo notato i risultati. Nei diversi casi, nei quali i quadrati vennero spostati in modo da trovarsi paralleli alla radichetta, o furono dal liquido separati dalla punta, o caddero presto, se ne sostituirono immediatamente degli altri, e questi casi (citati nella serie numerizzata) sono qui compresi.

Fra le 55 radichette messe in esperimento ad una temperatura conveniente, 52 subirono una deflessione generalmente notevole dalla perpendicolare e dal lato cui era fissato l'oggetto. Di tre eccezioni, una può essere spiegata dal fatto che la radichetta si ammalò al mattino successivo; quanto alla seconda, l'osservazione non durò che 11 ore e 30 m. Siccome in molti casi la punta radicolare in via di accrescimento continuava per qualche tempo ad incurvarsi, e così si scostava dall'oggetto fissato alla sua estremità, essa prendeva la forma di un uncino, di cui l'estremità era diretta verso lo zenit, o spesso di un anello, e qualche volta di una spira o curva elicoide. Bisogna notare che questi ultimi casi si presentavano con maggior frequenza quando i corpi erano fissati col mezzo dell'acqua gommata densa (che non si seccava mai completamente) che nel caso in cui si adoperava la gomma lacca. L'incurvatura si designava spesso assai bene in 7 ad 11 ore; in un caso, si formò un semicerchio in 6 ore e 10 m. a partire dal momento in cui l'oggetto era stato fissato. Ma se si vuol vedere il fenomeno manifestarsi sì nettamente come nei casi che abbiamo descritti, è indispensabile di disporre i pezzi di cartone, ecc. in modo che aderiscano fortemente ad uno dei lati dell'estremità conica; inoltre che le radichette sane sieno scelte e conservate ad una

temperatura nè troppo alta nè troppo bassa, e probabilmente ancora che le esperienze non abbiano luogo nel cuore dell'inverno.

In dieci casi, le radichette che avevano subito una deflessione da un quadrato di cartone o da un altro oggetto attaccato alla loro estremità, si raddrizzarono sopra una certa estensione, oppure anche intieramente, nello spazio di uno o due giorni dopo la fissazione dell'oggetto. Questo fatto sembrava presentarsi più specialmente allorchè l'incurvatura era debole; ma in un caso (n. 27) una radichetta, che in 9 ore si era allontanata dalla perpendicolare di circa 90°, si raddrizzò completamente 24 ore dopo la fissazione dell'oggetto. Nell'esperienza n. 26, la radichetta era quasi diritta dopo 48 ore. Noi attribuiamo questo raddrizzamento al fatto che le radichette si avvezzano ad una leggiera eccitazione, nello stesso modo che un viticcio od un picciuolo sensibile si assuefà a sopportare una leggerissima ansa di filo ed abbandona la curva benchè questo ostacolo non lo abbandoni mai; e infatti Sachs (1) ci fa conoscere che le radichette della fava, poste orizzontalmente nell'aria umida, dopo di essersi curvate verso il basso, sotto l'azione del geotropismo, si raddrizzano un poco in causa dell'accrescimento della loro faccia inferiore concava. La causa di questo fatto non è ben chiara; ma forse essa intervenne pure nei dieci casi che abbiamo citati. Vi ebbe ancora un altro movimento accidentale che non dobbiamo passare sotto silenzio: l'estremità della radichetta sopra una lunghezza di 2 a 3 mm. si trovò in sei casi, e dopo un intervallo di circa 24 ore o più, curvata verso il pezzo di cartone grosso fissato su di essa; questa direzione era dunque diametralmente opposta all'incurvatura che constatammo prima, e che si manifestava sopra tutta la parte in via di accrescimento, cioè a dire sopra una lunghezza di 7 ad 8 mm. Questo fatto si presentò allorchè la prima incurvatura era debole, e che l'estremità della radichetta era stata provveduta più di una volta di un oggetto eccitante. La fissazione di un pezzo di cartone col mezzo della gomma lacca, sopra un lato dell'estremità ancora tenera, può qualche volta meccanicamente impedirne l'accrescimento; oppure l'applicazione ripetuta di acqua gommata può ancora danneggiarla; in questo caso il ritardo dell'accrescimento su questa parte, unito alla continuità di questo accrescimento sulla parte opposta non danneggiata, rendeva conto dell'incurvatura in senso contrario dell'estremità radiculare.

Furono tentate diverse esperienze allo scopo di determinare, per quanto fosse possibile, la natura ed il grado dell'irritazione alla quale doveva essere sottomessa l'estremità, perchè la parte terminale, in via di accrescimento, si curvasse in senso contrario, come per evitare la causa dell'irritazione. Noi abbiamo visto dalle esperienze numerizzate, che un piccolo quadrato di carta da lettera assai sottile, incol-

(1) *Arbeiten des Bot. Inst. Würzburg*, Heft III, p. 456.

lato sull'estremità radiculare, determinava un incurvamento considerevole, quantunque lento. A giudicare dai diversi casi, nei quali diversi oggetti vennero fissati con dell'acqua gommata e poscia separati dall'estremità da uno strato liquido; come pure dagli sperimenti, nei quali erano state applicate sulla radichetta soltanto delle goccie di acqua gommata densa, questo liquido non provocò alcun incurvamento. Noi abbiamo anche visto dagli sperimenti numerizzati che dei piccoli frammenti di cannuolo di penna o di vetro assai sottile, attaccati con gomma lacca, non produssero che un leggiero grado di deflessione che forse è dovuto alla cera lacca stessa. Si bagnarono dei piccoli quadrati di foglia d'oro estremamente sottile e si fecero così aderire sopra un lato dell'estremità di due radichette: una di esse, dopo 24 ore, non aveva prodotto alcun effetto, l'altra non ne aveva prodotto dopo 8 ore, mentre in questo tempo sogliono agire i pezzi di cartone: tuttavia, dopo 24 ore, vi era una leggiera incurvatura.

Una goccia o piuttosto un pezzo ovale di gomma lacca disseccato, lungo mm. 1,01 e largo mm. 0,63, fece curvare la radichetta quasi ad angolo retto in 6 ore soltanto; ma dopo 23 ore essa si era quasi completamente raddrizzata. Fu raccolta sopra un pezzo di cartone una piccolissima quantità di gomma lacca che ci servì a toccare lateralmente le estremità di 9 radichette; due sole s'incurvarono leggermente dalla parte opposta a quella che portava il frammento di gomma lacca disseccato; esse si raddrizzarono più tardi. Questi frammenti furono levati; tutti e due assieme pesavano meno di 1/100 di grano, in guisa che un peso inferiore a milligr. 0,32 era sufficiente per provocare un movimento in due radichette sopra nove. Abbiamo dunque qui, probabilmente, determinato press'a poco il peso minimo capace di produrre un effetto.

Una setola moderatamente grossa (si trovò, secondo le nostre misurazioni, un poco appiattita, avendo un diametro di mm. 0,33 ed un altro di mm. 0,25) fu tagliata in pezzi lunghi 1/20 di pollice circa. Dopo di aver toccato questi frammenti con dell'acqua gommata densa, li collocammo sulle estremità di undici radichette. Tre di esse furono eccitate, poichè una si curvò in 8 ore 15 min. di circa 90° dalla perpendicolare; la seconda si trovò flessa della stessa quantità quando fu osservata dopo 9 ore; tuttavia 24 ore dopo la prima fissazione, l'incurvatura era diminuita fino a soli 19°; la terza non era che debolmente curvata dopo 9 ore, ed il frammento di setola non si trovava più allora in contatto coll'estremità: fu rimessa in posto, e dopo 15 altre ore, l'incurvatura si elevò a 26° dalla perpendicolare. Le altre otto radichette non erano punto eccitate dai frammenti di setola; ci sembra per conseguenza aver qui press'a poco determinata la grandezza minima di un oggetto capace di agire sulla radichetta della fava. È peraltro interessante il vedere come i pezzetti di setola, allorchè agiscono, sieno dotati di un'azione rapida ed efficace.

Penetrando nel suolo, l'estremità di una radichetta è evidentemente compressa

da tutte le parti; noi desiderammo quindi di sapere, se essa era capace di distinguere fra le sostanze più dure o più resistenti e le più tenere. Un quadrato di carta cospersa di sabbia, quasi altrettanto grosso del cartone, ed un quadrato di carta assai sottile (troppo fina perchè si potesse scrivervi sopra) di una superficie esattamente eguale (1/20 di poll. circa) furono fissati, mediante la gomma lacca, sui lati opposti della punta di dodici radichette sospese. In otto di questi dodici casi non si potè dubitare che la radichetta non fosse deflessa dalla parte dove era attaccata la carta consistente, e verso il lato opposto che portava la carta assai sottile. In certi casi questo effetto si produsse in 9 ore, ma in altri ne furono necessarie non meno di 24. Di più, talune delle quattro eccezioni possono appena considerarsi come insuccessi; in una di esse infatti, nella quale la radichetta era rimasta diritta, noi trovammo, levando le carte dall'estremità, che il quadrato più sottile aveva ricevuto uno strato di gomma lacca così grosso che era duro quasi al pari del cartone; nel secondo caso, la radichetta si era incurvata verso l'alto a semicerchio, ma la deflessione non si era prodotta direttamente dal lato che portava il cartone; ciò che fu spiegato dal fatto che i due quadrati si erano riuniti lateralmente ed avevano formato una specie di forchetta rigida, dalla quale la radichetta era deflessa. Nel terzo caso, il quadrato di cartone era stato, per inavvertenza, fissato di fronte, e quantunque l'incurvatura gli fosse opposta, essa può essere stata il risultato della curvatura di Sachs; soltanto nel quarto caso non si poteva vedere il motivo pel quale mancò affatto l'incurvatura nella radichetta. Queste esperienze sono sufficienti per provare che la punta della radichetta è dotata di un potere straordinario di scegliere fra il cartone debole e la carta assai sottile, e subisce una deflessione dalla parte che è premuta dalla sostanza più dura o più resistente.

Noi istituimmo poscia alcune esperienze eccitando la radichetta, ma senza lasciare alcun oggetto in contatto con quest'organo. Gli apici di nove radichette, sospese al disopra dell'acqua, furono strofinati ciascuno sei volte mediante uno spillo, e con una forza sufficiente da scuotere la fava tutta intiera; la temperatura era favorevole, cioè circa 17° C. In sette di questi casi non si ebbe alcun effetto; nell'ottavo, la radichetta si curvò leggermente nel senso opposto alla parte strofinata, e nel nono, essa si curvò pure leggermente ma verso la parte strofinata, queste due ultime incurvature erano probabilmente accidentali, poichè la radichetta non cresce sempre perfettamente rettilinea verso il basso. Le estremità di due altre radichette furono sfregate nella stessa maniera per 15 secondi con una piccola bacchetta rotonda, quelle di due altre ancora per 30 secondi, e quelle di altre due finalmente per 1 minuto, ma senza che si producesse alcun effetto. Possiamo dunque concludere da queste 15 esperienze, che le radichette sono insensibili ad un contatto temporaneo, ma vengono influenzate dall'azione prolungata di una pressione ancorchè assai debole.

Esperimentammo poi gli effetti prodotti dallo staccare col taglio dalla radichetta una lamina assai sottile, parallela ad uno dei lati pendenti dell'estremità. Pensammo che la ferita produrrebbe un'irritazione prolungata, capace di causare l'incurvatura verso la parte opposta, come avviene quando un oggetto è fissato alla radichetta. Furono tentati due saggi preliminari: dapprima vennero staccate delle lamine da radichette di 6 piantine sospese nell'aria umida, col mezzo delle forbici, che quantunque fine produssero probabilmente uno schiacciamento considerevole; questa operazione non fu seguita da alcun incurvamento. In secondo luogo, furono staccate col rasoio obliquamente delle sottili lamine dall'estremità di tre radichette sospese nella stessa maniera; e, dopo 44 ore, due di esse si trovarono completamente curvate nel senso opposto alla superficie tagliata; la terza, di cui tutta la punta era stata levata obliquamente per accidente, era curvata verso l'alto al disopra della fava, ma non determinammo con sicurezza se l'incurvatura era stata in principio diretta nel senso opposto alla superficie tagliata. Questi risultati ci indussero a proseguire l'esperienza, e 18 radichette che erano cresciute verticalmente in basso, nell'aria umida, furono trattate nello stesso modo, cioè a dire fu staccata una fetta col rasoio da un lato della loro punta conica. Alle estremità fu concesso di penetrare nell'acqua entro bicchieri, e si tennero ad una temperatura di 14° a 16° C. Le osservazioni ebbero luogo in momenti differenti. Tre radichette furono esaminate 12 ore dopo di essere state mutilate; esse erano tutte deflesse dalla superficie tagliata, la curvatura aumentò considerevolmente dopo 12 altre ore. Otto vennero esaminate dopo 19 ore, quattro dopo 22 ore e 30 minuti e tre dopo 25 ore. Il risultato definitivo si fu che delle 18 radichette così osservate 13 erano, dopo gl'intervalli di tempo da noi indicati, pienamente deflesse dalla superficie tagliata; un'altra lo divenne dopo un nuovo intervallo di 13 ore e 30 minuti; di guisa che su 18 radichette 4 soltanto non erano state eccitate. A questi 18 casi bisogna aggiungere i 3 che abbiamo già menzionati. Si può quindi concludere che l'asportazione col rasoio di una sottile lamina da un lato della radichetta produce una irritazione, ed una deflessione dal lato danneggiato, come lo farebbe un corpo straniero attaccato al medesimo punto.

Finalmente si impiegò un caustico secco (nitrato d'argento) per eccitare un lato della punta radicolare. Se uno dei lati di questa punta o della porzione terminale tutta intiera, in via di accrescimento, è, con un mezzo qualunque, unito o gravemente danneggiato, l'altro continua a crescere; ciò che fa curvare questa porzione verso quella danneggiata (1). Ma nelle esperienze seguenti noi abbiamo

(1) Ciesielski ha trovato che questo caso si presenta (*Untersuchungen über die Abwartskrümmung der Wurzel*, 1871, p. 28) dopo di aver bruciato, con un filo di platino riscaldato, una parte della radichetta. Noi intonacando longitudinalmente la metà della lunghezza totale di sette radichette sospese sull'acqua, con un grosso strato di grasso, sostanza assai nociva, od anche mortale per le parti in via di accrescimento, trovammo la stessa cosa; dopo 48 ore, infatti, cinque di queste radichette erano curvate verso la parte coperta di grasso; due rimasero dritte.

procurato, ed in generale con successo, d'irritare le estremità sopra un lato, senza danneggiarle gravemente. Noi vi pervenimmo asciugando l'estremità, il più possibile, con della carta bibula, che però rimase sempre un po' umida, e toccandola quindi una volta col caustico secco. Trattammo così 17 radichette e le sospendemmo all'aria umida al disopra dell'acqua ad una temperatura di 58° F. L'esame ebbe luogo dopo un intervallo di 21 a 24 ore. Due radichette ebbero le loro punte annerite uniformemente in tutta la loro estensione: esse non potevano in tale stato fornire alcuna indicazione, e le gettammo via. Ce ne rimasero 15. Fra queste ultime, 10 erano deflesse dal lato toccato, dove si trovava una piccola macchia bruna o nerastra. Cinque di queste radichette, di cui tre erano già leggermente curvate, essendo state disposte in modo che poterono penetrare nell'acqua dei vasi, furono esaminate di nuovo dopo un intervallo di 27 ore (ossia 48 ore dopo l'applicazione del caustico); quattro di esse erano divenute uncinate, poichè erano deflesse dal lato scolorato coll'apice rivolto verso lo zenit; la quinta rimase diritta ed inalterata. Così furono eccitate 11 radichette su 15. Ma l'incurvatura delle 4 che abbiamo ora descritte era sì evidente che bastava da sè sola per dimostrare che le radici della fava subiscono una deflessione dal lato della loro estremità che è stato leggermente irritato da un caustico.

Influenza di un eccitante sull'estremità radicolare della fava, confrontata con quella del geotropismo. — Noi sappiamo che allorquando un piccolo quadrato di cartone o qualsiasi altro corpo straniero sia fissato su un lato dell'estremità di una radichetta diretta verticalmente verso il basso, la parte in via di accrescimento si deflette da questo oggetto, e va sovente a descrivere un semicerchio; questo movimento ha luogo in opposizione col geotropismo, la cui forza è vinta dalla irritazione prodotta dall'oggetto attaccato. Delle radichette furono quindi distese orizzontalmente nell'aria umida e sottomesse alla temperatura che è loro conveniente per conservare la piena sensibilità; e si fissarono dei quadrati di cartone col mezzo della gomma lacca sulla faccia *inferiore* delle loro punte, in guisa tale che, se i cartoni agivano, la parte terminale in via di accrescimento doveva incurvarsi verso l'alto. In primo luogo si posero 8 fave in modo che le loro radichette corte e giovani, distese orizzontalmente, fossero nel medesimo tempo sotto l'influenza del geotropismo e dell'incurvatura di Sachs, se quest'ultima entrava in azione, e tutte 8 s'incurvarono verso il centro della terra in 20 ore, eccettuata una che venne influenzata solo leggermente. Due di esse, in capo a 5 ore, erano già un po' curvate verso il basso! Per conseguenza sembra che i pezzi di cartone, fissati sulla faccia inferiore delle loro punte, non producessero alcun effetto, e che il geotropismo superasse facilmente l'influenza dell'eccitazione così provocata. In secondo luogo, delle radichette abbastanza vecchie, lunghe 1 1/2 poll., e per conseguenza meno sensibili di quelle di un'età meno avanzata, furono collocate nello stesso modo e trattate nell'identica maniera. Da quanto abbiamo visto in molte

altre occasioni, si poteva concludere che se fossero state sospese verticalmente, esse si sarebbero curvate per allontanarsi dai cartoni; se al contrario fossero state distese orizzontalmente, senza cartoni attaccati, si sarebbero rapidamente inclinate verso il basso, sotto l'azione del geotropismo: il risultato della nostra esperienza si fu che due di queste radichette si trovavano ancora orizzontali dopo 23 ore; due non erano curvate che leggermente, e la quinta era inclinata fino a 40° sotto all'orizzonte. In terzo luogo, 5 fave furono fissate in una posizione tale che le loro superficie piatte fossero parallele al turacciolo, affinchè l'incurvatura di Sachs non potesse agire sulle radichette distese orizzontalmente, nè per curvarle verso l'alto, nè per inclinarle verso il basso; si fissarono, come prima, dei piccoli quadrati di cartone sulla faccia inferiore delle loro punte, e ne risultò che le 5 radichette si curvarono verso il basso, cioè a dire verso il centro della terra, dopo 8 ore e 20 m. Nello stesso tempo ed in vasi eguali furono disposte 3 radichette di eguale età, munite di cartoni da un lato e sospese verticalmente. Dopo 8 ore e 20 m. queste radichette erano considerevolmente deflesse dal lato che sosteneva il cartone, erano per conseguenza incurvate verso l'alto in opposizione al geotropismo. In questi ultimi casi l'eccitazione provocata dai quadrati era più forte del geotropismo, mentre nei primi, quando le radichette erano distese orizzontalmente, il geotropismo era stato più forte dell'irritazione. Così negli stessi vasi alcune delle radichette si curvarono verso l'alto ed altre, nello stesso tempo, verso il basso; questi movimenti in senso contrario dipesero da ciò che le radichette, al momento in cui esse ricevevano i quadrati di cartone, si trovavano sia dirette verticalmente verso il basso, sia distese orizzontalmente.

Questa differenza nel loro modo di comportarsi pareva in principio inesplicabile; si può peraltro, noi crediamo, rendersene conto facilmente per la differenza che esiste fra i poteri iniziali delle due forze, nelle circostanze sopra indicate, combinati col principio ben noto della forza acquistata sotto l'influenza di uno stimolante. Quando una radichetta giovane e sensibile si trova distesa orizzontalmente, avendo un quadrato di cartone fissato sopra il lato inferiore, il geotropismo agendo sopra di essa ad angolo retto, è, come abbiamo visto, molto più energico che l'eccitazione prodotta dal quadrato di cartone; di più la forza geotropica sarà aumentata ad ogni periodo successivo, in causa della sua azione anteriore o della forza acquistata. D'altra parte se un quadrato di cartone è fissato sopra una radichetta diretta perpendicolarmente verso il basso e l'estremità comincia ad incurvarsi verso l'alto, tale movimento avrà per antagonista il geotropismo; ma quest'ultimo non agisce che secondo un angolo assai obliquo, e l'eccitazione prodotta dal cartone sarà eziandio aumentata mercè la forza acquistata. Possiamo quindi concludere che il potere iniziale di un eccitante sull'estremità della radichetta della fava è minore di quello del geotropismo, allorchè quest'ultimo agisce ad angolo retto; ma è più forte, quando il geotropismo agisce obliquamente sulla radichetta.

Sensibilità degli apici delle radici secondarie della fava al contatto. — Tutte le osservazioni che precedono si riferiscono alla radice principale o primaria. Alcune fave, sospese ai turaccioli e le cui radichette erano immerse nell'acqua, avendo sviluppato delle radici secondarie o laterali, furono poste nell'aria assai umida, ad una temperatura abbastanza bassa per lo sviluppo dell'intera loro sensibilità. Queste radici secondarie si dirigevano, come d'ordinario, quasi orizzontalmente, e non avevano che una leggiera incurvatura verso il basso; esse conservarono per parecchi giorni tale posizione. Sachs ha dimostrato (1) che queste radici secondarie subiscono in una maniera particolare l'azione del geotropismo, e che, se si spostano, riprendono la loro primitiva posizione sub-orizzontale, senza inclinarsi verticalmente verso il basso, come la radice primaria. Dei piccoli quadrati umidi di carta grossa con arena furono fissati col mezzo della gomma lacca (e qualche volta dell'acqua gommata densa) sulle estremità di 39 radici secondarie di età differenti, scelte generalmente fra le superiori. La maggior parte dei quadrati era fissata sulla faccia inferiore dell'estremità, di guisa che, se i quadrati agivano, la radice doveva curvarsi verso l'alto; alcuni peraltro si fissarono lateralmente ed altri sulla faccia superiore. In causa dell'estrema sottigliezza delle radici era assai difficile di attaccare i quadrati sulla punta. Sia per questa circostanza o sotto l'influenza di qualche altra, certo è che nove soltanto dei quadrati di carta provocarono una qualche incurvatura. Quest'ultima si elevava, in certi casi, fino a 45° circa al disopra dell'orizzonte, in altri a 90°; l'estremità allora si dirigeva verso lo zenit. In un caso osservammo una incurvatura distinta verso l'alto in 8 ore e 15 m., ma di solito ne occorrevano non meno di 24. Quantunque delle 39 radichette 9 soltanto sieno state influenzate, l'incurvatura era peraltro sì netta in molte di esse, che non si poteva dubitare intorno alla sensibilità dell'estremità radicolare ad un leggero contatto, e della deflessione della parte in via di accrescimento dall'oggetto che la toccava. È possibile che taluna radice secondaria sia più sensibile che le altre, avendo il Sachs dimostrato (2) che ogni singola radice secondaria possiede la sua costituzione particolare.

Sensibilità al contatto della radichetta primaria un poco al disopra della sua estremità, nella fava (Vicia faba) e nel pisello (Pisum sativum). — La sensibilità della punta radicolare, nei casi che abbiamo descritti, e l'incurvamento susseguente della parte superiore per allontanarsi dall'oggetto che la tocca o da ogni altra sorgente d'irritazione, sono tanto più notevoli dopo che Sachs (3) ha dimostrato che una pressione esercitata alcuni millimetri al disopra dell'estremità, determina la curvatura della radichetta verso l'oggetto che la tocca, come

(1) *Arbeiten Bot. Inst. Würzburg*, Heft IV, 1874, p. 605, 617.
(2) Loc. cit., p. 620.
(3) Loc. cit., Heft III, 1873, p. 437.

lo farebbe un viticcio. Potemmo constatare questo modo d'incurvatura, fissando degli spilli in una posizione tale ch'essi esercitavano una pressione contro le radichette delle fave sospese nell'aria umida; peraltro non producemmo alcun effetto fregando per alcuni pochi minuti la radichetta col mezzo di un bastoncino o di uno spillo. Haberlandt (1) fa osservare che le radichette, scavandosi un passaggio attraverso agli involucri seminali, fregano spesso e premono contro i bordi dell'apertura ed in conseguenza si torcono intorno ad essi. Siccome i piccoli quadrati di carta consistente, fissati con della gomma lacca sulle estremità, erano più che sufficienti per provocare una deflessione, così collocammo degli oggetti simili (di circa 1/20 di poll. in quadrato od anche un po' più piccoli) e nella stessa maniera, sopra un lato della radichetta, a 3 o 4 mm. al disopra della punta. Nella nostra prima esperienza, che era fatta su 15 radichette, non ottenemmo alcun risultato. In una seconda, sullo stesso numero, 3 si curvarono entro 24 ore bruscamente, ma una soltanto fortemente verso il cartone. Da questi casi noi possiamo dedurre che la pressione di un pezzo di cartone fissato mediante la gomma lacca su un lato al disopra dell'estremità è un eccitante appena sufficiente, che può peraltro, qualche volta, condurre la radichetta ad incurvarsi verso questa parte, come farebbe un viticcio.

Provammo allora di toccare per alcuni secondi diverse radichette ad una distanza di 4 mm. dalla punta colla pietra infernale (nitrato d'argento). Quantunque le radichette fossero asciutte ed il caustico lo fosse del pari, la parte toccata ne sofferse tuttavia e le rimase un leggiero segno. In questi casi, la parte opposta continuando a crescere, la radichetta s'incurva verso la porzione cauterizzata. Quando peraltro un punto, a 4 mm. dall'estremità, è toccato col caustico secco, non veniva che leggermente scolorato e non ne risultava alcun danno permanente. È ciò che mostravano diverse radici che, così trattate, si raddrizzavano dopo due o tre giorni: esse peraltro si erano in principio inclinate *verso* la parte toccata, come l'avrebbero fatto se fossero state sottomesse ad una pressione leggiera e continuata. Questi casi meritano di essere notati, poichè allorquando un lato della punta veniva irritato dal caustico, la radichetta, come noi abbiamo visto, si curvava nel senso opposto, cioè a dire come per allontanarsi dalla parte toccata.

La radichetta del pisello comune è, in un punto situato un poco al disopra dell'estremità, alquanto più sensibile ad una pressione continua che quella della fava, e s'inclina verso la parte toccata (2). Facemmo le nostre esperienze sopra una varietà (*Yorkshire Hero*) che è provveduta di una epidermide assai dura e molto increspata, troppo larga per i cotiledoni che racchiude, di guisa che su 30 piselli che facemmo ammollire per 24 ore e che ponemmo poi a germogliare sulla

(1) *Die Schutzeinrichtungen der Keimpflanze*, 1877, p. 25.
(2) SACHS, loc. cit., Heft III, p. 438.

sabbia umida, le radichette di tre semi non poterono svincolarsi e si piegarono nell'involucro in modo singolare. Quattro altre radichette si curvarono bruscamente intorno ai bordi dell'involucro rotto, contro ai quali erano premute.

Tali anomalie non si produrrebbero probabilmente mai, od almeno assai raramente, nelle forme crescenti allo stato di natura e sottomesse all'influenza dell'elezione naturale. Una di queste quattro radichette, piegandosi indietro, venne in contatto collo spillo che fissava il pisello sul turacciolo; ed essa s'incurvò allora ad angolo retto intorno allo spillo in una direzione affatto differente da quella della prima curvatura dovuta al contatto dell'involucro rotto, portandoci così un bellissimo esempio della sensibilità, simile a quella dei viticci, che presenta la radichetta un poco al disopra del suo apice.

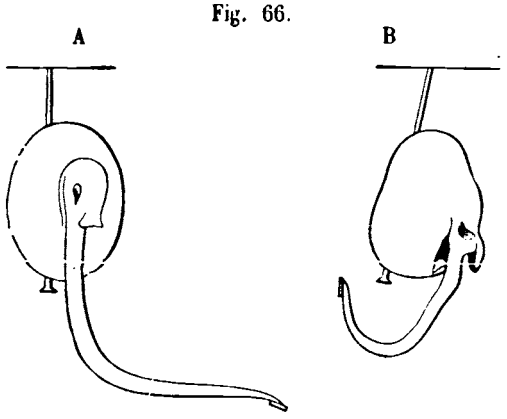
Furono in seguito fissati dei piccoli quadrati di cartone consistente sopra delle radichette di pisello, a 4 mm. dall'estremità, e nella stessa maniera tenuta per la fava. Di ventotto radichette sospese verticalmente al disopra dell'acqua, così trattate in diverse occasioni, 13 si curvarono verso i cartoni. Il maggior grado di curvatura si elevava a 62° dalla perpendicolare, ma un angolo di tale ampiezza non si osservò che una sola volta. In un'occasione si poteva scorgere una leggiera curvatura dopo 5 ore e 45 m., ed essa era generalmente ben marcata dopo 14 ore. Non si può dunque dubitare che, nel pisello, l'eccitazione prodotta da un pezzo di cartone attaccato sopra un lato della radichetta, al disopra della punta, sia sufficiente per determinare una incurvatura.

Furono attaccati dei quadrati di cartone sopra un lato delle estremità di 11 radichette, negli stessi vasi dove erano state fatte le esperienze precedenti; 5 radichette si curvarono in modo manifesto, ed una leggermente, nel senso opposto; altri casi analoghi saranno descritti quanto prima. Abbiamo qui fatto menzione di questo fenomeno, perchè era uno spettacolo convincente e capace di dimostrare la differenza di sensibilità della radichetta nelle sue diverse parti, quello cioè di vedere nello stesso vaso una serie di radichette curvate nel senso opposto ai cartoni fissati alla loro estremità, ed un'altra, incurvata verso i cartoni attaccati un poco più in alto. Di più, il modo d'incurvatura differisce nei due casi. I quadrati attaccati al disopra dell'estremità fanno curvare bruscamente la radichetta, rimanendo diritte le parti situate al disopra ed al disotto; dunque l'effetto qui non è trasmesso o non lo è che assai poco. D'altra parte, i quadrati attaccati all'estremità influenzano la radichetta sopra una lunghezza di circa 4 od anche 8 mm. e producono nella maggior parte dei casi una incurvatura simmetrica; vi è dunque in tal caso qualche influenza trasmessa lungo la radichetta dall'estremità fino a quella distanza.

Pisum sativum (var. *Yorkshire Hero*): *Sensibilità della sua estremità radicolare.* — Dei piccoli quadrati della medesima carta consistente furono fissati (il 24 aprile) col mezzo della gomma lacca sopra un lato dell'estremità di 10 radi-

chette sospese verticalmente; la temperatura dell'acqua sul fondo dei vasi era di 60° a 61° F. La maggior parte di queste radichette furono influenzate in 8 ore e 30 m.; otto di esse si trovarono, in 24 ore, notevolmente deviate dalla perpendicolare, mentre le altre due lo erano poco, e tutte nel senso opposto al lato che portava attaccati i quadrati. Tutte adunque ne subirono l'azione, ma basterà qui descrivere i due casi più manifesti. In uno la porzione terminale della radichetta era curvata ad angolo retto (A fig. 66), dopo 24 ore; nell'altro (B), essa si era nello stesso tempo curvata ad uncino, e la sua estremità si dirigeva verso lo zenit. I due pezzi di cartone qui adoperati avevano 0,07 poll. di lunghezza sopra 0,04 poll. di larghezza. Due altre radichette, che dopo 8 ore e 30 m. erano moderatamente deflesse, si raddrizzarono dopo 24 ore. Fu fatta un'altra esperienza nelle stesse condizioni sopra 15 radichette; ma in causa di circostanze che non è necessario di esporre, esse non furono esaminate che una volta e rapidamente, dopo il breve intervallo di 5 ore e 30 m. Troviamo nelle nostre note « quasi tutte sono leggermente deflesse dalla perpendicolare e dai cartoni; la deflessione raggiunse, in uno o due casi, un angolo quasi retto ». Queste due serie di casi, soprattutto la prima, provano che l'estremità radicolare è sensibile ad un leggiero contatto, e che la parte superiore viene deflessa dall'oggetto che la tocca. Tuttavia, al 1° ed al 4 giugno furono esperimentate nella stessa maniera otto altre radichette, ad una temperatura di 58° a 60° F.; una soltanto era manifestamente deflessa dal cartone, quattro lo erano leggermente, due in modo dubbioso ed una non lo era affatto. L'ampiezza dell'incurvatura era piccola in modo inesplicabile; peraltro tutte le radichette erano deflesse dai cartoni.

Fig. 66.



Pisum sativum: incurvatura prodotta in 24 ore nell'accrescimento delle radichette dirette verso il basso da due piccoli quadrati di cartone fissati mediante la gomma lacca sopra un lato dell'estremità radicolare: A, curvata ad angolo retto; B, curvata ad uncino.

Facemmo poscia delle esperienze intorno agli effetti di temperature assai diverse sulla sensibilità di queste radichette, col mezzo di quadrati di cartone fissati alle loro estremità, e dapprima sopra 13 piselli, la maggior parte dei quali portava delle radichette giovani ed assai corte; essi furono collocati in una scatola circondata di ghiaccio, nella quale in tre giorni la temperatura si elevò da 40° a 47° F. Quivi le radichette si svilupparono lentamente, ma 10, sopra 13, subirono, nel corso di tre giorni, una leggiera deflessione dai cartoni; le altre tre non risen-

tirono alcun effetto. Questa temperatura era dunque troppo bassa per permettere un alto grado di sensibilità od un movimento manifesto. Dei vasi portanti 13 altre radichette furono allora collocati sopra un camino, dove erano esposti ad una temperatura di 68° a 72° F., e 24 ore dopo, 11 radichette erano notevolmente deflesse dai cartoni, 2 lo erano leggermente e 7 non lo erano affatto. Tale temperatura era dunque un po' troppo elevata. Finalmente 12 radichette furono sottomesse ad una temperatura di 72° a 85° F., e nessuna di esse fu punto eccitata dai cartoni. Le diverse esperienze precedenti, soprattutto la prima, mostrano che la temperatura più favorevole alla sensibilità della radichetta del pisello è di circa 60° F.

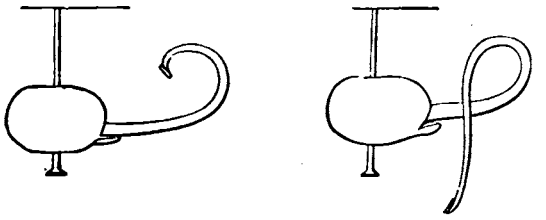
Le estremità di 6 radichette dirette verticalmente in basso furono toccate una volta col caustico secco, nel modo da noi descritto per la *Vicia faba*. Dopo 24 ore, 4 di esse erano curvate nel senso opposto alla parte che portava una piccola macchia nera, e l'incurvamento divenne, in un caso, più forte dopo 38 ore, ed in un altro caso, dopo 48 ore, fino a che la parte terminale era diretta quasi orizzontalmente. Le altre due radichette non risentirono alcun effetto.

Quando le radichette della fava erano *distese orizzontalmente* nell'aria umida, il geotropismo superava sempre gli effetti dell'eccitazione prodotta dai quadrati di cartone attaccati alle faccie inferiori delle loro estremità. Facemmo un'esperienza simile sopra 13 radichette di pisello, i quadrati furono attaccati col mezzo della gomma lacca e la temperatura variava fra 58° e 60° F. Il risultato fu qui qualche poco differente da quello ottenuto dalla fava, perchè queste radichette o subiscono meno fortemente l'azione del geotropismo, o, ciò che è più probabile, sono più sensibili al contatto. Dopo un certo tempo il geotropismo aveva sempre il predominio, ma la sua azione era sovente scemata, ed in tre casi era evidente una lotta delle più curiose fra il geotropismo e l'eccitazione determinata dalla presenza dei cartoni. Quattro delle 13 radichette erano un poco curvate in basso in capo a 6 od 8 ore (sempre a partire dal momento in cui furono attaccati i cartoni), e dopo 23 ore tre di esse erano dirette verticalmente in basso, mentre la quarta formava un angolo di 45° sotto all'orizzonte. Queste quattro radichette non sembravano dunque essere state affatto impressionate dai quadrati di cartone. Quattro altre resistettero durante le 6 od 8 prime ore all'azione del geotropismo, ma dopo 23 ore erano fortemente curvate in basso. Due altre rimasero quasi orizzontali per 23 ore, ma subirono più tardi l'azione del geotropismo. Per conseguenza, in questi sei ultimi casi, l'azione del geotropismo fu fortemente ritardata. La undicesima radichetta si era leggermente curvata in basso dopo 8 ore, ma quando la osservammo di nuovo dopo 23 ore, la parte terminale era curvata in alto; se l'avessimo osservata più lungamente, avremmo senza alcun dubbio trovata l'estremità curvata di nuovo in basso, ed essa avrebbe formato un'ansa come nel caso seguente. La dodicesima radichetta dopo 6 ore era leggermente curvata in basso; ma allorchè l'osservammo di nuovo dopo 21 ora, tale incurvatura era scomparsa,

e l'estremità era diretta verso l'alto; dopo 30 ore, la radichetta formava, come si può vedere in A (fig. 67), un uncino che dopo 45 ore si trasformava in un'ansa (B). La tredicesima radichetta, dopo 6 ore, era leggermente curvata in basso, ma in 21 ore si era considerevolmente curvata in alto, poscia di nuovo verso il basso formando un angolo di 45° sotto all'orizzonte; più tardi era divenuta perpendicolare. In questi tre ultimi casi, la gravità e l'eccitazione determinata dai quadrati di cartone avevano alternativamente il predominio in modo assai notevole. Da ultimo era sempre vittorioso il geotropismo.

Le esperienze della stessa natura non furono sempre coronate dal successo ottenuto nei casi sopra citati. È così che 6 radichette distese orizzontalmente, e munite di quadrati di cartone, essendo state sottomesse l'8 giugno ad una temperatura conveniente, non furono dopo 7 ore e 30 m. nè curvate verso l'alto, nè distintamente geotropiche; mentre sopra 6 radichette non munite di cartone, che servivano per confronto, 3 divennero in questo stesso spazio di tempo leggermente, e 3 quasi rettangolarmente geotropiche, ma dopo 23 ore le une e le altre erano egualmente geotropiche. Il 10 luglio fu fatta un'altra esperienza con 6 radichette distese orizzontalmente e provvedute di quadrati attaccati nella stessa maniera sotto alle loro estremità. Dopo 7 ore e 30 m., 4 di esse erano leggermente geotropiche, una rimase orizzontale, una si curvò verso l'alto, in opposizione colla gravità o geotropismo. Quest'ultima radichetta, dopo 48 ore, formava un'ansa come in B (fig. 67).

Fig. 67



A B

Pisum sativum: radichetta distesa orizzontalmente nell'aria umida: un piccolo quadrato di cartone, fissato sulla faccia inferiore della sua estremità, la fa curvare verso l'alto, lottando così contro il geotropismo. L'incurvatura della radichetta dopo 21 ora, è indicata in A, e quella della stessa radichetta, dopo 45 ore, in B; essa formava allora un'ansa.

Facemmo allora un'esperienza analoga, ma in luogo di attaccare dei quadrati di cartone sulle faccie inferiori delle estremità radiculari, cauterizzammo questi organi con un caustico secco. I dettagli di questa esperienza saranno dati nel capitolo relativo al geotropismo; pel momento basterà dire che 10 piselli, di cui le radichette erano distese orizzontalmente e non cauterizzate, furono posti sopra e dentro della torba umida e friabile. Queste radichette di confronto, come 10 altre che erano state toccate col caustico alla parte *superiore* divennero fortemente geotropiche dopo 24 ore. Nove radichette, poste nella stessa maniera, furono toccate col caustico secco alla parte *inferiore* della loro estremità; dopo 24 ore, 3 di esse erano leggermente geotropiche, 2 rimasero orizzontali e 4 erano incurvate

verso l'alto in opposizione col geotropismo. Questa incurvatura in alto era manifestamente visibile 8 ore e 45 m. dopochè la parte inferiore delle estremità era stata cauterizzata.

Furono fissati, col mezzo della gomma lacca, in due occasioni, dei piccoli quadrati di cartone sulle estremità di 22 radici *secondarie* giovani ed ancora brevi, che erano state emesse da una radichetta primaria durante il suo sviluppo nell'acqua, ma che al momento dell'esperienza erano sospese nell'aria umida. Vi fu certamente una grande difficoltà nell'attaccare i quadrati sopra degli oggetti così puntati come lo erano queste radici; di più la temperatura era troppo elevata, poichè nel primo caso oscillava fra 72° e 77° F., e nel secondo raggiunse generalmente 78° F., circostanza che diminuì senza dubbio di molto la sensibilità degli apici. Dopo un intervallo di 8 ore e 30 m., 6 delle 22 radici erano curvate verso l'alto (una assai fortemente) in opposizione col geotropismo; due si curvarono lateralmente, e le 14 altre non erano state impressionate.

Avuto riguardo alle circostanze sfavorevoli e tenendo conto del caso della fava, risultava abbastanza chiaro che le estremità delle radici secondarie erano sensibili ad un leggiero contatto.

Phaseolus multiflorus : Sensibilità della sua estremità radicolare. — Cinquantanove radichette furono munite di quadrati di diverse grandezze dello stesso cartoncino o di pezzi di vetro sottile o pezzetti angolosi di scoria; questi differenti oggetti erano fissati mediante la gomma lacca sopra un lato della punta. Collocammo ancora sopra alcune di queste radichette delle goccie abbastanza grosse di gomma lacca disciolta che lasciammo essiccare finchè formavano delle sferette dure. Questi esemplari restarono esposti a delle temperature che variavano fra 60° e 72° F., quest'ultima era la temperatura predominante. Ma sopra questo numero considerevole di soggetti esperimentati, 5 radichette soltanto si curvarono evidentemente; 8 altre lo erano leggermente od anche in modo dubbioso, ma sempre nel senso opposto agli oggetti attaccati; gli altri 46 non erano stati influenzati affatto. È dunque evidente che le estremità radiculari di questo *Phaseolus* sono molto meno sensibili al contatto che quelle della fava o del pisello. Pensammo ch'esse potevano essere influenzate da una pressione più forte, ma dopo parecchie esperienze non riuscimmo a trovare alcun metodo che permettesse di pesare sopra un lato della punta più fortemente che sull'altro, senza produrre nello stesso tempo una resistenza meccanica all'accrescimento della radichetta. Provammo allora altri eccitanti.

Le estremità di 13 radichette, asciugate con della carta bibula, furono toccate, o meglio leggermente fregate, tre volte sopra un lato con nitrato d'argento secco. Ripetemmo tre volte l'irritazione, perchè supponevamo, secondo le esperienze precedenti, che le estremità non fossero sensibili in alto grado. Dopo 24 ore le trovammo fortemente annerite; 6 di esse lo erano in modo uniforme tutto all'in-

torno, fatto che non permetteva di aspettarsi alcuna incurvatura verso un lato qualsiasi; 6 portavano una faccia più nera, sopra una lunghezza di circa 1/10 di pollice, e questo pezzo si curvò ad angolo retto verso la superficie annerita, e l'incurvatura si crebbe in seguito, in molti casi, fino a formare dei piccoli cirri. Era manifesto che il lato sì fortemente annerito era danneggiato e non poteva crescere, mentre l'accrescimento continuava sulla faccia opposta. Una sola di queste tredici radichette fu deflessa dal lato annerito, e questa incurvatura si estese fino ad una certa distanza al disopra dell'estremità.

Ammaestrati da questa esperienza, toccammo una sola volta le estremità di 6 radichette quasi asciutte sopra un lato col caustico secco, e dopo un intervallo di 10 m. le lasciammo entrare nell'acqua mantenuta ad una temperatura di 65° a 67° F. Ne risultò che dopo un intervallo di 8 ore, si poteva distinguere sopra un lato dell'estremità di queste cinque radichette un piccolo punto nerastro, e tutte cinque erano deflesse verso la parte opposta, — in due casi ad un angolo di 45° — in due altri quasi ad angolo retto, — nel quinto caso finalmente, più che ad angolo retto, di guisa che l'apice formava quasi un uncino; in quest'ultimo caso la macchia nerastra era un po' più grande che negli altri. Ventiquattr'ore dopo l'applicazione del caustico, l'incurvatura di tre di queste radichette (fra le quali quella ad uncino) era diminuita; nella quarta rimase stazionaria, e nell'ultima aveva aumentato, poichè l'estremità formava allora un uncino. Noi abbiamo detto che dopo 8 ore in cinque delle sei radichette si potevano vedere dei punti nerastri sopra un lato della punta; nella sesta questo punto era estremamente ridotto, si trovava sull'estremità stessa, ed era dunque centrale: questa sola radichetta non mostrò nessuna incurvatura. La toccammo quindi di nuovo sopra un lato col caustico secco, e dopo 15 ore e 30 m. era deflessa dalla perpendicolare e dal lato annerito ad un angolo di 34°, che dopo nove altre ore raggiunse 54°.

È dunque certo che l'estremità radicolare di questo *Phaseolus* è estremamente sensibile all'azione di un caustico, più che la radichetta della fava; benchè quest'ultima lo sia assai più per la pressione. Nelle esperienze che abbiamo testè citate, ebbe luogo una deflessione da quel lato dell'apice che era stato leggermente cauterizzato e si estese lungo la radichetta sopra una lunghezza di circa 10 mm.; mentre nella prima serie di esperienze, nelle quali le estremità di un certo numero di radichette erano state fortemente annerite e lese da un lato, in modo che il loro accrescimento venne arrestato, un pezzo di meno di 3 mm. di lunghezza subì una deflessione verso il lato molto annerito, come conseguenza del continuato accrescimento del lato opposto. Questa differenza nei risultati è interessante, poichè ci mostra che un eccitante troppo violento non produce alcun effetto trasmissibile e non determina l'incurvatura della parte attigua superiore in via di accrescimento.

Le drosere ci forniscono dei casi analoghi, poichè una soluzione concentrata di carbonato di ammoniaca, assorbita dalle ghiandole, ad un calore troppo elevato,

subito repentinamente da questi organi, o il loro schiacciamento, non fa incurvare la parte basilare dei tentacoli; mentre questo effetto è sempre ottenuto da una soluzione diluita del predetto carbonato, da un calore moderato o da una leggiera pressione. Simili risultati si osservarono sulla *Dionæa* e sulla *Pinguicula.*

Cercammo in seguito gli effetti prodotti dall'ablazione, col mezzo di un rasoio, di una fetta sottile da un lato dell'estremità radicolare e conica di 14 radichette giovani ed ancora brevi. Sei di esse furono, dopo l'operazione, sospese nell'aria umida; le estremità di otto altre, sospese nella stessa maniera, lasciammo penetrare nell'acqua mantenuta ad una temperatura di circa 65° F. Notammo, in ogni caso, da quale lato della radichetta era stata fatta l'ablazione, e al successivo esame notammo la direzione della deflessione prima di consultare le nostre note. Delle sei radichette poste nell'aria umida, tre, dopo un intervallo di 10 ore e 15 m., avevano le loro estremità deflesse dalla superficie danneggiata; le tre altre non erano state impressionate e restarono diritte; nondimeno una di queste, dopo 13 altre ore, si deflesse leggermente dal lato mutilato. Delle otto radichette, le cui estremità erano immerse nell'acqua, sette, dopo 10 ore e 15 m., erano intieramente deflesse dalla superficie danneggiata, e quanto all'ottava, che era rimasta completamente diritta, le avevamo levato a caso una fetta troppo grossa, di guisa che non si avrebbe qui una vera eccezione al risultato generale. Allorchè osservammo di nuovo le sette radichette, 23 ore dopo l'operazione, due erano torte, quattro erano deflesse dalla perpendicolare e dalla superficie lesa di un angolo di 70°, ed una era deflessa di circa 90°, in modo che era proiettata quasi orizzontalmente; ma la sua estremità cominciava ad inclinarsi in basso sotto l'azione del geotropismo. È dunque manifesto che una fetta sottile, levata da un lato dell'estremità conica, determina, in seguito alla trasmissione degli effetti dell'eccitamento, la deflessione della parte superiore crescente della radichetta di questo *Phaseolus* dal lato danneggiato.

Tropæolum majus: Sensibilità della sua estremità radicolare al contatto. — Furono attaccati dei piccoli quadrati di cartone, col mezzo della gomma lacca, sopra un lato delle estremità di 19 radichette, di cui alcune furono esposte ad una temperatura di 78° F., e le altre ad una temperatura molto meno elevata. Tre soltanto vennero deflesse in modo manifesto dai quadrati di cartone, cinque leggermente, quattro in modo incerto e sette non si curvarono affatto. Questi semi erano vecchi, quindi ce ne procurammo degli altri e potemmo ottenere dei risultati ben differenti. Ventitre furono trattati nella stessa guisa; cinque quadrati di cartone soltanto non produssero alcun effetto, ma tre di questi ultimi casi non costituivano delle vere eccezioni, poichè in due, essendo i quadrati scivolati, riuscivano paralleli all'estremità, e nel terzo, la gomma lacca, in quantità eccedente, si era distesa intorno alla radichetta. Una radichetta non era deflessa che leggermente dalla perpendicolare e dal cartone, mentre diecisette erano chiaramente

deflesse. In diversi di questi ultimi casi, gli angoli formati colla perpendicolare variavano fra 40° e 65°; due volte si elevarono in 15 o 16 ore a 90° circa. In un caso, si formò un'ansa quasi completa in 16 ore. Non si può dunque dubitare che l'estremità della radichetta sia estremamente sensibile ad un leggiero contatto, e che la parte superiore di quest'organo subisca una deflessione dall'oggetto che la tocca.

Gossypium herbaceum: Sensibilità della sua estremità radicolare. — Esperimentammo nella stessa guisa sopra delle radichette di questa pianta; ma esse si mostrarono poco adatte allo scopo che ci eravamo proposti, perchè non tardarono ad alterarsi dopo la loro sospensione nell'aria umida. Sopra 38 radichette sottomesse in questo stato a delle temperature che variavano fra 66° e 69° F. e munite alla loro estremità di quadrati di cartone, 9 vennero deflesse manifestamente dalla perpendicolare e dai cartoni, e 7 leggermente od anche in modo incerto; 22 non furono impressionate affatto. Ritenendo che la temperatura non fosse abbastanza elevata, sottomettemmo ad un calore di 74° a 79° F. 19 radichette munite di quadrati di cartone e sempre sospese nell'aria umida; ma nemmeno una ne risentì l'effetto, ed esse ben presto ammalarono. Finalmente furono sospese 19 radichette nell'acqua ad una temperatura di 70° a 75° F., munite di pezzi di vetro o di quadrati di cartone fissati alle loro estremità col balsamo del Canadà, o asfalto, sostanza che nell'acqua aderisce alquanto meglio della gomma lacca. Le radichette non rimasero lungo tempo in istato sano. Il risultato dell'esperienza si fu che 6 vennero deflesse manifestamente, e 2 in modo incerto, dagli oggetti attaccati e dalla verticale; 11 non furono impressionate. Non è dunque possibile trarne delle conclusioni certe; tuttavia, avuto riguardo a due esperienze fatte ad una temperatura moderata, è probabile che le radichette sieno sensibili al contatto, e che lo sarebbero maggiormente in condizioni favorevoli.

Quindici radichette, che avevano germogliato nella torba friabile, furono sospese verticalmente al disopra dell'acqua. Sette servivano di controllo, e rimasero diritte per 24 ore. Le estremità di otto altre radichette furono toccate su un lato col caustico secco. Dopo 5 ore e 10 m. soltanto, cinque di esse si erano leggermente allontanate dalla perpendicolare e dal lato che portava la piccola macchia nera. Dopo 8 ore e 40 m., quattro di queste cinque radichette formavano colla perpendicolare degli angoli di 15° a 65°. D'altra parte, una di quelle che, dopo 5 ore e 10 m., si era leggermente curvata, era in questo momento raddrizzata. Dopo 24 ore l'incurvatura, in due casi, erasi considerevolmente aumentata; lo stesso avvenne in quattro altri casi, ma queste ultime radichette si erano allora sì fortemente torte — alcune essendosi incurvate verso l'alto — che non era più possibile di distinguere se erano sempre deflesse dal lato cauterizzato. I soggetti che servivano di controllo non mostrarono un accrescimento così irregolare, per cui i due gruppi offrivano un contrasto evidente. Delle otto radichette cauterizzate, due soltanto non erano rimaste impressionate, e le traccie lasciate

dal caustico erano assai minute. In tutti i casi, queste traccie apparivano ovali od allungate; esse furono misurate su tre radichette, e le trovammo quasi della stessa grandezza cioè 2/3 di mm. di lunghezza. Tenendo conto di questo fatto, bisogna osservare che la parte incurvata della radichetta, che si era allontanata dal lato cauterizzato in 8 ore e 40 m., misurava, in tre casi, 6, 7 e 9 mm. di lunghezza.

Cucurbita ovifera: Sensibilità della sua estremità radicolare. — In causa della loro delicatezza e della loro flessibilità, le estremità radiculari sono, in questa pianta, poco adatte a portare i quadrati di cartone. Di più, gl'ipocotili si sviluppano prontamente e s'incurvano ad arco, movimento che, spostando considerevolmente la radichetta tutta intiera, cagiona una certa confusione. Facemmo un grande numero di esperienze, ma senza ottenere dei risultati definitivi, eccettuati due casi, nei quali, sopra 23 radichette, 10 subirono una deflessione dai quadrati di cartone, e 13 non furono influenzate. I quadrati di una certa grandezza sembravano agire più efficacemente che quelli assai piccoli, benchè presentassero maggior difficoltà alla fissazione.

Col caustico ottenemmo un successo molto maggiore. Nella nostra prima esperienza peraltro, 15 radichette essendo state troppo fortemente cauterizzate, due soltanto si curvarono nella direzione opposta alla parte annerita; le altre erano o uccise da un lato, o cauterizzate in modo eguale tutto all'intorno. Nell'esperienza successiva toccammo rapidamente le estremità asciugate di 11 radichette col caustico secco, e le immergemmo nell'acqua qualche minuto dopo. Le traccie allungate lasciate dal caustico in luogo di prendere il colore nero rimasero soltanto brune; esse misuravano circa 1/2 mm. di lunghezza, e qualche volta meno. 4 ore e 30 m. dopo la cauterizzazione, 6 di queste radichette erano nettamente deflesse dal lato che portava il segno bruno, 4 lo erano leggermente ed una non lo era affatto. Quest'ultima si mostrò malata e non continuò a crescere. Le traccie lasciate su 2 delle 4 radichette, che non erano curvate che leggermente, erano assai minute; una di esse non era visibile che alla lente. Dei 10 esemplari di controllo che nello stesso tempo avevamo collocati nei medesimi vasi, non se ne curvò nemmeno uno. 8 ore e 50 m. dopo la cauterizzazione, 5 radichette delle 10 (non parliamo di quella ammalata) erano deflesse dalla perpendicolare e dal lato che portava la macchia bruna di un angolo di circa 90° e 3 di un angolo di circa 45°. Dopo 24 ore le 10 radichette avevano guadagnato enormemente in lunghezza; in 5 di esse l'incurvatura era rimasta eguale, in 2 aveva aumentato ed in 3 aveva diminuito. Le radichette di confronto presentavano con quelle cauterizzate un contrasto assai evidente dopo questi due intervalli di 8 ore e 40 m. e di 24 ore; esse avevano infatti continuato a crescere verso il basso, ad eccezione però di due che, non sappiamo sotto quale influenza, si erano alquanto torte.

Noi vedremo nel capitolo relativo al geotropismo che 10 radichette di questa pianta, che furono distese orizzontalmente sopra e sotto la torba umida e friabile,

crebbero meglio e più naturalmente che nell'aria umida; le loro estremità radiculari furono leggermente cauterizzate sulla faccia inferiore, e l'operazione lasciò delle traccie brune di 1/2 mm. circa di lunghezza. Degli esemplari posti nelle medesime condizioni, ma che non erano stati cauterizzati, s'inclinarono fortemente in basso, in 5 o 6 ore sotto l'azione del geotropismo. Dopo 8 ore, 3 soltanto delle radichette cauterizzate erano curvate in basso, e solo leggermente; 4 rimasero orizzontali; 3 erano curvate in alto, malgrado l'influenza del geotropismo, ed in una direzione opposta alla faccia che portava la macchia bruna. Dieci altre radichette erano state cauterizzate nella stessa maniera, alla loro estremità, ma sulla faccia superiore; se questa operazione doveva essere seguita da un effetto, questo doveva essere tale da accrescere il potere geotropico, ed infatti tutte queste radichette, dopo 8 ore, erano fortemente curvate in basso. Considerando i fatti che precedono, non si può dubitare che la cauterizzazione dell'estremità radiculare in questa *Cucurbita* non determini, a condizione che essa sia abbastanza profonda, l'incurvatura in senso contrario di tutta la parte in via di accrescimento.

Raphanus sativus: Sensibilità della sua estremità radiculare. — Nelle nostre esperienze sopra questa pianta, sorsero numerose difficoltà, sia allorchè provammo i quadrati di cartone, sia quando dovemmo ricorrere alla cauterizzazione. Allorchè i semi erano fissati sopra un turacciolo, molte radichette, che non avevano subita alcuna eccitazione, crescevano in modo assai irregolare, curvandosi spesso verso l'alto, come se fossero attirate dalla superficie umida posta al disopra, e se si collocavano nell'acqua, il loro accrescimento era pure con frequenza assai irregolare. Non possiamo dunque accordare fede agli esperimenti fatti coi quadrati di cartone; alcuni peraltro sembravano indicare che l'estremità della radichetta è sensibile al contatto. Nelle nostre esperienze col caustico, non potemmo generalmente evitare la difficoltà di non danneggiare troppo fortemente l'estremità delicatissima. Sopra 7 radichette, trattate in questa maniera, una si curvò in 22 ore, seguendo un angolo di 60°, una seconda sotto un angolo di 40°, ed una terza assai leggermente; questi movimenti erano sempre nella direzione opposta alla parte cauterizzata.

Æsculus hippocastanum: Sensibilità della sua estremità radiculare. — Dei pezzi di vetro e dei quadrati di cartone furono fissati con della gomma lacca o dell'acqua gommata sull'estremità di 12 radichette d'ippocastano, e quando questi oggetti cadevano, venivano immediatamente rimessi in posto; ma non si ebbe nemmeno un caso d'incurvatura sensibile. Queste radichette robuste, di cui l'una misurava oltre 2 poll. di lunghezza e 0,3 poll. di diametro alla base, sembravano insensibili ad uno stimolante così debole come erano i piccoli oggetti fissati alla loro estremità. Tuttavia, quando la punta radiculare incontrava un ostacolo nel suo movimento in basso, la parte in via d'accrescimento s'incurvava sì uniformemente e simmetricamente, che il suo aspetto non indicava una incurvatura meccanica,

ma invece un aumento di crescenza sul lato convesso, determinato dall'eccitazione dell'estremità.

La verità di questo modo di vedere è confermata dagli effetti che produce il caustico, stimolante più energico. L'incurvatura nel senso opposto alla parte cauterizzata si realizzava molto più lentamente che nella specie precedente, e forse può tornare utile di dare qui il dettaglio delle nostre esperienze.

I semi germogliavano nella segatura di legno, ed un lato delle estremità radicolari era toccato una volta leggermente col nitrato d'argento secco; dopo alcuni minuti, essi erano tuffati nell'acqua, ed esposti ad una temperatura che variava generalmente fra 52° e 58° F. Non abbiamo creduto di dover tener conto di alcuni pochi casi, nei quali o l'estremità tutta intiera era divenuta nera, o la pianticella si era presto dopo ammalata.

1. La radichetta in un giorno (di 24 ore) si era leggermente deflessa dalla parte cauterizzata; in tre giorni, si allontanò di 60° dalla perpendicolare; in quattro giorni, di 90°; al quinto giorno essa formava, al disopra dell'orizzonte, un angolo di circa 40°; essa aveva dunque percorso, in questi cinque giorni, un angolo di 130°: è questa la più grande incurvatura da noi riscontrata.

2. In due giorni la radichetta era leggermente deflessa; dopo sette giorni, la deflessione era di 69° dalla parte cauterizzata; dopo otto giorni, l'angolo raggiungeva circa 90°.

3. Dopo un giorno, leggiera deflessione, ma la traccia della cauterizzazione era sì debole, che noi toccammo di nuovo la stessa parte col caustico. Quattro giorni dopo la prima cauterizzazione l'incurvatura raggiungeva 78°, e 90° il dì successivo.

4. Dopo due giorni, leggiera incurvatura, che si accrebbe certamente durante i tre giorni che seguirono, ma non divenne mai considerevole. La radichetta non cresceva bene, e morì l'ottavo giorno.

5. Dopo due giorni, leggerissima deflessione che raggiunse, al quarto giorno, 56°, dalla perpendicolare e dal lato cauterizzato.

6. Dopo tre giorni, deflessione incerta dal lato cauterizzato; essa divenne evidentissima al quarto giorno. Al quinto l'incurvatura raggiunse 45°, e 90° circa al settimo.

7. Dopo due giorni, leggiera incurvatura; essa raggiunse 25° al terzo giorno senza divenire maggiore.

8. Dopo un giorno, incurvatura distinta; al terzo giorno si elevò a 44°, ed al quarto a 72°, nel senso opposto alla parte cauterizzata.

9. Dopo due giorni, incurvatura leggiera ma distinta. Al terzo giorno fu toccata nuovamente l'estremità sulla medesima parte col caustico; ma fu uccisa.

10. Dopo un giorno, incurvatura leggiera, che dopo sei giorni si elevò a 50° nel senso opposto alla parte cauterizzata.

11. Dopo un giorno, deflessione ben pronunciata, che si elevò dopo 6 giorni a 62° dalla perpendicolare e dal lato cauterizzato.

12. Dopo un giorno, leggiera incurvatura, che si elevò a 35° al secondo giorno, a 50° al quarto ed a 63° al sesto, sempre nel senso opposto alla parte cauterizzata.

13. L'estremità tutta intiera è annerita, ma più da una parte che dall'altra; essa è leggermente deflessa al quarto giorno e fortemente al sesto verso la parte meno annerita; al nono giorno l'incurvatura si allontanava di 90° dalla perpendicolare.

14. L'estremità tutta intiera è annerita come nel caso precedente: al secondo giorno, vi è un'incurvatura ben pronunciata nel senso opposto alla parte più fortemente annerita; questa incurvatura si accresce al settimo giorno, e raggiunge quasi 90°; il giorno successivo la radichetta sembrava ammalata.

15. Noi ci troviamo qui di fronte ad un caso anormale, ossia davanti ad una radichetta che s'inclinava leggermente *verso* la parte cauterizzata al primo giorno e continuò a comportarsi nella stessa guisa durante i tre giorni successivi: l'incurvatura, a questo momento, si elevava a 90° circa. Tale anomalia sembrava risultare dalla sensibilità, simile a quella dei cirri, che è propria alla parte superiore della radichetta, contro la quale premeva con molta forza la punta di un grosso frammento triangolare degli involucri seminali; questa eccitazione prese, a quanto pare, il sopravvento su quella che proveniva dalla cauterizzazione dell'estremità.

Questi differenti casi mostrano, senza alcun dubbio, che l'irritazione portata sopra un lato dell'estremità radiculare determina la parte superiore della radichetta ad incurvarsi lentamente verso il lato opposto. Questo fatto era assai evidente in una serie di cinque semi fissati con spilli sul turacciolo di un vaso di vetro. Dopo sei giorni infatti il turacciolo fu rovesciato e quando lo si guardava direttamente dall'alto, le traccie nere lasciate dal caustico erano tutte distintamente visibili sulle faccie superiori delle estremità radiculari, curvate lateralmente. Da un lato dell'estremità di 22 radichette fu levata una sottile fetta col mezzo del rasoio, nel modo già descritto per la fava comune; ma questa maniera di eccitazione non si manifestò efficace; soltanto 7 delle 22 radichette si allontanarono leggermente in 3 a 5 giorni dalla perpendicolare nel senso opposto alla superficie danneggiata. Diverse delle altre radichette ebbero un accrescimento irregolare. Questi fatti sono dunque ben lontani dall'essere concludenti.

Quercus robur: Sensibilità della sua estremità radiculare. — Le estremità radiculari della quercia comune sono sensibili ad un leggiero contatto quanto quelle di tutte le piante da noi esaminate. Esse rimasero per 10 giorni in buono stato nell'aria umida, ma il loro accrescimento era lento. Furono fissati dei quadrati di carta consistente, col mezzo della gomma lacca, sopra le estremità di 15 radichette, e 10 di esse subirono una deflessione evidente dalla perpendicolare e dai quadrati di cartone: 2 non si curvarono che leggermente, e 3 non si mossero affatto. Ma due fra queste ultime non dovrebbero costituire delle vere eccezioni, poichè già da principio erano assai brevi e non si svilupparono in seguito che pochissimo. Sarà utile di descrivere alcuni dei casi più notevoli. Le radichette venivano esaminate ad ogni mattina, presso a poco alla stessa ora, cioè a degli intervalli di 24 ore.

1. Questa radichetta sopportò tutta una serie di accidenti e si comportò in modo affatto anormale; la sua estremità pareva, infatti, in principio insensibile, poi sensibile al contatto. Il primo cartone fu attaccato il 19 ottobre; il 21, la radichetta non era punto incurvata, ed il quadrato di cartone era accidentalmente sviato. Fu rimesso il 22 e la radichetta s'incurvò leggermente per allontanarsi. Ma questa

incurvatura disparve il 23; il quadrato di cartone fu allora levato e poi rimesso. Non seguì alcuna incurvatura, ed il cartone cadde accidentalmente. Esso venne nuovamente messo in posto; al mattino del 27 era ancora caduto, poichè raggiunse l'acqua che trovò in fondo al vaso. Fu rimesso, ed il 29, cioè a dire dieci giorni dopo la fissazione del primo quadrato, e due giorni dopo quella dell'ultimo, la radichetta aveva raggiunto la considerevole dimensione di 3,2 poll.; la parte terminale era allora curvata nel senso opposto al cartone e formava un uncino (fig. 68).

Fig. 68.

Quercus robur: radichetta provveduta di un quadrato di cartone attaccato sopra un lato della punta e curvata ad uncino. Disegno ridotto alla metà.

2. Quadrato di cartone fissato il 19; il 20, la radichetta è leggermente incurvata nel senso opposto; il 21 essa forma quasi un angolo retto, e rimane nella stessa posizione durante i due giorni che seguono; ma il 25 l'incurvatura verso l'alto diminuisce sotto l'azione del geotropismo; questa diminuzione si accentua il 26.

3. Quadrato di cartone fissato il 19; il 21, traccia d'incurvatura nel senso opposto; questa incurvatura raggiunge, il 22, 40° circa, e il 23, 53°.

4. Quadrato di cartone fissato il 21; il 22, traccia d'incurvatura nel senso opposto; il 23, la radichetta è completamente conformata ad uncino, colla punta rivolta verso lo zenit. Tre giorni dopo (il 26) l'incurvatura è intieramente scomparsa, e l'estremità si dirige perpendicolarmente in basso.

5. Quadrato di cartone attaccato il 21; il 22, incurvatura ben marcata in senso contrario, quantunque debole; il 23, la punta è curvata al disopra dell'orizzonte, e, il 24, forma un uncino dirigendosi verso lo zenit, come nella fig. 68.

6. Quadrato di cartone attaccato il 21; il 22, leggiera incurvatura nel senso opposto; il 23, questa incurvatura è più pronunciata; il 25, è considerevole; il 27, ogni curvatura è scomparsa, e la radichetta si dirige perpendicolarmente in basso.

7. Quadrato di cartone fissato il 21; il 22, traccia d'incurvatura nel senso opposto; questa incurvatura si accresce al mattino successivo, e forma un angolo retto il 24.

È dunque manifesto che l'estremità radiculare della quercia, assai sensibile al contatto, conserva tale sensibilità per parecchi giorni. Il movimento così determinato era peraltro più debole che nei casi precedenti, ad eccezione dell'*Æsculus*. Come nella fava, la parte terminale in via di accrescimento, dopo essersi incurvata, talvolta si raddrizzò, sotto l'azione del geotropismo, benchè l'oggetto rimanesse sempre fissato alla sua estremità.

Tentammo in seguito la stessa notevole esperienza che avevamo già fatta sulla fava, attaccando colla lacca dei piccoli quadrati, esattamente eguali, di cartone con arena e di carta sottile (le grossezze sono indicate a proposito della *Vicia faba*) sui lati opposti (quanto più si poteva) delle estremità di 13 radichette. Le piante erano sospese nell'aria umida, ed esposte ad una temperatura di 65° a 66° F. Il risultato fu evidente: infatti su 13 radichette, 9 si curvarono evidentemente, ed una assai poco, nella direzione opposta al lato che portava la carta consistente,

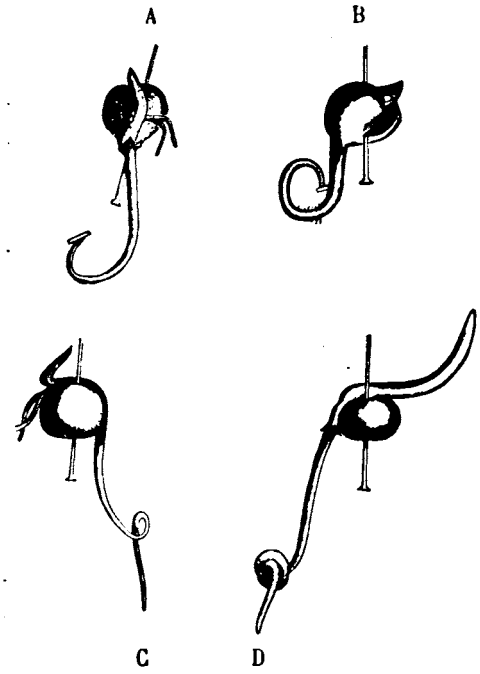
e verso la parte che portava la carta sottile. In due di questi casi la radichetta divenne in due giorni uncinata; in quattro casi, l'allontanamento dalla perpendicolare e dalla parte portante la carta consistente si elevò, nell'intervallo di due a quattro giorni, a 90°, 72°, 60° e 49°; in due casi, peraltro, non giunse che ad 8° e 15°. Bisogna però osservare che nel caso in cui l'allontanamento era di 49°, i due quadrati erano accidentalmente venuti in contatto sopra un lato della radichetta e formavano così una forchetta laterale, e la deflessione si effettuava in parte dalla forchetta ed in parte dalla carta consistente. In tre casi soltanto le radichette non furono influenzate dalla differenza di spessore dei quadrati di carta attaccati sulle loro faccie opposte; esse non furono dunque deflesse dal lato che portava la carta più consistente.

Zea mays: Sensibilità della sua estremità radicular al contatto. — Fu tentato un grande numero di esperienze su questa pianta, unica monocotiledone, sulla quale portammo le nostre ricerche. Basterà qui dare un riassunto dei risultati ottenuti. In primo luogo, furono fissati 22 semi in via di germinazione sopra dei turaccioli senza che alcun oggetto fosse attaccato all'estremità delle radichette. Alcune di queste sopportarono una temperatura di 65° a 66° F., altre di 74° a 79° F.; nessuna di esse subì una deflessione, sebbene alcune s'inclinassero leggermente da un lato. Ne scegliemmo alcune, le quali, siccome avevano germogliato nella sabbia, erano torte, ma che appena furono appese nell'aria umida, crebbero colla parte terminale diretta verticalmente in basso. Essendo ben constatato questo fatto, fissammo in diverse occasioni, col mezzo della gomma lacca, dei piccoli quadrati di carta consistente sulle estremità di 68 radichette. In 39 di esse la parte terminale s'incurvò sensibilmente in 24 ore, allontanandosi dalla perpendicolare e dalla parte che sosteneva i quadrati di carta; 13 di queste 39 radichette formarono degli uncini, la cui punta era diretta verso il cielo, e 8 finalmente generarono delle anse. Inoltre, 7 altre radichette, delle 68, erano leggermente allontanate dalla perpendicolare e 2 in modo incerto. Ne rimasero 20, le quali non furono influenzate; ma sopra queste 20, 10 non dovrebbero essere contate, poichè una di esse era morta, altre avevano le loro estremità completamente circondate di gomma lacca, e sulle altre 7 i quadrati si erano smossi fino a diventare paralleli alla punta in luogo di essere fissati obliquamente sopra di essa. Sopra le 68 ve ne furono dunque 10 che non vennero in nessun modo influenzate. Alcune delle radichette sottomesse all'esperienza erano giovani ed ancora brevi; la maggior parte aveva una lunghezza moderata, e due o tre sorpassavano i 3 pollici. In tutti questi casi, si presentò l'incurvatura in 24 ore, ma essa era spesso apprezzabile in uno spazio di tempo molto più breve. Per es., la parte terminale di una radichetta si era curvata ad angolo retto in 8 ore e 15 m., un'altra in 9 ore. In un caso, si formò un uncino nello spazio di 9 ore. Sei radichette poste in un vase che conteneva nove semi e che era collocato in un bagno di sabbia ad una temperatura di

76° a 82° F., le trovammo curvate ad uncino quando dopo 15 ore le esaminammo, ed una settima formò un'ansa completa.

Le figure qui unite rappresentando quattro semi in germinazione (fig. 69) mostrano, in primo luogo, una radichetta (A) la cui estremità si è abbastanza incurvata nel senso opposto al cartone attaccato da formare un uncino; in secondo luogo (in B), l'uncino è convertito in un completo cerchio od ansa, in causa della eccitazione continua determinata dal cartone, ed aumentata forse dall'influenza del geotropismo. Nella formazione dell'ansa l'estremità urta generalmente contro la parte superiore della radichetta, e sposta il quadrato di cartone attaccato; l'ansa allora si contrae o si chiude, ma non scomparisce mai; in seguito l'estremità cresce in basso verticalmente, giacchè non subisce più l'eccitazione dell'oggetto attaccato. Questo fatto si presentò spesso ed è riprodotto in C. Il succitato vaso di vetro colle sei radichette uncinate ed un altro vaso furono tenuti due altri giorni, per vedere come si sarebbero modificati gli uncini. La maggior parte di essi si tramutò in ansa semplice, simile a quella della fig. C; in un caso tuttavia l'estremità non venne punto a battere contro la parte radiculare superiore, ed il cartone rimase in posto; per conseguenza, continuando ad agire l'eccitazione determinata dal cartone, si formarono due anse complete, cioè a dire una curva a chiocciola a due giri di spira, che in seguito si strinsero fortemente l'uno contro l'altro. Allora prevalse il geotropismo, e l'estremità si mise a crescere perpendicolarmente verso il basso. In un altro caso, rappresentato in D, l'estremità, formando un secondo giro di spira, passò attraverso al primo, che era in principio largamente aperto, e determinò così la caduta del quadrato di cartone; poi crebbe perpendicolarmente in basso, e ne risultò un nodo, che si chiuse in seguito strettamente.

Fig. 69.



Zea mays: radichette munite, sopra una parte della loro estremità, di piccoli quadrati di cartone, che le eccitano ad incurvarsi.

Radici secondarie di Zea. — Poco tempo dopo l'apparizione della radichetta primitiva, altre radici escono dal seme; ma esse non si formano lateralmente sulla

radichetta. Dieci di queste radici secondarie, che si dirigevano obliquamente in basso, furono munite, alla faccia inferiore della loro estremità, di piccoli quadrati di cartone, fissati mediante la gomma lacca. Per conseguenza, se questi quadrati agivano, le radici dovevano curvarsi verso l'alto in opposizione colla gravità. Il vaso (protetto contro la luce) era posto sopra un bagno di sabbia, la cui temperatura variava fra 76° e 82° F. Dopo 5 ore soltanto, l'una di esse sembrò un poco incurvata dall'azione del cartone e dopo 20 ore formava un'ansa. Quattro altre erano dopo 20 ore considerevolmente deflesse dai cartoni, e tre formarono, una dopo 29 ore e le altre due dopo 44, degli uncini, aventi le loro punte dirette verso lo zenit. Dopo quest'ultimo spazio di tempo, una sesta radichetta era deflessa ad angolo retto dal quadrato di cartone. Dunque, 6 radichette sopra 10 erano state influenzate, e 4 erano rimaste senza alcun cambiamento. Non si può dunque dubitare che le estremità di queste radici secondarie sieno sensibili ad un leggiero contatto, e che, dopo l'eccitazione, la parte superiore si allontani dall'oggetto toccante; sembra tuttavia che questo fenomeno non si produca generalmente con la stessa rapidità che nella radichetta primaria.

SENSIBILITÀ DELL'ESTREMITÀ RADICOLARE ALL'ARIA UMIDA.

Sachs scoperse, parecchi anni or sono, questo fatto interessante, che le radichette di molte piante in germogliazione s'inclinano verso una superficie umida collocata nel vicinato (1). Procureremo quindi di dimostrare che questa sensibilità speciale ha la sua sede nelle estremità radiculari. Il movimento è esattamente inverso di quello che è determinato dagli eccitanti enumerati fin qui, e di cui l'effetto è di deflettere la radichetta dalla sorgente di eccitazione. Noi abbiamo seguito nelle nostre esperienze il metodo di Sachs. Si appesero dei crivelli, contenenti dei semi in germinazione entro segatura umida, in guisa che il fondo si trovava inclinato di 40° sull'orizzonte. Se le radichette non avessero subito che l'influenza del geotropismo, esse si sarebbero spinte traverso il fondo del crivello perpendicolarmente in basso; ma siccome erano attirate dalla superficie umida confinante, s'incurvarono verso questa e si allontanarono di 50° dalla perpendicolare. Desiderando di determinare se l'estremità soltanto o tutta la parte in via di accrescimento era sensibile all'influenza dell'umidità, applicammo, in un certo numero di casi, sopra una lunghezza di 1 a 2 mm., una mescolanza di olio di oliva e di nero fumo. Tale mescolanza aveva per iscopo di dare all'olio una maggior consistenza, affinchè potesse essere applicato sotto forma di grosso strato, per impedire almeno in gran parte l'azione dell'umidità, e fosse inoltre facilmente visibile. Sarebbe stato necessario di tentare

(1) *Arbeiten Bot. Inst. Würzburg*, vol. I, 1872, p. 209.

un numero maggiore di esperienze di quelle eseguite, se non fosse apparso in modo certo che l'estremità della radichetta è la parte sensibile ai diversi altri eccitanti.

Phaseolus multiflorus. — Si osservarono 29 radichette, che non avevano subìto alcun trattamento, mentre si sviluppavano in uno staccio, e per un tempo egualmente lungo delle altre, le cui estremità erano state unte. Sopra queste 29, 24 si curvarono fino a venire in intimo contatto col fondo dello staccio. La sede dell'incurvatura si trovava in generale a 5 o 6 mm. dall'estremità. Otto radichette avevano le estremità unte sopra una lunghezza di 2 mm., e due sopra una lunghezza di mm. 1 1/2; esse furono tenute ad una temperatura di 15°-16° C. Dopo intervalli di 19 a 24 ore, tutte erano dirette verticalmente o quasi verticalmente in basso, alcune di esse essendosi curvate di 10° circa verso la superficie umida confinante. L'aria umida di un lato non aveva dunque affatto o soltanto debolmente agito su di esse, benchè tutta la parte superiore vi fosse liberamente esposta. Dopo 48 ore, tre di queste radichette si curvarono considerevolmente verso lo staccio, e la mancanza d'incurvatura in alcune delle altre radichette poteva forse attribuirsi al loro cattivo accrescimento. Bisogna peraltro osservare che tutte si sviluppavano assai bene durante le prime 19 a 24 ore: due avevano guadagnato, in 11 ore, 2 a 3 mm. di lunghezza; cinque altre 5 ad 8 mm. in 19 ore; e due, che non avevano in principio che 4 a 6 mm. di lunghezza, avevano raggiunto, in 24 ore, 15 e 20 mm.

Le estremità di 10 radichette, dotate pure di un buon accrescimento, furono unte di grasso sopra una lunghezza di 1 mm. soltanto, ed il risultato fu allora di qualche poco differente; infatti 4 si curvarono verso lo staccio in 21 a 24 ore, mentre che 6 rimasero senza incurvatura; cinque di queste ultime furono osservate un giorno di più, ed allora tutte, meno una, erano curvate verso lo staccio.

Le estremità di 5 radichette vennero cauterizzate col nitrato d'argento, e così furono distrutte sopra una lunghezza di 1 mm. circa. Le osservammo entro periodi variabili fra 11 e 24 ore, e trovammo che tutte si sviluppavano assai bene. Una di esse si era incurvata tanto da venire in contatto collo staccio, un'altra stava per incurvarsi nella stessa direzione, mentre le altre tre erano dirette verticalmente in basso. Sette radichette non cauterizzate, che osservammo contemporaneamente, erano tutte venute in contatto collo staccio.

Furono protette le estremità di 11 radichette col mezzo dei pezzi di carta d'oro umida, che vi aderiva fortemente, sopra una lunghezza variante fra 1 1/2 e 2 1/2 millim. Dopo 22 a 24 ore, 6 di queste radichette erano nettamente curvate verso lo staccio od erano in contatto con esso; 2 erano leggermente inclinate in questa direzione, e 3 non lo erano affatto. Tutte si erano sviluppate assai bene. Sopra 14 esemplari di controllo, osservati contemporaneamente, uno solo non si avvicinò di molto allo staccio. Da queste esperienze risulta, che un rivestimento di foglia d'oro ritarda, quantunque di poco, l'incurvatura delle radichette verso una vicina superficie umida. Se uno strato estremamente sottile di questa sostanza, qualora sia umida, permetta il passaggio all'umidità dell'aria, non sappiamo. Un caso ci indica che le cuffie sono qualche volta più efficaci di quello che sembrerebbe risultare dalle esperienze precedenti; infatti, una radichetta che, dopo 23 ore, non si era che debolmente inclinata verso lo staccio, fu spogliata della sua cuffia (che misurava mm. 1 1/2 di lunghezza), e durante le 15 ore 1/2 che seguirono essa si curvò di molto e bruscamente verso la sorgente di umidità, avendo la sede principale dell'incurvatura da 2 a 3 millim. dall'estremità.

Vicia faba. — Le estremità di 13 radichette furono spalmate di grasso sopra

una lunghezza di 2 mm.; è mestieri ricordarsi che in queste radichette la sede principale dell'incurvatura si trova a circa 4 o 5 mm. dalla punta. Quattro di esse si esaminarono dopo 22, tre dopo 26, e sei dopo 36 ore, e nessuna era stata attirata verso la faccia inferiore umida dello staccio. In un'altra esperienza, 7 radichette vennero trattate nella stessa guisa, 5 erano ancora dirette perpendicolarmente in basso dopo 11 ore, mentre due si curvarono di poco verso lo staccio; in causa di un accidente, queste radichette non furono osservate più lungamente. Nelle citate esperienze, l'accrescimento delle radichette era buono; 7 di esse che avevano in principio da 4 ad 11 mm. di lunghezza, avevano raggiunto dopo 11 ore da 7 a 16 mm.; tre, che in principio misuravano da 6 ad 8 mm., raggiungevano, dopo 26 ore, da mm. 11,5 a mm. 18; finalmente quattro radichette, che avevano in principio da 5 ad 8 mm., misuravano, dopo 46 ore, da 18 a 23 mm. di lunghezza. Le radichette sprovviste di grasso, che servivano di confronto, non erano invariabilmente dirette verso il fondo dello staccio; ma in un'occasione, 12 sopra 13 che erano state sottomesse all'osservazione per dei periodi che variavano da 22 a 36 ore, vi furono attirate. In due altre occasioni si comportarono egualmente in complesso 38 radichette sopra 40. In un altro caso, 7 soltanto sopra 14 s'inclinarono, ma dopo due altri giorni, la proporzione raggiunse 17 sopra 23. In un'ultima occasione, 11 soltanto sopra 20 erano state attirate; se riuniamo questi risultati, troviamo che 78 radichette sopra 96 che servivano di confronto, si curvarono verso il fondo dello staccio; fra gli esemplari, di cui le estremità erano unte di grasso, 2 soltanto sopra 20 (7 però non furono osservate abbastanza lungamente) si curvarono pure. Possiamo dunque assai difficilmente mettere in dubbio, che l'estremità radicolare, sopra una lunghezza di 2 mm., non sia la parte sensibile all'umidità dell'aria, e non determini l'incurvatura della parte superiore verso la sorgente dell'umidità.

Le estremità di 15 radichette essendo state cauterizzate col nitrato d'argento, ebbero un accrescimento buono al pari di quelle ora descritte. Dopo un intervallo di 24 ore, 9 di esse non manifestavano alcuna incurvatura verso il fondo dello staccio; 2 erano deviate dalla loro primitiva posizione verticale e curvate verso di esso ad angoli di 20° e di 12°, e 4 erano venute in contatto perfetto con esso. Così dunque la distruzione dell'estremità, sopra la lunghezza di 1 mm. circa, impediva l'incurvamento del maggior numero di queste radichette verso la superficie umida confinante. Sopra 24 esemplari di controllo, 23 erano inclinati verso lo staccio, ed in un altro caso, 15 sopra 16 si comportarono nella stessa maniera, ed in grado maggiore o minore. Queste esperienze di controllo fanno parte di quelle da noi riferite nel paragrafo precedente.

Avena sativa. — Le estremità di 13 radichette, che sorpassavano di 2 a 4 mm. il fondo dello staccio, e di cui molte non erano esattamente perpendicolari, furono unte di grasso annerito sopra una lunghezza di mm. 1 ad 1 1/2. Gli stacci erano inclinati di 30° sull'orizzonte. Il maggior numero di queste radichette fu esaminato dopo 22 ore, ed alcune dopo 25; durante questo intervallo il loro accrescimento era stato così rapido, che la loro lunghezza divenne quasi doppia. Nelle radichette che non furono unte col grasso, la sede principale dell'incurvatura si trovava ad una distanza dall'estremità che non era minore di 3,5 e 5,5 mm., senza sorpassare 7 o 10 mm. Sopra le 13 radichette le cui estremità erano unte di grasso, 4 non manifestarono alcun movimento verso lo staccio; 6 erano curvate verso di esso, ed avevano formato colla perpendicolare degli angoli di 10° a 35°; 3 erano venute in contatto perfetto colla superficie umida. Sembra dunque, a prima vista, che lo strato di grasso collocato sopra le radichette non impedisca loro che assai poco di inclinarsi verso la superficie umida. Ma la visita degli stacci fatta due volte pro-

duceva un'impressione affatto differente, poichè era impossibile di vedere le radichette colle punte nere munite di grasso protendere dal fondo e tutte quelle (in numero di 40 o 50 almeno) le di cui estremità erano sprovvedute di grasso, aderirvi fortemente, senza persuadersi che il corpo grasso aveva prodotto un notevole effetto. Guardando da vicino, non potemmo trovare che una sola radichetta sprovvista di grasso, che non si fosse inclinata verso lo staccio. È probabile che se le estremità fossero state protette dallo strato grasso sopra una lunghezza di 2 mm., invece che di 1 ad 1 1/2, esse non sarebbero state influenzate dall'umidità dell'aria, e nessuna si sarebbe curvata.

Triticum vulgare. — Delle esperienze analoghe si fecero sopra 8 radichette del frumento comune, e l'unzione delle loro estremità produsse un effetto molto minore che sopra le radichette di avena. Dopo 22 ore, 5 di esse erano venute in contatto col fondo dello staccio; 2 avevano formato degli angoli di 10° e 15°, ed una sola era rimasta perpendicolare. Nemmeno una delle numerose radichette che non erano state unte di grasso, mancò di venire in contatto immediato con lo staccio. Queste esperienze vennero fatte il 28 novembre alle ore 10 del mattino, ad una temperatura di 4°,8 C. Senza la seguente circostanza non avremmo creduto necessario di riferire questo caso. Al principio di ottobre essendo la temperatura considerevolmente più elevata (12° a 13° C.), noi trovammo che poche soltanto delle radichette unte di grasso s'inclinavano verso lo staccio; questo fatto indica che la sensibilità all'umidità dell'aria si accresce a misura che la temperatura si abbassa, fatto simile a quello che abbiamo constatato nelle radichette di *Vicia faba*, relativamente agli oggetti attaccati alle loro estremità. Ma nel caso di cui ci occupiamo, è possibile che una differenza nello stato igrometrico dell'aria abbia causato la differenza che esiste fra i risultati ottenuti in queste due epoche.

Finalmente, i fatti che abbiamo riportato, relativi al *Phaseolus multiflorus*, alla *Vicia faba* ed all'*Avena sativa*, dimostrano, a nostro avviso, che uno strato di grasso, disteso sopra una lunghezza di 1 1/2 a 2 mm. sopra la punta radiculare o la distruzione di questa estremità mediante la cauterizzazione, diminuiscono fortemente od anche annullano, nella parte superiore libera, la facoltà d'inclinarsi verso una superficie umida confinante. Dobbiamo ricordarci che la porzione che s'inclina più fortemente si trova collocata ad una piccola distanza al disopra della punta unta di grasso o cauterizzata, e che l'accrescimento rapido di questa parte prova che non ha sofferto dal trattamento che ha subito l'estremità. Nel caso in cui le radichette s'inclinarono, anche quando la loro estremità era coperta di grasso, è probabile che lo strato non sia stato abbastanza grosso per impedire completamente l'accesso dell'umidità, o che la protezione non si sia estesa sopra una lunghezza sufficiente; nel caso in cui è stato impiegato il caustico, è pure probabile che la superficie cauterizzata non sia stata sufficiente. Se delle radichette, la cui estremità è coperta di grasso, sono poste per qualche giorno all'aria umida, si constata che lo strato grasso forma delle reticolazioni o delle goccioline della massima finezza lasciando nude delle piccole porzioni della superficie. È probabile che queste parti sieno capaci di assorbire l'umidità, e noi possiamo così spiegarci, come molte delle radichette di cui abbiamo coperto l'estremità con uno strato di grasso, si sieno inclinate verso lo staccio in capo ad uno o due giorni. In com-

plesso, noi possiamo affermare che è nella punta radiculare che risiede la sensibilità dei suoi due lati alla differenza che può esistere nell'umidità dell'aria circolante, e che questa estremità trasmette una certa eccitazione alla parte superiore e ne determina l'incurvatura verso la sorgente di umidità. Il movimento è dunque diametralmente opposto a quello che ingenerano dei piccoli oggetti attaccati sopra un lato dell'estremità radiculare, o l'asportazione di una fetta sottile, o finalmente la cauterizzazione. In uno dei capitoli seguenti dimostreremo che la sensibilità all'azione del geotropismo risiede pure nella punta radiculare; si è dunque questa estremità che eccita le parti confinanti di una radichetta distesa orizzontalmente ad inclinarsi verso il centro della terra.

Le radici secondarie divengono verticalmente geotropiche, quando la parte terminale della radichetta primaria è distrutta o danneggiata.

Sachs ha dimostrato che le radici secondarie o laterali della fava, e probabilmente di altre piante, subiscono in un modo del tutto particolare l'azione del geotropismo; esse crescono cioè orizzontalmente od in una direzione debolmente inclinata, ed ha di più fatto conoscere questo fatto interessante (1), che cioè se è levata l'estremità dalla radichetta primaria, una delle radici secondarie fra le più vicine cambia di natura e si sviluppa perpendicolarmente verso il basso per sostituire la radichetta primaria. Noi abbiamo ripetuto questa esperienza, piantando nella torba friabile delle fave private della loro estremità radiculare, ed abbiamo ottenuto il risultato descritto dal Sachs; abbiamo peraltro visto che sono generalmente due o tre di queste radici secondarie che si dirigono perpendicolarmente verso il basso. Abbiamo pure modificata l'esperienza schiacciando delle giovani radichette, un poco al disopra delle loro estremità, fra le branche di un pezzo di filo di ferro grosso ed avente la forma di un U. La parte schiacciata non tardava a farsi piatta e veniva in seguito impedita a crescere nella grossezza. Cinque radichette di cui erano state levate le estremità servirono di confronto. Se ne schiacciarono otto, ma di due, siccome furono strette troppo fortemente, le estremità perirono e caddero, due altre, strette troppo debolmente, non ne sentirono un effetto notevole, le quattro ultime erano state strette abbastanza perchè l'accrescimento della loro parte terminale fosse arrestato, ma non sembrarono altrimenti danneggiate. Allorchè levammo i fili di ferro in forma di U, dopo un intervallo di 15 giorni, trovammo che la parte situata al disotto del filo di ferro era assai sottile e fragile, mentre che la porzione superiore era ingrossata. In questi quattro casi, una o più delle radici secondarie, uscendo dalla parte ispessita, immediatamente al disopra del

(1) *Arbeiten des Bot. Inst. Würzburg*, Heft IV, 1874, p. 622.

filo di ferro, erano cresciute perpendicolarmente in basso. Nel caso migliore, la radichetta primaria (la parte al disotto del filo di ferro misurava 1 1/2 poll.) era un po' torta e non raggiungeva in lunghezza la metà di tre radici secondarie, che si erano sviluppate verticalmente, o quasi, verso il basso. Alcune di queste radici secondarie aderivano insieme od erano divenute confluenti. Noi vediamo da questi quattro casi, che non è necessario, perchè le radici secondarie prendano la natura della radichetta primaria, che quest'ultima sia amputata; basta che l'afflusso della linfa, arrestato in essa, sia diretto verso le radici secondarie circostanti, e questo infatti sembra il risultato più evidente che si produce quando la radichetta primaria è stretta fra le branche di un filo di ferro in forma di U.

Questo cambiamento di natura delle radici secondarie è manifestamente analogo, come lo ha dimostrato il Sachs, a quello che si produce nelle giovani branche degli alberi, allorchè il ramo principale, dopo la distruzione, è sostituito da uno o più germogli laterali. Questi ultimi si dirigono allora diritti verso il cielo, in luogo di rimanere sub-orizzontali. In quest'ultimo caso peraltro i giovani germogli sono divenuti apogeotropici, mentre quando si tratta di radici, le laterali divengono geotropiche. Naturalmente, noi siamo condotti a pensare che sia la medesima causa che agisce sui rami e sulle radici, e che questa causa consista in un afflusso di linfa più abbondante negli organi laterali. Facemmo parecchie esperienze sopra l'*Abies communis* e *pectinata*, stringendo con un filo di ferro il germoglio principale e tutti i laterali meno uno. Ma noi crediamo che i nostri campioni fossero troppo vecchi al momento dell'esperienza; inoltre alcuni erano stati stretti troppo fortemente ed altri non abbastanza. Non riuscimmo che in un caso, col piceo. Il germoglio principale non era stato ucciso, ma il suo accrescimento venne arrestato. Alla sua base si trovava un verticillo di tre germogli laterali, di cui due erano stati compressi, onde uno ne morì, il terzo era stato lasciato intatto. Questi germogli laterali, al momento dell'esperienza (14 luglio), formavano al disopra dell'orizzonte un angolo di 8°; li 8 settembre il germoglio intatto si era elevato a 35°, li 4 ottobre a 46° e li 26 gennaio a 48°, ed era allora un poco incurvato all'interno. Una parte di questa elevazione di 48° deve essere attribuita all'accrescimento ordinario, poichè il germoglio compresso si era elevato a 12° nello stesso periodo di tempo. Ne segue che la branca intatta era, al 26 gennaio, a 56° al disopra dell'orizzonte, ossia a 34° dalla verticale; essa era dunque quasi capace di sostituire il germoglio principale compresso il quale non cresceva che lentamente. Tuttavia, noi abbiamo ancora alcuni dubbi a proposito di questa esperienza, poichè abbiamo dappoi osservato che dei picei, a crescimento stentato, avevano, presso alla sommità, dei germogli laterali altamente inclinati, mentre il germoglio principale sembrava conservarsi in buono stato.

Una causa molto diversa produce talvolta quest'effetto, che cioè dei germogli che in via naturale crescerebbero orizzontalmente, invece si elevano verticali. Le

branche laterali dell'abete (*Abies pectinata*) sono sovente invase da un fungo, *Æcidium elatinum*, sotto l'influenza del quale la branca si allarga in un nodo ovale, formato di legno duro, in uno dei quali abbiamo contato 24 anelli di accrescimento. Secondo De Bary (1), se il micelio penetra in una gemma che sta per allungarsi, il germoglio che ne risulta si dirige verticalmente verso il cielo. Dei germogli così eretti producono in seguito delle branche laterali orizzontali, e presentano allora un aspetto tutto particolare, come se un giovane abete avesse germogliato da una massa di argilla circondante la branca. Questi germogli verticali hanno manifestamente cambiato di natura e sono divenuti apogeotropici, poichè se non fossero stati affetti di *Æcidium*, sarebbero cresciuti orizzontali come tutti gli altri rampolli della stessa branca. Non è probabile che questo cambiamento sia dovuto ad un afflusso maggiore di linfa nella parte affetta, ma la presenza del micelio deve aver turbato considerevolmente la sua naturale costituzione.

Secondo Meehan (2) le branche di tre specie di *Euphorbia* e della *Portulaca oleracea* sono « normalmente coricate o procumbenti », ma se vengono intaccate da un *Æcidium* « prendono un abito eretto ». Il dott. Stahl c'informa ch'egli è a conoscenza di molti casi analoghi, i quali sembrano affini a quelli dell'*Abies*. I rizomi di *Sparganium ramosum* crescono orizzontalmente per terra sopra una lunghezza considerevole, ossia sono diageotropici; ma F. Elfving ha trovato che quando vengono coltivati nell'acqua, la loro estremità si rivolge verso il cielo, e divengono apogeotropici. Lo stesso risultato si ottenne col curvare il fusto di questa pianta finchè si rompeva, o soltanto col curvarlo energicamente (3).

Non si è provato fin qui di dare una spiegazione dei casi simili a quelli che abbiamo citati, vale a dire nei quali delle radici secondarie si allungano verticalmente verso il basso, o dei germogli laterali si dirigono verso il cielo, dopo l'amputazione della radichetta primaria o del germoglio principale. Noi crediamo peraltro di trovare la ragione nelle considerazioni seguenti. In primo luogo, ogni causa che porta un turbamento nell'ordinario sviluppo (4), può determinare la riversione: così l'incrocio di due razze distinte, oppure un cambiamento nelle condizioni di vita, ad esempio, quando gli animali domestici ritornano allo stato selvaggio. Ma il

(1) Vedasi il suo interessante articolo nella *Bot. Zeitung*, 1867, p. 257, sopra questi accrescimenti mostruosi, che si chiamano in tedesco *Hexenbesen*.

(2) *Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia*, 16 giugno 1874 e 23 luglio 1875.

(3) Vedi l'interessante memoria di M. I. Elfving in *Arbeit. Bot. Instit. in Würzburg*, vol. II, 1880, p. 489. Carl Kraus (Triesdorf) aveva prima osservato (*Flora*, 1878, p. 234) che i germogli sotterranei di *Triticum repens* si piegano in alto, quando le parti del vegetale che vivono sopra terra sono soppresse, ed allorchè i rizomi rimangono in parte immersi nell'acqua.

(4) I fatti, sui quali noi fondiamo queste conclusioni, sono esposti in *The variation of Animals and Plants under Domestication*, 2ª edizione, 1875. Intorno alle cause principali della riversione vedi vol. II, cap. XII, e p. 59 cap. XIV. Sui fiori pilorici, cap. XIII, p. 32; e vedi p. 337 relativamente alla loro posizione sulla pianta. Per i semi vedi p. 340. Per la riversione mediante le gemme, p. 438, capo XI, vol. I.

caso che dobbiamo soprattutto considerare è la frequente apparizione di fiori pelorici alla sommità di un gambo od al centro di una infiorescenza, parti che si crede ricevano la maggior quantità di linfa; poichè, quando un fiore irregolare diventa perfettamente regolare o pelorico, questo fatto può essere attribuito, almeno in parte, alla regressione verso un tipo primitivo e normale. La posizione stessa di un seme alla sommità della capsula dà qualche volta alla pianticella che ne proviene una tendenza alla regressione. Secondariamente le regressioni si producono spesso col mezzo delle gemme indipendentemente dalla riproduzione per semi, di guisa che una gemma può ricuperare i caratteri di uno stato primitivo da cui essa è separata da un grande numero di generazioni gemmarie. Negli animali le regressioni possono prodursi col progresso dell'età. In terzo luogo finalmente le radichette, allorchè escono dal seme, sono sempre geotropiche, e le plumule od i germogli quasi sempre apogeotropici. Ora, se una causa qualunque, come una diminuzione nell'afflusso della linfa, o la presenza di un micelio, viene a disturbare l'ordinario andamento di un germoglio laterale o di una radice secondaria, questi tendono a ritornare al loro stato primordiale; e diventano allora sia geotropici, sia apogeotropici, secondo il caso, e per conseguenza si spingono verticalmente in alto od in basso. È evidentemente possibile e perfino probabile che questa tendenza alla regressione possa essere stata aumentata, perchè manifestamente utile alla pianta.

Riassunto del Capitolo.

Una parte, o organo, può chiamarsi sensibile quando l'irritazione di essa determina un movimento in una parte vicina. Ora, noi abbiamo dimostrato in questo capitolo che l'estremità radicolare della fava è, in questo senso, sensibile al contatto di un oggetto di piccole dimensioni attaccato sopra una delle sue faccie col mezzo della gomma lacca od acqua gommata, come ancora ad un leggero tocco di un caustico secco, ed all'ablazione di una sottile fetta da una delle sue faccie. Le radichette del pisello furono sottomesse alle nostre esperienze coll'applicazione degli oggetti stranieri o mediante la cauterizzazione, e si mostrarono sensibili a questi due eccitanti. Nel *Phascolus multiflorus*, l'estremità era assai poco sensibile ai piccoli quadrati di cartone attaccati, ma era eccitata dal caustico o dall'asportazione di un dischetto sottile. Le radichette di *Tropœolum* erano assai sensibili al contatto; lo erano pure, per quanto abbiamo potuto giudicare, quelle di *Gossypium herbaceum*, e certamente si mostrarono sensibili all'azione del caustico. Le estremità delle radichette di *Cucurbita ovifera* erano del pari assai irritabili in presenza del caustico, quantunque non fossero che moderatamente eccitate dal contatto. Il *Raphanus sativus* ci offerse un caso alquanto incerto. Nel-

l'*Æsculus*, le estremità erano affatto indifferenti pei corpi attaccativi quantunque sensibili all'azione del caustico. Quelle di *Quercus robur* e di *Zea mays* erano sensibilissime al contatto, e quelle di quest'ultimo vegetale eziandio all'azione del caustico. In molti di questi casi, le differenze nella sensibilità della punta al contatto ed al caustico non erano, per quanto crediamo, che apparenti, poichè nel *Gossypium*, *Raphanus* e *Cucurbita* la punta era sì fina e sì flessibile che tornava assai difficile il fissare un oggetto qualunque sopra una delle sue faccie. Nelle radichette di *Æsculus*, le estremità non erano affatto sensibili al contatto dei piccoli corpi ad esse attaccati, ma non risulta da ciò che non sarebbero state sensibili ad una pressione un po' più forte e continuata, se fosse stato possibile applicarla.

La forma particolare di sensibilità che consideriamo qui è localizzata nell'estremità della radichetta, sopra una lunghezza di 1 mm. ad 1,5 mm. Se questa punta è irritata dal contatto di un oggetto qualunque, da un caustico o dall'asportazione di una fetta sottile, la parte immediatamente superiore della radichetta, sopra una lunghezza di 6,7 e spesso 12 mm., è eccitata a deflettersi dal lato sul quale fu esercitata l'irritazione. Una certa eccitazione deve dunque essere trasmessa dall'estremità lungo la radichetta sopra una lunghezza determinata. L'incurvatura così prodotta è generalmente simmetrica. La parte che s'inclina di più coincide evidentemente con quella che è nell'accrescimento più rapido. L'estremità e la parte basilare non crescono che leggermente e s'inclinano assai poco.

Se consideriamo i posti ben distinti che occupano nella serie vegetale i diversi generi che abbiamo nominato, possiamo concludere che le estremità delle radichette di tutte o di quasi tutte le piante sono sensibili in simile maniera, e possono trasmettere una eccitazione capace di determinare l'incurvatura della parte superiore. Quanto alle estremità delle radici secondarie, noi abbiamo osservato soltanto quelle di *Vicia faba*, di *Pisum sativum* e di *Zea mays*, e le abbiamo trovate sempre dotate della stessa sensibilità.

Affinchè questi movimenti si producano liberamente è necessario che le radichette possano crescere colla loro normale velocità. Quando sono esposte ad una temperatura elevata, se il loro accrescimento è accelerato, pare che l'estremità perda la sua sensibilità o che la parte superiore non abbia più il potere di curvarsi. Se l'accrescimento è assai lento, sembra avvenire la stessa cosa in causa del poco vigore della pianta, o della debole temperatura alla quale è esposta, e ciò succede del pari quando si faccia germogliare dei semi nel cuore dell'inverno.

L'incurvatura della radichetta si produce qualche volta 6 ad 8 ore dopo l'irritazione dell'estremità; essa non esige mai più di 24 ore, eccettuata la radichetta robusta di *Æsculus*. L'incurvatura ha spesso luogo ad angolo retto, cioè a dire la parte terminale si drizza in alto fino che la sua estremità, che è soltanto poco curvata, si proietta quasi orizzontalmente. Qualche volta l'estremità, in causa

dell'eccitazione continua, prodotta dalla costante presenza dell'oggetto attaccato, s'incurva fino a formare un uncino (la sua punta è allora diretta verso il cielo), od un'ansa, oppure una spira. Dopo un certo tempo, la radichetta s'abitua manifestamente all'eccitazione, come avviene nei viticci, giacchè essa incomincia a crescere in basso, quantunque il quadrato di cartone, o qualsiasi altro corpo straniero, non abbia cessato di essere attaccato alla di lei estremità.

È evidente che un piccolo oggetto fissato alla punta libera di una radichetta sospesa verticalmente nell'aria non possa opporre alcuna resistenza meccanica al di lei accrescimento totale, poichè quest'oggetto è tirato verso il basso, quando la radichetta si allunga, e verso l'alto, quando s'incurva. L'accrescimento stesso dell'estremità non può essere impedito meccanicamente dalla presenza di un oggetto di piccole dimensioni fissato mediante l'acqua gommata, che rimane tutto il tempo perfettamente viscosa. Il peso dell'oggetto è affatto insignificante; esso dovrebbe del resto opporsi all'incurvatura verso l'alto. Laonde possiamo concludere che è l'eccitazione dovuta al contatto che determina il movimento. Questo contatto, per altro, deve essere prolungato, poichè, essendo state soffregate per breve tempo le estremità di 15 radichette, esse per tale trattamento non s'incurvarono punto. Noi abbiamo dunque qui un caso di sensibilità specializzata analoga a quella delle ghiandole della Drosera; questi organi, infatti, dotati di una squisita sensibilità ad una pressione un poco prolungata, non sono eccitati da due o tre contatti rapidi.

Allorchè la punta di una radichetta è leggermente cauterizzata col nitrato d'argento secco, la lesione che ne risulta è assai debole; la parte immediatamente superiore s'inclina nella direzione opposta alla parte cauterizzata, e ciò più nettamente, nella maggior parte dei casi, che allorquando l'eccitazione è prodotta da piccoli oggetti attaccati sopra un lato. Non è qui certamente il contatto, ma invece l'effetto prodotto dal caustico che fa sì che l'estremità trasmetta alla parte immediatamente superiore un'eccitazione capace di determinare la sua curvatura. Se uno dei lati dell'estremità è gravemente danneggiato o bruciato dal caustico, esso cessa di crescere, mentre l'accrescimento continua sul lato opposto, da che risulta che l'estremità stessa s'incurva verso la parte danneggiata e forma sovente un uncino completo, ed è notevole che in questo caso la parte immediatamente superiore non s'incurva. Lo stimolante è troppo potente od il suo effetto troppo profondo, perchè l'eccitazione prodotta possa essere trasmessa dall'estremità. Nella *Drosera*, *Dionœa* e *Pinguicula* noi troviamo dei casi esattamente analoghi, poichè in queste piante uno stimolante troppo energico non eccita i tentacoli a curvarsi, od i lobi a chiudersi, od i bordi a piegarsi all'interno.

Quanto al grado di sensibilità della punta al contatto, nelle condizioni favorevoli, abbiamo visto che nella *Vicia faba* un piccolo quadrato di carta da lettere fissato colla gomma lacca bastava per determinare il movimento; lo stesso effetto

fu prodotto in un caso da un pezzo umido di foglia d'oro; ma l'azione fu debole. Dei brevi pezzi di setole moderatamente grosse (abbiamo date le loro dimensioni) fissati coll'acqua gommata non agirono che in tre esperienze sopra undici, e delle goccie di gomma lacca secca pesanti meno di $^1/_{200}$ di grano non agirono che in due esperienze sopra undici, per cui qui abbiamo raggiunto press'a poco il minimo di eccitazione necessaria. L'estremità radiculare è quindi molto meno sensibile alla pressione che le ghiandole di *Drosera*, poichè queste sono influenzate dal contatto di oggetti molto più tenui che dei pezzi di setole e da pesi ben inferiori a $^1/_{200}$ di grano. Ma la prova più interessante della delicata sensibilità dell'estremità radiculare ci fu fornita dal potere che possiede quest'organo di fare una distinzione fra i quadrati di cartoncino e di carta assai sottile, aventi la medesima grandezza, allorchè erano attaccati sopra i lati opposti, come osservammo sulle radichette della fava e della quercia.

Allorchè le radichette della fava erano distese orizzontalmente e provvedute di quadrati di cartone alla loro faccia *inferiore*, l'eccitazione così provocata era sempre più debole del geotropismo, che agiva allora nelle condizioni più favorevoli, perpendicolarmente sulla radichetta. Ma allorchè erano attaccati degli oggetti sospesi verticalmente, sopra le radichette dei generi che abbiamo nominati, l'eccitazione era più forte del geotropismo. Quest'ultima influenza, infatti, si manifestava all'origine obliquamente sulla radichetta; l'eccitazione immediata dell'oggetto attaccato, aiutata dalla forza acquistata, prendeva dunque il sopravvento e determinava l'incurvatura della radichetta verso l'alto, qualche volta fino a che la punta veniva diretta verso lo *zenit*. Dobbiamo dire, per altro, che la forza acquistata dall'estremità eccitata sotto l'influenza di un oggetto che la tocca, non entra in attività che dopo che il movimento è ormai stato determinato. L'estremità delle radichette del pisello sembrano essere più sensibili al contatto che quelle della fava: infatti allorchè erano distese orizzontalmente, e provvedute alla loro faccia inferiore di piccoli quadrati di cartone, talvolta s'iniziava una lotta delle più curiose; e prevaleva ora l'una ed ora l'altra delle forze; infine però la vittoria rimaneva sempre al geotropismo. Tuttavia, in due casi, la parte terminale si curvò talmente verso l'alto, che in seguito si formarono dei cirri. Dunque, nel pisello, l'eccitazione determinata da un oggetto attaccato, e dal geotropismo, allorchè questa forza agisce perpendicolarmente sulla radichetta, sono due influenze quasi eguali. Osservammo dei risultati intieramente somiglianti nelle radichette di *Cucurbita ovifera* distese in posizione orizzontale, allorchè le loro estremità erano leggermente cauterizzate sulla faccia opposta.

Infine i diversi movimenti coordinati, col mezzo dei quali le radichette possono compiere le funzioni loro proprie, raggiungono un'ammirabile perfezione. In qualunque direzione la radichetta esca in principio dal seme, il geotropismo la guida perpendicolarmente verso il basso, e si è nell'estremità che risiede la

facoltà di subire l'azione della gravità. Sachs però ha dimostrato (1) che le radici secondarie, o emesse dalla radice primaria, subiscono l'azione del geotropismo in guisa che tendono a dirigersi obliquamente in basso; se esse fossero sensibili a questa forza quanto la radichetta primaria, tutte le radici penetrerebbero nella terra in un fascio chiuso. Noi abbiamo visto che quando l'estremità della radichetta primaria è asportata o danneggiata, le radici secondarie vicine divenendo geotropiche crescono perpendicolarmente in basso, facoltà che deve spesso essere di grande utilità per la pianta, quando cioè la radichetta primaria sia stata distrutta dalle larve d'insetti, dagli animali scavatori, o in seguito a qualche altro accidente. Le radici terziarie, od emesse dalle secondarie, non sono influenzate, almeno nella fava, dal geotropismo, e quindi si sviluppano liberamente in tutte le direzioni. Questo modo di accrescimento delle diverse sorta di radici ha per conseguenza di distribuirle coi loro peli radiculari in tutta la terra circostante, e ciò, come Sachs lo ha fatto osservare, nel modo più vantaggioso, poichè tutto il suolo viene in tale guisa esplorato.

Come abbiamo dimostrato nell'ultimo capitolo, il geotropismo determina l'incurvatura in basso della radichetta con forza assai poco considerevole, affatto insufficiente a perforare la terra. Questa penetrazione si effettua perchè l'estremità puntuta (protetta dalla piloriza) è compressa verso il basso, in causa dell'espansione longitudinale, o dell'accrescimento della porzione terminale rigida, aiutata dall'accrescimento trasversale, e l'azione cumulativa di queste due forze è considerevole. È per altro indispensabile che i semi da principio siano tenuti depressi in qualche modo. Allorchè essi giacciano a nudo sul suolo, sono trattenuti dai peli radiculari che si attaccano agli oggetti vicini; questo fenomeno è apparentemente dovuto a ciò che la superficie inferiore di questi peli si converte in una specie di cemento. Molti semi sono coperti in modo casuale, o cadono in buchi od in fenditure; in alcuni basta a trattenerli il loro peso.

Il movimento di circumnutazione della parte terminale in via di accrescimento, nelle radici primarie e secondarie, è così debole che non reca che un piccolissimo aiuto per la penetrazione nella terra, fatta astrazione dal caso in cui lo strato superficiale è molle ed umido. Ma esso può loro fornire un aiuto materiale, allorchè vengono a penetrare obliquamente nelle screpolature o nei fori praticati dai lombrici o dalle larve. Di più, questo movimento combinato colla sensibilità della punta al contatto non può mancare di avere una grande importanza; infatti, l'estremità procurando sempre d'inclinarsi in tutte le direzioni, eserciterà una pressione in tutti i sensi, ed essa potrà così riconoscere, fra le superficie circostanti, quale sia la più dura e la più molle, come ha distinto i quadrati di cartoncino da quelli di carta fina. Per conseguenza tenderà a prendere una via che l'allontana dagli

(1) *Arbeiten Bot. Inst. Würzburg*, Heft. IV, 1874, p. 603, 631.

strati più duri del suolo, e seguirà così le linee della minore resistenza. Succederà la stessa cosa quando incontrerà nel terreno una pietra o la radice di un'altra pianta, fatti che devono ripetersi continuamente. Se l'estremità non fosse sensibile e se non determinasse la deflessione della parte superiore della radichetta, quando incontra perpendicolarmente un ostacolo nel suolo, si ripiegherebbe su se stessa in una massa attorcigliata. Invece abbiamo visto, facendo sviluppare delle radichette sopra delle lamine di vetro inclinate, che, al primo contatto dell'estremità con un pezzo di legno fissato sulla lamina di vetro, la parte terminale tutta intiera si defletteva in guisa che l'estremità occupava ben presto una posizione perpendicolare alla sua direzione primitiva. Lo stesso effetto si produrrebbe incontrando un ostacolo nel suolo, per quanto lo permetterebbe la pressione della terra circostante. Possiamo pure spiegarci perchè le radici corte e grosse, come quelle di *Æsculus*, mostrano meno sensibilità che altre più delicate, le prime essendo capaci, per la forza del loro accrescimento, di superare un leggero ostacolo.

Dopo che una radichetta è stata allontanata dalla sua corsa naturale in basso da una pietra o da una radice, ed ha toccato il bordo dell'ostacolo, il geotropismo la spinge a crescere di nuovo direttamente in giù; ma noi sappiamo che il geotropismo non ha che un'azione assai leggera, e qui, come lo ha osservato il Sachs (1), entra in azione un altro eccellente adattamento. La parte superiore della radichetta, un po' al disopra dell'estremità, è pure, come abbiamo visto, dotata di sensibilità, e questa proprietà determina la radichetta a curvarsi come un viticcio *verso* l'oggetto che la tocca, di guisa che, dopo di aver battuto contro il bordo di un ostacolo, essa si curverà in basso. L'incurvatura così determinata è brusca, e differisce sotto questo rapporto da quella determinata dall'irritazione di un lato dell'estremità radicolare. Questa curvatura in basso coincide con quella dovuta al geotropismo, e tutte due porteranno la radichetta a riprendere la sua direzione primitiva.

Siccome la radichetta risente gli effetti di un eccesso di umidità dell'aria sopra una delle sue faccie, e s'inclina da questa parte, così possiamo dedurre ch'essa si comporterà nella stessa maniera di fronte all'umidità del suolo. La sensibilità all'umidità risiede nella punta, la quale determina la curvatura della porzione superiore; e questa facoltà dà forse la ragione del fatto che sovente i tubi di drenaggio sono otturati da radici.

Se esaminiamo i diversi fatti esposti in questo capitolo, noi vediamo che il cammino seguito nel suolo da una radice è sottomesso a delle influenze assai diverse e complesse, e cioè: — il geotropismo che agisce in modo diverso sulle radici primarie, secondarie o terziarie; la sensibilità al contatto, che differisce secondo che si esercita sulla punta o sulla parte immediatamente ad essa superiore; — finalmente, secondo ogni apparenza, la sensibilità alle variazioni dello stato

(1) *Arbeiten Bot. Inst., Würzburg.* III, p. 456.

grometrico delle differenti parti del suolo. Questi diversi stimolanti del movimento sono tutti più potenti del geotropismo, quando questo agisca obliquamente sopra una radice deviata dal suo cammino primitivo verso il basso. Di più le radici della maggior parte delle piante subiscono l'azione della luce e s'inclinano sia verso questo agente fisico, sia in un senso contrario; ma siccome le radici, nelle condizioni naturali, non sono esposte alla luce, è da dubitare che tale sensibilità sia di una qualche utilità per la pianta; essa proviene forse dal fatto che le radichette sono assai sensibili agli altri stimolanti. La direzione presa dalla punta ad ogni periodo successivo dell'accrescimento di una radice determina la via della radice intera; è quindi della più alta importanza che la punta possa fin da principio prendere la direzione più vantaggiosa, laonde si comprende perchè la sensibilità al geotropismo, al contatto ed all'umidità risiedano tutte nell'estremità, e perchè quest'ultima determini l'incurvatura della parte superiore verso l'eccitante od in senso contrario. Una radichetta può essere confrontata con un animale scavatore, per esempio con una talpa, che procura di penetrare perpendicolarmente nel terreno. Muovendo continuamente la sua testa in tutti i sensi, ossia circumnutando, questo animale incontrerà ogni pietra o qualsiasi altro ostacolo, come pure le differenze nella durezza del suolo, e si volgerà verso la parte più conveniente; se la terra è più umida da una parte che dall'altra, si dirigerà verso essa come migliore territorio di caccia. Nondimeno, dopo ciascuna interruzione, guidata dalla gravità, la talpa potrà riprendere il suo cammino in basso e penetrare ad una profondità maggiore.

CAPITOLO IV.

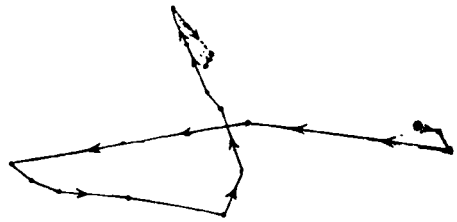
MOVIMENTI CIRCUMNUTANTI NELLE DIVERSE PARTI DELLE PIANTE ADULTE.

Circumnutazione dei fusti: osservazioni finali intorno ad esse. — Circumnutazione degli stoloni: aiuto in tale modo recato all'avvolgimento fra i fusti delle piante circostanti. — Circumnutazione dei fusti fioriferi. — Circumnutazione delle foglie delle Dicotiledoni. — Singolare movimento oscillatorio delle foglie di *Dionæa*. — Movimento notturno di discesa delle foglie di *Cannabis*. — Foglie delle Ginnosperme; delle Monocotiledoni; Crittogame. — Osservazioni finali sulla circumnutazione delle foglie: esse si elevano generalmente di sera per discendere di mattina.

Noi abbiamo visto nel primo capitolo che i fusti di tutte le pianticelle, siano ipocotili od epicotili, come pure i cotiledoni e le radichette, hanno un movimento continuo di circumnutazione, vale a dire, che il loro accrescimento si esercita in principio da una parte e poi dall'altra, accrescimento che è probabilmente preceduto da una maggiore turgescenza delle cellule. Siccome era supponibile che le piante cambiassero modo di accrescimento progredendo in età, ci sembrò assai probabile che i diversi organi di tutte le piante, in ogni età e per tutta la durata del loro accrescimento, dovessero essere in circumnutazione, quantunque forse in deboli proporzioni. Era cosa per noi assai importante la verificazione di queste previsioni, e quindi ci risolvemmo di esaminare con cura un certo numero di piante, nelle quali l'accrescimento era vigoroso e delle quali non si conosceva alcuna specie di movimento. Cominciammo dai fusti. Le osservazioni di questo genere sono assai penose; pensammo che sarebbe sufficiente di osservare questi organi in circa una ventina di generi, scelti fra famiglie molto distinte, ed originarie da diversi paesi. Scegliemmo parecchie piante che, in causa del loro fusto legnoso, o per altri motivi ancora, ci sembravano le meno disposte a circumnutare. Le osservazioni ed i diagrammi furono eseguiti col metodo da noi indicato nell'introduzione. Collocate le piante nei vasi, si esposero ad una temperatura conveniente, e durante le osservazioni, si conservarono nell'oscurità o furono debolmente rischiarate dall'alto. Esse sono disposte nell'ordine speciale di Hooker, tale quale è indicato nella *Botanica sistematica* di Le Maout e Decaisne. È stato indicato il numero d'ordine della famiglia, alla quale appartiene ogni pianta; esso servirà ad assegnare il posto a ciascuna nella serie.

1. *Iberis umbellata* (Cruciferæ, fam. 14). — Noi rilevammo per 24 ore, come lo mostra la fig. 70, il movimento del fusto di una giovane pianta, alta 4 pollici, composta di 4 internodi (compreso l'ipocotilo), che portava alla sua estremità una grande gemma. Per quanto potemmo giudicare, la circumnutazione non si estendeva che al pollice superiore del fusto ed avveniva in un modo assai semplice. Il movimento era debole e la velocità assai differente in momenti diversi. Nel suo cammino il fusto descrisse un'ellisse irregolare, o, meglio, un triangolo, in 6 ore 30 m.

Fig. 70.



Iberis umbellata : circumnutazione del fusto di una giovane pianta, rilevata dalle 8,30 del mattino del 13 settembre, alla stessa ora del mattino successivo. Distanza dalla sommità del fusto sotto al vetro orizzontale 7,6 pollici. Diagramma ridotto alla metà. Movimento amplificato da 4 a 5 volte.

2. *Brassica oleracea* (Cruciferæ). — Collocammo sotto al microscopio munito di oculare a micrometro una pianta assai giovane, che portava tre foglie, di cui la più lunga misurava 3/4 di poll. in lunghezza, e vedemmo che l'estremità della foglia maggiore si mostrava in movimento continuo. Essa attraversò 5 divisioni del micrometro, cioè 1/100 di pollice in 6 minuti e 20 s. Si può appena dubitare che la sede principale di questo movimento non fosse nel fusto, poichè l'estremità della foglia non si allontanava sensibilmente dal fuoco; ciò che sarebbe avvenuto se il movimento fosse stato limitato nella foglia che si muoveva in alto e basso quasi nello stesso piano verticale.

3. *Linum usitatissimum* (Lineæ, fam. 39). — I fusti di questa pianta, un poco prima del periodo della fioritura, si muovono in cerchio o circumnutano, ciò che è stato constatato da Fritz Müller (*Jenaische Zeitschrift*, vol. 5, p. 137).

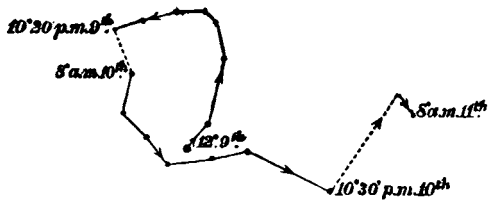
4. *Pelargonium zonale* (Geraniaceæ, fam. 47). — Una giovane pianta lunga 7 1/2 poll. fu osservata nel modo solito; tuttavia, affine di vedere la goccia di cera all'estremità del filo di vetro, e nello stesso tempo il punto di segnale sottoposto, fummo costretti di tagliare da questa parte tre foglie. Ignoriamo se si fu per questo motivo o per altra ragione che la pianta si era in principio curvata da un lato sotto l'influenza dell'eliotropismo, ma dal mattino del 7 marzo fino alle 10, 30 della sera del giorno 8 il fusto valicò una distanza considerevole descrivendo delle linee a zig-zag nella stessa direzione generale. Nella notte dell'8 esso percorse una certa distanza formando un angolo retto colla sua direzione primitiva ed al mattino successivo (al 9) esso rimase, per un certo tempo, quasi immobile. A mezzodì del 9 cominciammo una nuova traccia (vedi fig. 71), che fu continuata fino alle 8 del mattino del giorno 11. Dal mezzodì del 9 fino alle 10 di sera alle ore 5 (ossia nell'intervallo di 29 ore) il fusto descrisse un cerchio. Questa pianta dunque circumnuta, ma assai lentamente e sopra una piccola estensione.

5. *Tropæolum majus* (?) (varietà nana chiamata *Tom Thumb*) (Geraniaceæ, fam. 47). — Le specie di questo genere arrampicano coll'aiuto dei loro picciuoli sensibili, ma alcune si avvolgono pure intorno ai sostegni; ma nemmeno queste ultime specie circumnutano in modo evidente finchè sono ancora giovani. La varietà di cui parliamo qui ha un fusto abbastanza grosso ed è così nana che secondo ogni apparenza non arrampica in nessuna maniera. Noi volemmo determinare, se il fusto di una pianta giovane, formato di due internodi, alti insieme 3,2 poll., aveva un movi-

mento di circumnutazione. Esso fu osservato per 25 ore, e vediamo dalla fig. 72, che aveva un movimento a zig-zag, manifestando una circumnutazione.

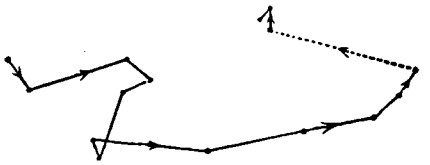
6. *Trifolium resupinatum* (Leguminosæ, fam. 75). — Quando parleremo del sonno dei vegetali, vedremo che i fusti in molti generi di Leguminose, per es. *Hedysarum*, *Mimosa*, *Melilotus*, ecc. che non racchiudono alcuna pianta rampicante, circumnutano visibilmente. Noi non daremo qui che un solo esempio (fig. 73),

Fig. 71.



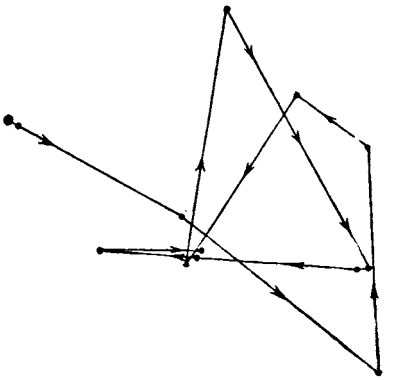
Pelargonium zonale: circumnutazione del fusto di una giovane pianta debolmente rischiarato dall'alto. Movimento della goccia di cera amplificato 11 volte circa; rilevato sopra un vetro orizzontale dal mezzodì del 9 marzo fino alle 8 del mattino del giorno 11.

Fig. 72.



Tropæolum majus (?) : circumnutazione del fusto di una giovane pianta, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 9 del mattino del 26 dicembre alle 10 del mattino del 27. Movimento della goccia di cera amplificato 6 volte circa. Ridotto alla metà.

Fig. 73.



Trifolium resupinatum : circumnutazione del fusto, rilevata sopra un vetro verticale il 3 novembre dalle 9,30 del mattino alle 4,30 della sera. Traccia poco amplificata, e ridotta qui alla metà dell' originale. Pianta debolmente rischiarata dall'alto.

mostrante la circumnutazione del fusto di una grande pianta di trifoglio (*Trifolium resupinatum*). Nel corso di 7 ore questo fusto cambiò otto volte di direzione e descrisse tre circoli irregolari od ellissi; dunque circumnutava rapidamente. Alcune delle linee tracciate correvano perpendicolarmente l'una sull'altra.

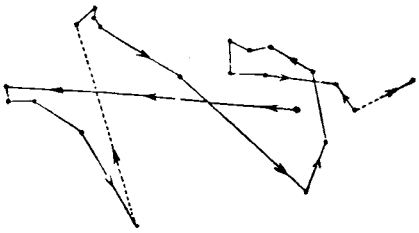
7. *Rubus idæus* (ibrido) (Rosaceæ, fam. 76). — Siccome a caso possedevamo una giovane pianta, alta 11 pollici e vigorosa, proveniente dall' incrocio fra il lampone (*Rubus idæus*) ed un *Rubus* del Nord dell'America, così la osservammo nel modo consueto. Nella mattina del 14 marzo il fusto descrisse un cerchio quasi completo, e si mosse poscia molto verso destra. A 4 ore della sera ritornò sui suoi passi, e cominciammo allora una nuova traccia (fig. 74), che fu continuata per 40 ore e 1/2. Noi abbiamo qui una circumnutazione ben marcata.

8. *Deutzia gracilis* (Sassifrageæ, fam. 77). — Osservammo un getto sopra un buscione alto circa 18 pollici. La goccia di cera cambiò nettamente di direzione undici volte nel corso di 10 ore e 30 minuti (fig. 75), e non si può dubitare che vi fosse circumnutazione.

9. *Fuchsia*, varietà delle serre, a grandi fiori, probabilmente ibrida (Onagrarieæ, fam. 100). — Una giovane pianta alta 15 poll. fu osservata per circa 48 ore. La figura qui unita (fig. 76), indica le principali particolarità del suo cammino, e mostra che il fusto circumnutava quantunque abbastanza debolmente.

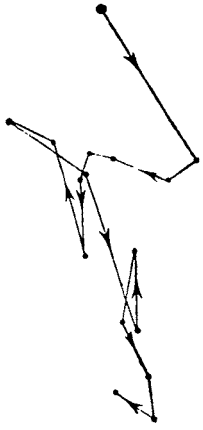
10. *Cereus speciosissimus*, varietà dei giardini che riceve talvolta il nome di *Phyllocactus multiflorus* (Cacteæ, fam. 109). — Questa pianta che germogliava vigorosamente, poichè era stata trasportata alcuni giorni prima dal giardino nella serra, fu osservata con interesse particolare, giacchè ci sembrava assai poco probabile che il fusto circumnutasse. I rami erano larghi o flabelliformi, ma alcuni presentavano una sezione triangolare colle tre faccie incavate. Scegliemmo per l'osservazione uno di questi ultimi, lungo 9 poll. e grosso 1 1/2 poll. ; esso ci pareva meno atto a circumnutare che un ramo flabelliforme. Il movimento della goccia di cera all'estremità del filo di vetro fissato alla cima del ramo fu rilevato (A, fig. 77) il 23 novembre dalle 9, 23 del mattino alle 4, 30 della sera; durante questo tempo esso cambiò sei volte notevolmente di direzione. Li 24 fu rilevata un'altra traccia (vedi B), ed in questo giorno la goccia di cera cambiò con maggior frequenza di direzione ; in 8 ore descrisse una figura che può considerarsi formata di quattro ellissi, i cui assi maggiori avevano delle direzioni differenti. La posizione del fusto e la sua direzione primitiva, al mattino successivo, sono indicate nella stessa figura.

Fig. 74.



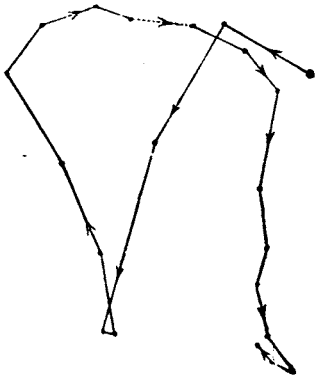
Rubus (ibrido): circumnutazione di un fusto, tracciata sopra un vetro orizzontale, dalle 4 di sera del 14 marzo alle 8,30 del mattino del 16. Traccia fortemente amplificata e ridotta qui alla metà. Pianta debolmente illuminata dall'alto.

Fig. 75.



Deutzia gracilis: circumnutazione di un fusto conservato nell'oscurità, rilevata sopra un vetro orizzontale il 20 marzo dalle 8,30 del mattino alle 7 della sera. Movimento della goccia di cera amplificato 20 volte circa, e ridotto qui alla metà.

Fig. 76.

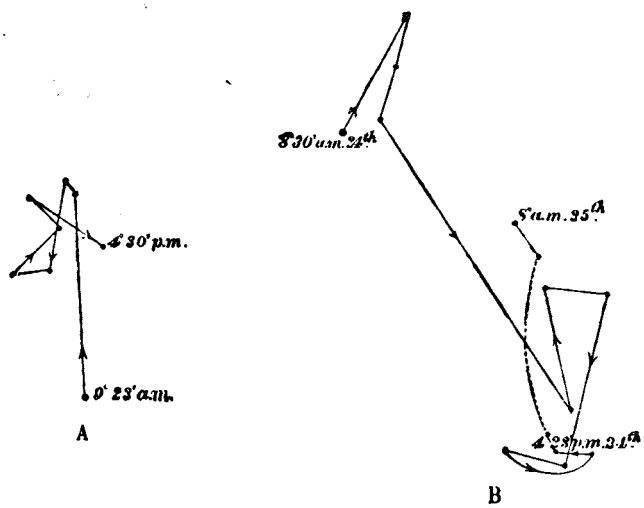


Fuchsia (var. dei giardini): circumnutazione di un fusto, conservato nell'oscurità, rilevata sopra un vetro orizzontale il 20 marzo dalle 8,30 del mattino alle 7 di sera. Movimento della goccia di cera amplificato 40 volte circa, e ridotto qui alla metà.

Non si può dubitare che questo ramo circumnutasse malgrado il suo aspetto completamente rigido. Tuttavia, la quantità estrema del movimento durante questo tempo era assai debole e probabilmente inferiore a 1/20 di pollice.

11. *Hedera helix* (Araliaceæ, fam. 114). — Si sa che il fusto è afeliotropico, e più pianticelle, germogliando in un vaso nella serra, si curvarono a metà della state, allontanandosi ad angolo retto dalla luce. Li 2 settembre alcuni di questi fusti vennero raddrizzati verticalmente e posti davanti ad una finestra collocata al N.-E.; ma con nostra grande sorpresa essi erano divenuti decisamente eliotropici, poichè durante quattro giorni si curvarono verso la luce, ed il loro cammino, rilevato

Fig. 77.



Cereus speciosissimus: Circumnutazione di un fusto, rischiarato dall'alto, rilevata sopra un vetro orizzontale; in A, li 23 novembre dalle 9 del mattino alle 4,30 della sera; in B, dalle 8,30 del mattino del 24 alle 8, pure del mattino, del 25. Movimento della goccia di cera, in B, amplificato circa 38 volte.

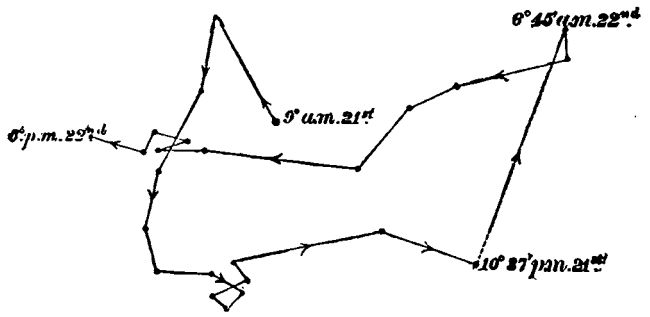
sopra un vetro orizzontale, formava delle marcate linee a zig-zag. Durante i sei giorni che seguirono si tennero le piante nello stesso posto davanti alla finestra, e trascorsi 15 giorni si osservarono i fusti per 2 giorni, e si notarono i loro movimenti; ne risultò che circumnutavano ancor sempre, sebbene in grado minore.

12. *Gazania ringens* (Compositæ, fam. 122). — Fu rilevata per 33 ore la circumnutazione del fusto di una giovane pianta alta 7 poll. (dal piede all'apice della foglia più alta) (Vedi la fig. 78). Si può vedere che due linee principali corrono quasi perpendicolarmente sopra due altre linee principali, esse però sono interrotte da piccole anse.

13. *Azalea indica* (Ericineæ, fam. 128). — Si scelse per l'osservazione un arbusto alto 21 poll. La circumnutazione del suo piede principale fu rilevata, come lo dimostra la fig. 79, durante 26 ore e 40 m.

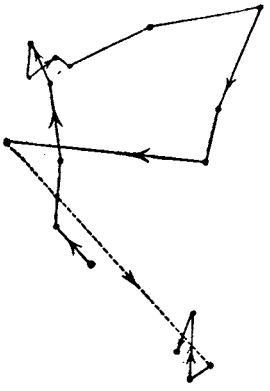
14. *Plumbago capensis* (Plumbagineæ, fam. 134). — Per l'osservazione fu scelto un piccolo ramo laterale che usciva da un vigoroso buscione formando un angolo di 35° sopra l'orizzonte. Durante le 11 prime ore si mosse da un lato fino ad una distanza considerevole quasi in linea retta, probabilmente perchè era stato prima, mentre si trovava nella serra, deviato dalla luce. Li 7 di marzo, alle 7,20 della sera, fu cominciata una nuova traccia e continuata per 43 ore e 40 minuti (vedi fig. 80). Durante le 2 prime ore, esso seguì quasi la stessa direzione di prima, poscia cambiò un poco; durante la notte si mosse quasi perpendicolarmente alla sua direzione primitiva.

Fig. 78.



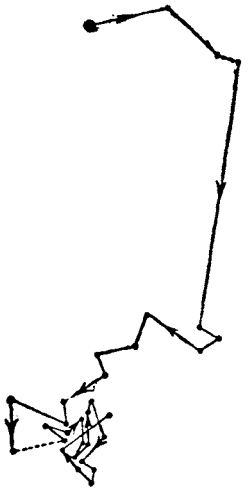
Gazania ringens : circumnutazione di un fusto, rilevata dalle 9 del mattino del 21 marzo alle 6 di sera del 22 ; pianta conservata nell'oscurità. Movimento della goccia di cera, alla fine dell'osservazione, amplificato 34 volte, e ridotto qui alla metà.

Fig. 79.



Azalea indica: circumnutazione di un fusto, rischiarato dall'alto, rilevata sopra un vetro orizzontale, dalle 9,30 del mattino del 9 marzo alle 12,10 di sera del 10, stesso mese. Ma nella mattina del 10, quattro punti soltanto furono tracciati dalle 8,30 del mattino alle 12,10 della sera, queste due ore comprese, di guisa che la circumnutazione, in questa parte del diagramma, non si mostra come dovrebbe. Movimento della goccia di cera amplificato 30 volte circa.

Fig. 80.

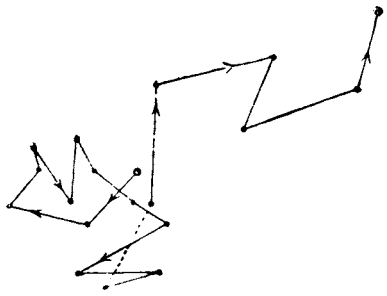


Plumbago capensis : circumnutazione dell'estremità di un ramo laterale, rilevata sopra un vetro orizzontale, dalle 7,20 di sera del 7 marzo alle 3, pure di sera, del 9 s. m. Movimento della cera amplificato 13 volte. Chiarore debole proveniente dall'alto.

Al mattino successivo (li 8) esso descrisse delle numerose linee a zig-zag, e li 9 si mosse irregolarmente intorno ad un piccolo spazio circolare. Li 9 alle ore 3 della sera la figura si era fatta così complicata, che non potemmo rilevare dei nuovi punti; ma il fusto continuò la sera del 9, tutto il 10 e la mattina dell' 11, a circumnutare irregolarmente nello stesso piccolo spazio, il cui diametro era soltanto di 1/20 di poll. circa (mm. 0,97).

15. *Aloysia citriodora* (Verbenaceæ, fam. 173). — La figura 81 indica i movimenti di un fusto durante 31 ore e 40 m., e mostra ch'esso circumnutava. La pianta misurava 15 poll. d'altezza.

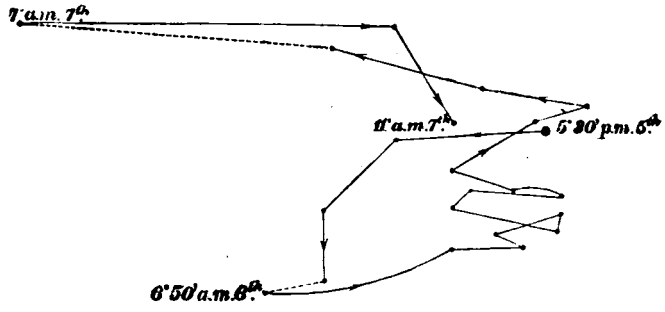
Fig 81.



Aloysia citriodora: circumnutazione del fusto, rilevata dalle 8,20 del mattino del 22 marzo alle 4 della sera del 23. Pianta posta nell'oscurità. Movimento amplificato 40 volte circa.

16. *Verbena melindres* (?) (var. erbacea, a fiori scarlatti) (Verbenaceæ). — Un getto alto 8 pollici era stato collocato orizzontalmente allo scopo di osservare il suo apogeotropismo; la parte terminale era cresciuta verticalmente in alto sopra una lunghezza di poll. 1 1/2. Fu fissato un filo di vetro munito di una goccia di cera perpendicolarmente sulla sua estremità, ed i suoi movimenti vennero rilevati durante 41 ore e 30 m. sopra un vetro verticale (fig. 82). In queste circostanze era messo in evidenza principalmente il movimento laterale. Siccome le linee tracciate da diritta a sinistra non sono nello stesso piano, bisogna che il fusto si sia mosso in un piano perpendicolare a quello del movimento laterale, cioè a dire ch'esso abbia circumnutato. Il giorno successivo (li 6) il fusto si portò, in 16 ore, 4 volte verso la destra e 4 volte verso la sinistra; questo movimento indica probabilmente la formazione di quattro ellissi, di cui ciascuna sarebbe stata completata in 4 ore.

Fig. 82.



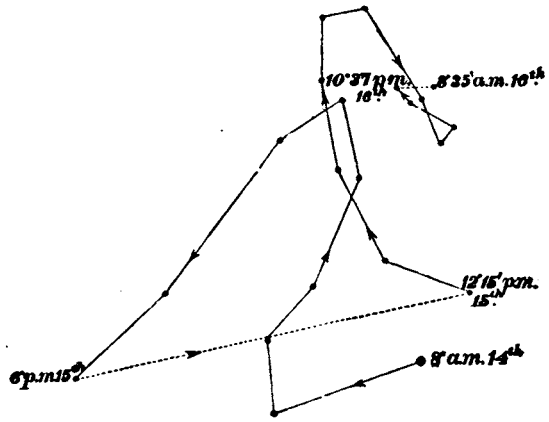
Verbena melindres: circumnutazione del fusto nell'oscurità, rilevata sopra un vetro verticale dalle 5,30 di sera del 5 alle 6,11 del mattino del 7 giugno. Movimento della goccia di cera amplificato 9 volte.

17. *Ceratophyllum demersum* (Ceratophylleæ, fam. 220). — E. Rodier ha pubblicato (1) un interessante lavoro sui movimenti del fusto di questa pianta acquatica. I movimenti sono limitati ai giovani internodi, e si fanno tanto meno sensibili quanto più si va verso il basso del fusto, la loro ampiezza è straordinaria. Il fusto percorreva qualche volta, in 6 ore, un angolo superiore a 200°, in un caso, ne descrisse uno di 220° in 3 ore. Questi fusti s'inclinano generalmente da destra a sinistra nella mattina, ed in direzione opposta nella sera; qualche volta questo movimento era invertito, oppure completamente arrestato. La luce non aveva

(1) *Comptes rendus*, 30 aprile 1877. Una seconda nota è stata anche pubblicata separatamente a Bordeaux li 12 novembre 1877.

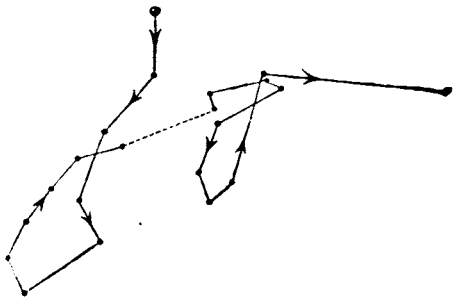
alcuna influenza sopra di esso. Non sembra che il signor Rodier abbia tracciato dei diagrammi in un piano orizzontale per rappresentare il cammino seguìto dall'estremità del fusto; egli parla peraltro di « rami che hanno un movimento di torsione intorno ai loro assi di accrescimento ». Dalle particolarità che abbiamo riferite, se noi ci ricordiamo soprattutto come, nel caso delle piante rampicanti e dei viticci, sia difficile di distinguere da una vera torsione la loro incurvatura verso tutti i punti dell'orizzonte, siamo condotti a concludere che i fusti di questo *Ceratophyllum* circumnutano, descrivendo probabilmente delle ellissi strette, di cui ciascuna è completa in 26 ore circa. Il passaggio seguente sembra tuttavia indicare un fenomeno che differisce alquanto dalla circumnutazione ordinaria; ma noi non possiamo comprenderlo perfettamente. Il signor Rodier dice: « è allora facile di vedere che il movimento di flessione si produce *in principio* nei meritali superiori, che si propaga *in seguito*, diminuendo dall'*alto* al *basso;* mentre che, al contrario, il movimento di *raddrizzamento* comincia dalla parte inferiore per terminare alla superiore che qualche volta, poco tempo prima di rialzarsi del tutto, forma coll'asse un angolo assai acuto.

Fig. 83



Lilium auratum: circumnutazione di un fusto nell'oscurità, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 8 del mattino del 14 marzo alle 3,35, pure del mattino, del 16 s. m. Bisogna notare che le nostre osservazioni furono interrotte dalle 6 di sera del 14 alle 12,15 pom. del 15, e che i movimenti in questo intervallo non sono rappresentati che da una linea punteggiata. Diagramma ridotto alla metà.

Fig. 84.



Cyperus alternifolius: circumnutazione di un fusto illuminato dall'alto, tracciata sopra un vetro orizzontale dalle 9,45 di mattina del 9 marzo alle 9 di sera del 10. Il fusto ebbe un accrescimento così rapido durante l'osservazione, che fu impossibile di calcolare l'amplificazione dei movimenti.

18. *Coniferæ.* — Il dottor Maxwell Masters dice (*Journal Linn. Soc.*, 2 dicembre 1879), che i germogli principali di molte Conifere durante il periodo del loro accrescimento attivo, mostrano dei movimenti assai notevoli di nutazione girante, ossia ch'essi circumnutano. Possiamo essere sicuri, che i germogli laterali mostrerebbero lo stesso movimento, se si osservassero con cura.

19. *Lilium auratum* (fam. Liliaceæ). — La circumnutazione del fusto di una pianta alta 24 pollici è rappresentata dalla fig. 83.

20. *Cyperus alternifolius* (fam. Ciperaceæ). — Un filo di vetro provveduto di una goccia di cera alla sua estremità fu fissato trasversalmente sulla cima di un

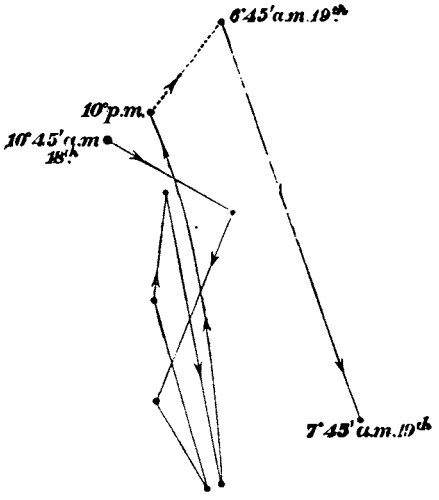
giovane fusto lungo 10 pollici al disotto della corona formata dalle foglie allungate. Li 8 marzo dalle 12,20 alle 7,20 della sera il fusto descrisse una ellisse aperta ad una estremità. Il giorno successivo cominciammo una nuova traccia (fig. 84), la quale dimostra pienamente che il fusto completò, in 35 ore e 15 minuti, tre figure irregolari.

Osservazioni finali sulla circumnutazione dei fusti. — Se si passano in rassegna i diagrammi che abbiamo dato, e si considera quanto sia diversa la posizione delle piante succitate nella serie vegetale; se ricordiamo che esistono delle buone ragioni per ritenere che circumnutano gli ipocotili e gli epicotili di tutte le pianticelle; se non si dimentica che numerose piante appartenenti alle famiglie più distinte arrampicano in grazia a dei movimenti simili; — si ammetterà probabilmente che in tutti i vegetali i fusti in via di accrescimento, sottomessi ad una osservazione accurata, si mostreranno in istato di circumnutazione sopra un'estensione più o meno grande. Quando parleremo del sonno e degli altri movimenti delle piante, daremo, incidentalmente, numerosi altri esempi di fusti circumnutanti. Riportandoci ai diagrammi, dobbiamo ricordarci che i fusti osservati erano sempre in via di accrescimento, di guisa che in tutti i casi l'estremità circumnutando si elevava e descriveva così una specie di spira. I punti vennero generalmente rilevati sopra i vetri ad un'ora od un'ora e mezza d'intervallo, e si unirono poi con linee rette. Se essi fossero stati tracciati a degli intervalli di 2 o 3 minuti, le linee di unione sarebbero state curve, come avveniva quando le estremità radicolari delle pianticelle in circumnutazione erano disposte in guisa da tracciare il loro cammino sopra dei vetri anneriti. La forma dei diagrammi si accosta generalmente ad una serie di ellissi o di ovali più o meno regolari, i cui assi maggiori sono, in uno stesso giorno o nei giorni successivi, diretti verso i differenti punti dell'orizzonte. I fusti s'inclinano dunque presto o tardi verso tutti i punti cardinali; ma appena un fusto si è inclinato in una direzione qualunque, esso ha dapprima la tendenza di dirigersi generalmente verso un punto quasi, se non completamente, opposto. È ciò che determina la tendenza dei fusti a formare delle ellissi generalmente strette, ma meno allungate tuttavia di quelle descritte dagli stoloni e dalle foglie. D'altra parte, le figure prendono qualche volta una forma che si avvicina al circolo. Qualunque sia la figura generata, il cammino seguente è spesso interrotto da linee a zig-zag, da piccoli triangoli, da anse o da ellissi. Un fusto può descrivere un giorno una sola grande ellisse e tracciarne due il giorno successivo. La complessità, la velocità e la quantità del movimento differiscono molto in piante simili. Per es., i fusti di *Iberis* e di *Azalea* non descrivono che una sola grande ellisse in 24 ore; invece quelli di *Deutzia* formano quattro o cinque linee a zig-zag pronunciate o piccole ellissi, in 11 ore 1/2; quelli di *Trifolium* danno origine in 7 ore a tre figure triangolari o quadrangolari.

Circumnutazione degli stoloni.

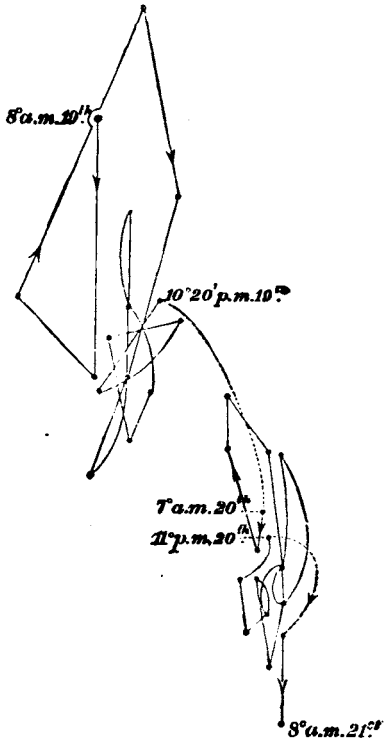
Gli stoloni sono dei rami flessibili, assai allungati, che, correndo alla superficie del suolo, emettono delle radici ad una certa distanza dalla pianta madre. La loro natura essendo dunque omologa a quella dei fusti, i tre esempi seguenti possono essere aggiunti ai venti che abbiamo già dati.

Fig. 85.



Fragaria: circumnutazione di uno stolone conservato nell'oscurità, rilevata sopra un vetro verticale dalle 10,45 del mattino del 18 maggio alle 7,45, pure del mattino, del 19.

Fig. 86.



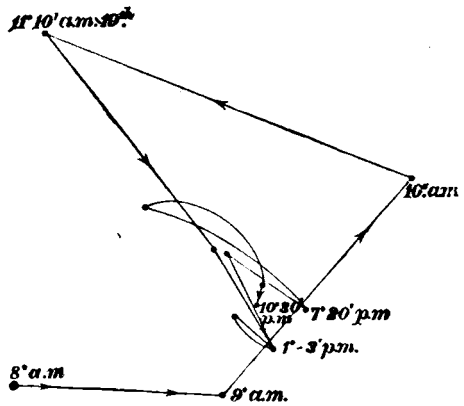
Fragaria: circumnutazione dello stesso stolone di quello della figura 85, osservata nella stessa maniera dalle 8 del mattino del 19 maggio alle 8 del mattino del 21.

Fragaria (var. orticola) (Rosaceæ). — Una pianta che germogliava in un vaso aveva emesso un lungo stolone, il quale venne sostenuto con un bastone di guisa che si proiettava orizzontalmente sopra una lunghezza di parecchi pollici. Fissammo sopra la gemma terminale, che si dirigeva in alto, un filo di vetro munito di due triangoli di carta. I suoi movimenti furono così rilevati per 21 ore, come lo mostra la fig. 85. Durante le 12 prime ore si mosse due volte in alto e tre volte in basso, seguendo delle linee a zig-zag, e continuò, senza dubbio, a comportarsi egualmente durante la notte. Al mattino successivo, dopo un intervallo di 20 ore, l'estremità era un poco più elevata che alla vigilia, ciò che mostra che nel corso di questo tempo lo stolone non aveva subìto l'azione del geotropismo (1); il suo peso non l'aveva più attirato verso il basso.

(1) Il D. A. B. Frank dice: (*Die Natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen*, 1870, p. 20) che gli stoloni di questa pianta subiscono l'azione del geotropismo, ma soltanto dopo un intervallo di tempo assai lungo.

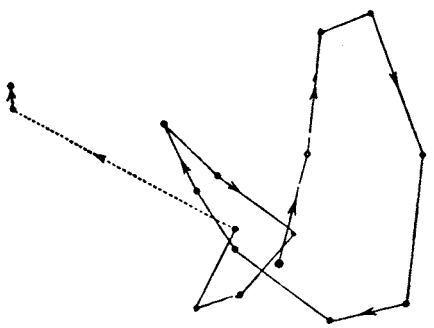
Al mattino successivo (li 19) il filo di vetro venne staccato e fissato immediatamente dietro la gemma poichè ci era sembrato possibile che la circumnutazione della gemma terminale fosse differente da quella della parte attigua dello stolone. Il movimento fu così rilevato per due giorni consecutivi (fig. 86). Durante il primo giorno, il filo si diresse, nel corso di 14 ore 30 m., cinque volte in alto e quattro in basso, senza tener conto di un certo movimento laterale. Al 20 il cammino era ancora più complesso, ed a fatica si può seguirlo sulla figura. Ma il filo si era mosso in 16 ore almeno cinque volte verso l'alto e cinque volte verso il basso, con una debolissima inflessione laterale. Il primo e l'ultimo punto rilevati durante questo secondo giorno (ossia ad 11 ore M. ed a 11 ore S.) erano assai avvicinati l'uno all'altro, ciò che indica che lo stolone non si era nè elevato nè abbassato. Tuttavia confrontando la sua posizione al mattino del 19 ed al mattino del 21, si doveva riconoscere ch'esso era caduto; si può attribuire questo fatto ad una leggera incurvatura in basso determinata sia dal proprio peso sia dal geotropismo.

Fig. 87.



Fragaria : circumnutazione di un altro stolone più giovane, rilevata dalle 8 di mattina alle 10,30 di sera. Figura ridotta alla metà.

Fig. 88.



Saxifraga sarmentosa : circumnutazione di uno stolone inclinato, rilevata nell'oscurità sopra un vetro orizzontale dalle 7,45 di mattina del 18 aprile alle 9, pure del mattino, del 19. Movimento dell'estremità dello stolone amplificato 2,2 volte.

Durante una parte della giornata del 20 facemmo una traccia ortogonale, applicando un cubo di legno sul vetro verticale ed osservando l'estremità dello stolone a differenti periodi di modo che essa si trovò sul prolungamento dell'uno degli spigoli del cubo; noi marcammo ogni volta un punto sul vetro. Questo diagramma rappresentava dunque esattamente la quantità effettiva del movimento; in un intervallo di 9 ore, la distanza estrema fra due punti fu di 0,45 pollici. Riconoscemmo nello stesso modo, che l'estremità dello stolone aveva percorso dalle 7 di mattina del 20 alle 8, pure di mattina, del 21, una distanza di 0,82 pollici.

Uno stolone più giovane e più breve venne sostenuto in guisa da proiettarsi formando con l'orizzonte un angolo di 45°, ed il suo movimento fu rilevato con lo stesso metodo ortogonale. Il primo giorno l'estremità si elevò assai presto al disopra del campo visivo. Al mattino successivo era ricaduta, ed il cammino che allora seguì fu rilevato durante 14 ore, 30 min. (fig. 87). La quantità del movimento era press'a poco la stessa da destra a sinistra e dall'alto al basso, e sotto questo punto di vista, il movimento differiva notevolmente da quello dei casi precedenti. Durante l'ultima parte della giornata, cioè a dire fra le 3 e le 10,30 di sera, la distanza percorsa dall'estremità raggiunse poll. 1,15; e durante l'intiera giornata

era almeno di 2,67 poll. Questa quantità di movimento è quasi paragonabile con quella di certe piante rampicanti. Lo stesso stolone fu osservato il giorno successivo, si muoveva allora in modo meno complesso, in un piano poco lontano dalla verticale. La massima quantità effettiva del movimento era di 1,55 poll. in un senso, e di 0,6 poll. nella direzione perpendicolare. Per tutto il tempo lo stolone non s'inclinò in basso nè per il suo peso, nè per l'influenza del geotropismo.

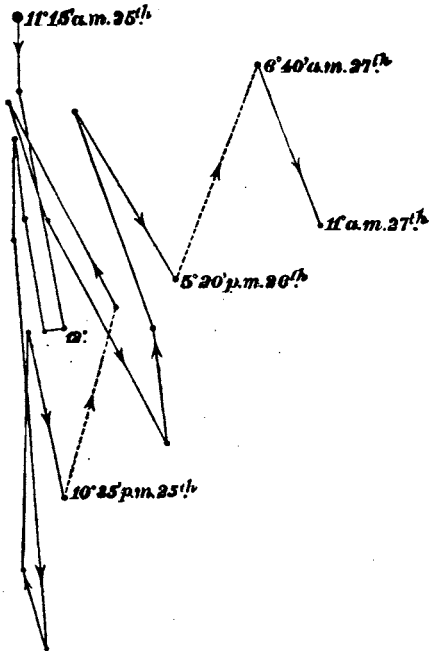
Quattro stoloni, ancora attaccati alla pianta madre, giacevano sopra la sabbia umida in fondo ad una stanza; le loro estremità erano dirette verso una finestra orientata al N.-E. Le ponemmo così, perchè il signor De Vries disse (1) che questi stoloni sono afeliotropici qualora sieno esposti alla luce del sole, ma noi non potemmo constatare alcun effetto di questa luce sì debole. In una occasione però, verso la fine della state, alcuni stoloni collocati immediatamente davanti ad una finestra al S.-O., a cielo nuvoloso, si curvarono distintamente verso la luce, e si mostrarono dunque eliotropici. Presso alle estremità di questi stoloni furono piantati nella sabbia molti piccoli bastoni, e diversi steli di erba secca allo scopo di rappresentare i fusti di numerose piante che allo stato naturale circondano gli stoloni. Volemmo così osservare, come tali stoloni nel loro accrescimento giungessero a passare attraverso a questi ostacoli. Essi lo fecero agevolmente in 6 giorni, e la loro circumnutazione facilitò di molto tale passaggio. Allorchè le loro estremità incontravano dei fusti troppo vicini per poter essere attraversati, esse vi passavano sopra alzandosi. I bastoni e gli steli d'erba furono levati dopo il passaggio dei quattro stoloni; due di questi ultimi avevano preso una forma permanentemente flessuosa, i due altri erano ancora diritti. Le esperienze fatte sulla Saxifraga ci daranno d'altronde dei nuovi schiarimenti su questo soggetto.

Saxifraga sarmentosa (Saxifrageæ). — Una pianta collocata in un vaso sospeso aveva emesso dei lunghi stoloni ramificati che pendevano da tutte le parti come dei pezzi di filo. Due furono legati in modo da trovarsi verticali, e le loro estremità superiori si curvarono gradatamente in basso; questo movimento era tuttavia così poco pronunciato, in un intervallo di molti giorni, che l'incurvatura risultava, secondo ogni probabilità, una conseguenza del loro peso e non del geotropismo. Un filo di vetro munito di triangoli di carta fu allora fissato all'estremità di uno di questi stoloni, che era lungo 17 pollici e mezzo, e che, malgrado la sua incurvatura sempre più forte verso il basso, formava ancora un angolo considerevole sopra l'orizzonte. Non si mosse che tre volte leggermente in senso orizzontale, poi verso l'alto; il giorno successivo il movimento era ancora più debole. Siccome questo stolone era sì lungo, ritenemmo che il suo accrescimento fosse quasi completo, quindi ne scegliemmo un altro più sottile e più breve che misurava in lunghezza poll. 10 1/4. Il suo movimento principale era orientato nettamente in alto e durante la giornata cambiò cinque volte di direzione. Nel corso della notte, la sua incurvatura in alto, in opposizione colla gravità fu tale, che non potendo più a lungo tracciare il movimento sopra un vetro verticale, dovemmo prenderne uno orizzontale. Seguimmo questo movimento ancora per 25 ore (ved. fig. 88). Durante le 15 prime ore furono descritte tre ellissi irregolari, di cui gli assi maggiori erano diversamente orientati. La quantità massima effettiva del movimento, durante le 25 ore, era di 0,75 pollici.

Parecchi stoloni vennero posti sopra una superficie piana di sabbia umida, come quelli della fragola. Lo sfregamento sulla sabbia non turbò punto la loro circumnutazione, e non potemmo trovare alcun indizio di sensibilità al contatto. Allo scopo di vedere come questi stoloni si comportino, allo stato naturale, allorchè

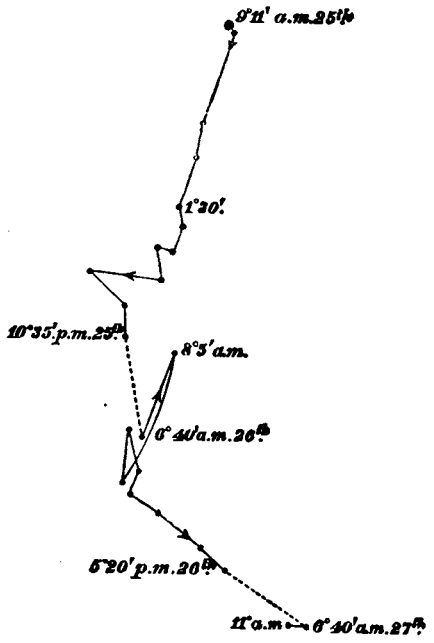
(1) *Arbeiten Bot. Inst.*, *Würzburg*, 1872, p. 434.

Fig. 89.



Cotyledon umbilicus: circumnutazione di uno stolone, rilevata dalle 11,45 del mattino del 25 agosto alle 11, pure del mattino, del 27. Pianta illuminata dall'alto. L'internodio terminale era lungo 0,25 poll., il penultimo 2,25 ed il terzo 3,0 poll. L'estremità dello stolone era a 5,75 dal vetro verticale; non era però possibile di determinare l'amplificazione del diagramma, poichè non sapevamo quale lunghezza dell'internodio prendesse parte alla circumnutazione.

Fig. 90.



Cotyledon umbilicus: circumnutazione e movimento di discesa di un altro stolone, rilevata sopra un vetro verticale dalle 9,11 del mattino del 25 agosto alle 11, pure del mattino, del 27. L'estremità presso al vetro era collocata in guisa che la figura non è amplificata che poco. Essa è qui ridotta a due terzi dell'originale.

incontrano sul suolo una pietra od un altro ostacolo, piantammo diritti nella sabbia, in faccia alla punta di due rami piccoli laterali, dei pezzetti di vetro annerito, alti un pollice. Le estremità degli stoloni sfioravano in diverse direzioni la superficie annerita; l'una descrisse tre linee dirette in alto, e due in basso, e di più, una linea quasi orizzontale; l'altra si curvò come per allontanarsi dal vetro, ma alla fine tutte e due passarono sopra il vetro e continuarono il loro cammino primitivo. Un altro stolone più grosso descrisse colla sua punta sul vetro annerito una linea curva, poi retrocesse, indi ritornò in contatto col medesimo, si diresse poscia a destra, poi, dopo un movimento di ascesa, ridiscese verticalmente; più tardi circondò una delle parti del vetro, in luogo di passarvi sopra.

Parecchi lunghi spilli furono piantati nella sabbia così vicini gli uni agli altri da trovarsi stipati davanti ai due medesimi sottili rami laterali; i quali trovarono facilmente il loro cammino attraverso a questi ostacoli. Uno stolone più grosso fu deviato molto di più dal suo cammino primitivo; in un punto dovette piegare perpendicolarmente dalla sua direzione primitiva; più avanti gli fu impossibile di passare fra gli aghi, e la sua parte terminale dovette curvarsi; si curvò poscia in

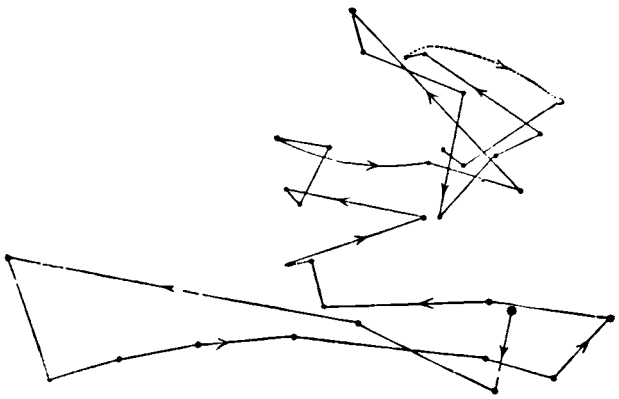
alto, e passò attraverso lo spazio compreso fra le estremità superiori di due aghi che accidentalmente divergevano un poco; finalmente ridiscese e terminò per uscire da quell'ammasso di spilli. Il medesimo stolone era divenuto regolarmente sinuoso, benchè in grado debole, e là dove esistevano tali sinuosità, era più grosso che altrove, probabilmente perchè il suo accrescimento longitudinale era stato interrotto.

Cotyledon umbilicus (Crassulaceæ). — Una pianta che germogliava in un catino di musco umido aveva emesso due stoloni lunghi 22 e 20 poll. Uno era sostenuto in modo che la sua estremità, sopra una lunghezza di 4 $^1/_2$ poll., si proiettava orizzontalmente; rilevammo il movimento di questa estremità. Il primo punto fu tracciato alle ore 9,10 ant.; la parte terminale cominciò ben presto ad inclinarsi in basso, e continuò così fino verso mezzodì. Noi tracciammo dunque in principio, sul vetro, una linea diritta, quasi così lunga come tutta la fig. 89; la parte superiore di questa linea non è stata però copiata nel diagramma qui riportato. L'incurvatura si produsse nel mezzo del penultimo internodio, e la sua sede principale era a 1 1/4 poll. dall'estremità; essa sembrava dovuta al peso della parte terminale, che agiva sulla porzione flessibile dell'internodio, ma non al geotropismo. La punta, dopo di essere così caduta dalle 9,10 del mattino fino a mezzodì si diresse leggermente a sinistra; in seguito si rilevò e circumnutò in un piano quasi verticale, fino alle 10,35 della sera. Il giorno successivo (li 26) fu osservata dalle 6,40 antim. alle 5,20 pom. e durante questo tempo si diresse due volte in alto e due volte in basso. Nel corso della mattina del 27 essa era elevata quanto alle 11,30 ant. del 25. Non ridiscese nella giornata del 28, ma continuò a circumnutare press'a poco intorno al medesimo punto. Un altro stolone, che somigliava al precedente quasi sotto ogni riguardo, fu osservato nel corso di questi due medesimi giorni, ma 2 poll. soltanto della sua parte terminale sporgevano liberi ed orizzontali in avanti. Li 25, l'estremità continuò dalle 9,10 antim. alle 1,30 pom. ad inclinarsi diritta in basso, evidentemente pel proprio peso (fig. 90); ma dopo tale momento e fino alle 10,35 di sera descrisse delle linee a zig-zag. Questo fatto merita la nostra attenzione, poichè probabilmente noi abbiamo qui gli effetti combinati dell'incurvamento dovuto al peso ed alla circumnutazione. Lo stolone, per altro, non circumnutava quando cominciava ad inclinarsi, come si può vedere dal diagramma, e come era anche più manifesto nel caso precedente, dove una parte più lunga dello stolone era rimasta senza sostegno. Il giorno successivo (li 26) questo stolone si mosse due volte in alto e due volte in basso, ma continuò ben presto a cadere; la sera e durante la notte prese, per una causa sconosciuta, una direzione obliqua.

Da questi tre casi noi vediamo che gli stoloni circumnutano in modo assai complesso. Le linee descritte si estendono generalmente in un piano verticale, fatto che deve probabilmente essere attribuito al peso dell'estremità libera dello stolone; esiste però sempre un certo movimento laterale, che può talvolta farsi considerevole. La circumnutazione possiede sì grande ampiezza che si può quasi confrontarla a quella delle piante rampicanti. Le osservazioni precedenti non permettono di dubitare che gli stoloni non siano aiutati da questo movimento a passare attraverso agli ostacoli, ed a camminare fra i fusti delle piante circostanti. Senza la circumnutazione, le loro estremità si sarebbero facilmente curvate su se stesse, tutte le volte che incontravano un ostacolo per via; ma il fatto è che evitano agevolmente li impedimenti che si presentano. Tale facoltà costituisce necessaria menteun im-

menso vantaggio per la pianta che si allontana dal fusto progenitore; noi siamo tuttavia lontani dal supporre che tale proprietà sia stata acquistata per codesto scopo dagli stoloni; la circumnutazione ci sembra piuttosto essere universalmente diffusa in tutte le parti in via di accrescimento. Non è però improbabile che l'ampiezza di tale movimento possa essersi accresciuta specialmente per questo scopo.

Fig. 91.



Oxalis carnosa: fusto fiorifero, debolmente illuminato dall'alto: circumnutazione rilevata dalle 9 di mattina del 13 aprile alla stessa ora del giorno 15. Sommità del fiore a 8 poll. al disotto del vetro orizzontale. Movimento amplificato probabilmente circa 6 volte.

Circumnutazione dei fusti fioriferi.

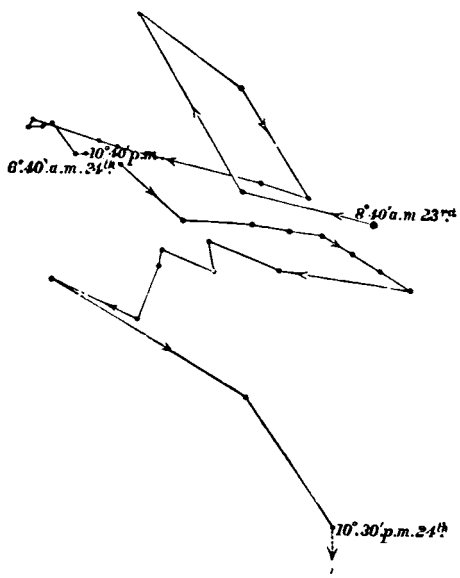
Non abbiamo creduto necessario di istituire delle osservazioni speciali sulla circumnutazione dei fusti fioriferi, poichè essi, come i fusti o stoloni, sono di natura assile. Tuttavia, sono state fatte occasionalmente alcune osservazioni su questo soggetto ed a proposito di altre ricerche, e noi le indicheremo in modo riassuntivo. Alcuni sperimenti di questo genere vennero inoltre segnalati da altri botanici. Tutto sommato, c'è quanto basta per rendere assai probabile l'asserzione che i peduncoli principali e secondarî circumnutino durante il loro accrescimento.

Oxalis carnosa. — Il peduncolo fiorale che esce dal fusto grosso e legnoso di questa pianta porta tre o quattro pedicelli secondarî. Un filo, munito di piccoli triangoli di carta, fu fissato nel calice di un fiore eretto. I suoi movimenti si osservarono durante 48 ore; nella prima metà di questo intervallo, il fiore era completamente sviluppato e si appassì nella seconda. La figura 91 rappresenta 8 o 9 ellissi. Benchè il peduncolo principale circumnutasse e descrivesse in 24 ore quattro grandi e due piccole ellissi, la sede principale del movimento si trovava tuttavia nei peduncoli secondarî, che s'inclinarono più tardi verticalmente verso il basso, come lo descriveremo in un capitolo successivo. Anche il peduncolo fiorale dell'*Oxalis acetosella* si curva in basso, e più tardi, quando i frutti sono maturi, in alto, ciò che è conseguito con un movimento di circumnutazione.

Si può vedere dalla figura che il fusto fiorifero di *O. carnosa* circumnuta per

due giorni intorno al medesimo punto. D'altra parte, il fusto fiorifero di *O. sensitiva* subisce un cambiamento di posizione periodico, quotidiano e ben marcato, allorchè viene sottomesso ad una temperatura conveniente. A metà della giornata esso si dirige verticalmente in alto, od almeno ad un grande angolo; dopo mezzodì esso discende, e di sera è diretto orizzontalmente o quasi; e si rialza poscia durante la notte. Questo movimento continua, per quanto crediamo, dal momento in cui i fiori sono ancora nella gemma fino all'epoca che sono maturi i frutti. Si potrebbe forse farlo entrare nella categoria dei movimenti che furono designati sotto il nome di sonno delle piante. Non abbiamo fatto delle traccie, ma abbiamo misurato gli angoli a differenti momenti della giornata, ed essi ci mostravano, che il movimento non era continuo, ma che il peduncolo oscillava verticalmente. Possiamo dunque concludere che vi era circumnutazione. Alla base del peduncolo si trova una massa di piccole cellule, formanti un pulvino ben sviluppato, colorato all'esterno in porpora e peloso. In nessun genere, per quanto ci consta, il peduncolo è provveduto di un pulvino. Il peduncolo di *O. Ortegesii* si comportava diversamente da quello di *O. sensitiva;* poichè si teneva, a metà giornata, meno elevato sopra l'orizzonte che al mattino ed alla sera. Alle 10,20 di sera era fortemente curvato. A metà della giornata oscillava molto in alto e basso.

Fig. 92.



Trifolium subterraneum: peduncolo fiorifero intero rischiarato dall'alto; circumnutazione rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 8,40 di mattina del 23 luglio alle 10,30 di sera del 24.

Trifolium subterraneum. — Fu fissato un filo verticalmente sulla parte superiore del peduncolo di un giovane capitolo eretto. Il fusto della pianta era stato fermato ad un bastone. I movimenti si rilevarono durante 36 ore. In tutto questo tempo il peduncolo descrisse (vedi fig. 92) una figura che rappresenta quattro ellissi; ma verso la fine il medesimo peduncolo cominciò ad inclinarsi in basso e dopo le 10,30 di sera del 24 s'incurvò sì rapidamente che alle 6,45 di mattina del 25 non formava con l'orizzonte che un angolo di 19°. Per due giorni esso continuò a circumnutare quasi nella stessa posizione. Anche dopo che i capitoli sono affondati sotto terra, continuano a circumnutare, come lo mostreremo più avanti. Vedremo pure, nel capitolo seguente, che i peduncoli secondarî di fiori separati di *Trifolium repens* circumnutano in modo complicato per più giorni. Possiamo aggiungere che il *ginoforo* di *Arachis hypogæa*, organo considerato come un peduncolo, circumnuta mentre cresce verticalmente in basso, affine di nascondere sotto terra la giovane capsula.

I movimenti dei fiori di *Cyclamen Persicum* non furono osservati; ma il peduncolo, durante la formazione delle cassule si allunga di molto e si curva in basso mediante un movimento di circumnutazione. Un giovane peduncolo di *Maurandia semperflorens,* lungo 1 poll. e mezzo, fu accuratamente osservato per

un giorno intiero; esso descrisse 4 ellissi e mezzo, strette, irregolari e corte, ciascuna in uno spazio di tempo approssimativamente di 2 ore e 25 m. Un peduncolo vicino descrisse, nello stesso tempo, delle ellissi simili, ma meno numerose (1). Secondo Sachs (2), i fusti fioriferi, durante il loro accrescimento, circumnutano presso molte piante, per es. *Brassica napus;* quelli di *Allium porrum* s'inclinano in differenti sensi, e formerebbero senza alcun dubbio delle ellissi, se il loro movimento fosse rilevato sopra un vetro orizzontale. Fritz Müller ha descritto (3) i movimenti spontanei di rivoluzione dei fusti fioriferi di una specie di *Alisma*, movimenti ch'egli paragona a quelli delle piante rampicanti.

Non abbiamo fatto alcuna osservazione sui movimenti delle diverse parti dei fiori. Morren però ha osservato (4) negli stami di *Sparmannia* e di *Cereus* un « tremore spontaneo » che si può credere un movimento di circumnutazione. La circumnutazione del ginostemio di *Stylidium* che ha descritto Gad (5) è fra le più notevoli, e facilita probabilmente la fecondazione. Il ginostemio nel suo movimento spontaneo viene in contatto col labello viscoso, al quale aderisce fino a che se ne separa in causa dell'aumento di tensione, o dell'eccitazione prodotta dal contatto.

Noi vediamo dunque che i peduncoli fiorali circumnutano in piante appartenenti a famiglie sì diverse, come sono le Crucifere, Ossalidacee, Leguminose, Primulacee, Scrofulariacee, Alismacee e Liliacee, ciò che indica che il medesimo movimento esiste in molte altre famiglie. Considerando questi fatti e tenendo conto che i viticci di un gran numero di piante non sono che peduncoli modificati, possiamo ammettere senza difficoltà che la circumnutazione si manifesta in tutti i peduncoli fiorali in via di accrescimento.

Circumnutazione delle foglie: Dicotiledoni.

Parecchi distinti botanici, Hofmeister, Sachs, Pfeffer, De Vries, Batalin, Millardet, ecc., hanno osservato, ed alcuni colla massima cura, i movimenti periodici delle foglie; ma la loro attenzione si è portata principalmente, se non esclusivamente, su quelle i di cui movimenti sono assai evidenti, e delle quali si suol dire che dormono durante la notte. Per ragioni che esporremo più avanti, non ci occuperemo qui di questi ultimi, che esamineremo separatamente. Desideravamo di sapere se tutte le foglie giovani circumnutino durante il loro accrescimento, e pensammo che sarebbe sufficiente esaminare 30 o 40 generi ripartiti in tutta la serie vegetale,

(1) *The Movements and Habits of Climbing plants*, seconda edizione 1875, p. 68 (*Movimento ed abitudini delle piante rampicanti*).

(2) *Text-book of Botany*, 1875, p. 766. Linneo e Treviranus secondo Pfeffer (*Die Periodischen Bewegungen*, ecc., p. 162) dicono che i peduncoli fiorali di molti vegetali occupano, di notte e di giorno, delle posizioni differenti, e noi vedremo, nel capitolo sul sonno delle piante, che ciò accenna a circumnutazione.

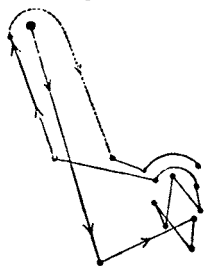
(3) *Jenaische Zeitschr.*, B. v, p. 133.

(4) *N. Mém. de l'Acad. R. de Bruxelles*, t. XIV, 1841, p. 3.

(5) *Sitzungberichte des bot. Vereins der P. Brandenburg*, XXI, p. 84.

scegliendo alcune forme poco comuni e certe piante legnose. Tutti i nostri soggetti erano tenuti in vasi e trovavansi in buon stato. Furono rischiarati dall'alto, ma non ricevettero forse sempre una luce sufficiente, poichè molti si osservarono attraverso ad un'invetriata i cui cristalli erano appannati. Eccettuati pochi casi, che abbiamo indicati, fissammo sulle foglie un filo di vetro munito di piccoli triangoli di carta, e rilevammo i movimenti sopra un vetro verticale (tutte le volte che non indicheremo il contrario) nel modo che abbiamo qui descritto. Dobbiamo ripetere che le linee punteggiate rappresentano il cammino notturno. Il fusto era sempre assicurato ad un bastone, presso la base della foglia in osservazione. L'ordinamento delle specie, col numero d'ordine delle famiglie, è lo stesso di quello tenuto per i fusti.

Fig. 93.



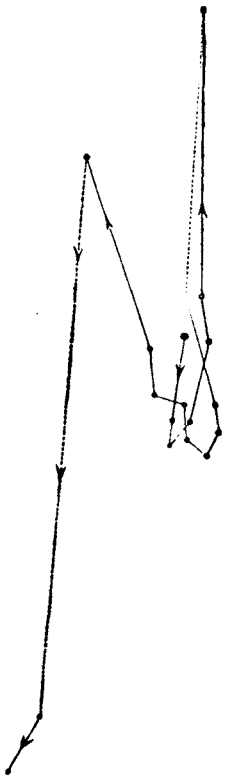
Sarracenia purpurea: circumnutazione di una giovane foglia, rilevata dalle 8 di mattina del 3 luglio alle 10,15, pure di mattina, del 4 Temper. 17°-18° C. Estremità della foglia a 20 poll. del vetro; il movimento è dunque considerevolmente amplificato.

1. *Sarracenia purpurea* (Sarraceneæ, fam. 11). — Una giovane foglia, od ascidio, alta 8 1/2 poll., venne munita di un filo posto trasversalmente sulla sua estremità. La sua vescichetta era ben sviluppata, ma la cuffia non era ancora aperta. Essa fu osservata per 48 ore, e durante tutto questo tempo circumnutò press'a poco in maniera uniforme, ma sopra una debole estensione. Il diagramma che noi diamo (fig. 93) non indica i suoi movimenti che nel corso delle 26 prime ore.

2. *Glaucium luteum* (Papaveraceæ, fam. 12). — Una giovane pianta che non portava che 8 foglie, ricevette un filo di vetro sulla foglia che in ordine di età era la penultima e misurava soltanto 3 poll. compreso il picciuolo. Il movimento di circumnutazione fu rilevato per 47 ore. Durante questi due giorni la foglia discese dalle 7 del mattino fino alle 11 circa pure del mattino, poi salì leggermente per il resto della giornata, e la prima parte della notte. Durante la seconda parte della notte, discese fortemente. Il suo movimento di ascesa non fu tanto pronunciato nel secondo giorno come nel primo, e discese molto più in basso la seconda notte che la prima. Tale differenza era probabilmente dovuta al fatto che la luce dall'alto non era sufficiente durante i due giorni che durò l'osservazione. La fig 94 indica il suo cammino nel corso di questi due giorni.

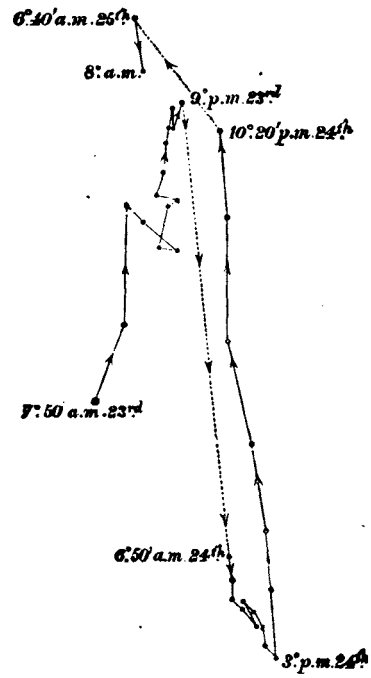
3. *Crambe maritima* (Cruciferæ, fam. 14). — Fu in principio osservata una foglia lunga 9 1/2 poll., appartenente ad una pianta di accrescimento non vigoroso. La sua estremità era in movimento costante, ma questo poteva appena essere delineato in causa della sua debole estensione. L'estremità, però, cambiò di direzione certamente almeno 6 volte in 14 ore. Scegliemmo poscia una pianta giovane più vigorosa che portava soltanto quattro foglie e fissammo un filo sulla nervatura mediana della terza foglia a partire dalla base; questa foglia, compreso il picciuolo, misurava 5 poll. Era quasi verticale, ma la sua estremità era inflessa, di guisa che il filo si projettava quasi orizzontalmente. I suoi movimenti vennero rilevati per 48 ore sopra un vetro verticale, come lo mostra la fig. 95. Noi vediamo qui chiaramente, che la foglia era di continuo in circumnutazione; ma la esatta periodicità dei suoi movimenti era turbata dal fatto ch'essa non riceveva che una luce torbida attraverso ad una doppia invetriata. Noi riteniamo che la cosa fosse

Fig. 94.



Glaucium luteum: circumnutazione di una giovane foglia, rilevata dalle 9,30 di mattina del 14 giugno alle 8,30, pure di mattina, del 16. Traccia poco amplificata, poichè l'estremità della foglia non distava che 5 1/2 poll. dal vetro.

Fig. 95.



Crambe maritima: circumnutazione di una foglia turbata dall'insufficienza della luce, rilevata dalle 7,50 di mattina del 23 giugno alle 8, pure di mattina, del 25. Estremità della foglia a 15 1/4 poll. dal vetro verticale, di guisa che la traccia era fortemente amplificata. Essa è qui ridotta ad un quarto.

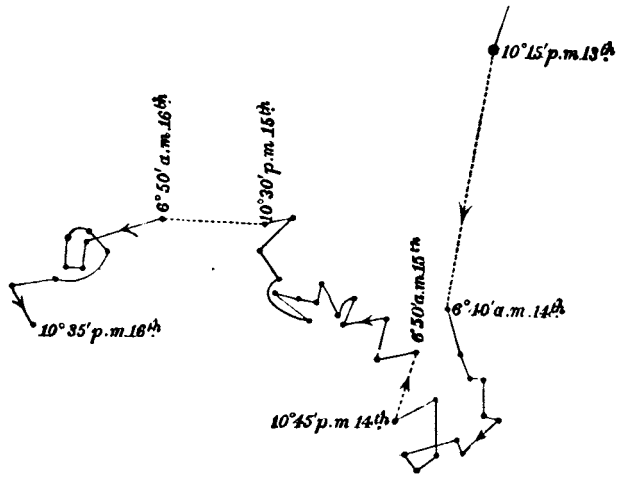
così, perchè due foglie, portate da due piante che crescevano all'aperto, e sulle quali furono misurati gli angoli a metà della giornata, e dalle 9 alle 10 ore della sera, si trovarono, a quest'ultimo momento, elevate di circa 9° al disopra della posizione che occupavano a metà della giornata. Al mattino successivo esse ricaddero nella loro posizione primitiva. Si può constatare dall'esame del diagramma, che la foglia si elevò durante la seconda notte, di guisa che alle 6,40 di mattina essa era più alta che alle 10 di sera della notte precedente; questo fatto era da attribuire a ciò che la foglia si adattava ad una luce debole proveniente esclusivamente dall'alto.

4. *Brassica oleracea* (Cruciferæ). — Hofmeister e Batalin (1) dicono che le foglie di cavolo si elevano di notte e cadono durante il giorno. Coprimmo con una grande campana di vetro una giovane pianta portante 8 foglie; essa era posta, rispetto alla luce, nella stessa posizione che aveva occupato lungamente; un filo di vetro fu fissato a 0,4 poll. dall'estremità di una giovane foglia che misurava circa 4 poll. di lunghezza. I suoi movimenti vennero rilevati per tre giorni, ma

(1) *Flora*, 1873, p. 437.

non crediamo necessario di dare qui il diagramma ottenuto. La foglia discese durante tutta la mattina e si elevò nella sera e per una parte della notte. Le linee ascendenti e discendenti non coincidevano, di guisa che si formava una ellisse irregolare ogni 24 ore. La parte basilare della nervatura mediana non aveva alcun movimento; ce ne assicuranimo misurando, a diversi momenti, l'angolo che formava con l'orizzonte. Il movimento era dunque localizzato nella parte terminale della foglia che percorreva in 24 ore un angolo di 11°. La distanza traversata perpendicolarmente variava fra 0,8 e 0,9 poll.

Fig. 96.



Dianthus caryophyllus: circumnutazione di una giovane foglia, rilevata dalle 10,15 di sera del 13 giugno, alle 10,35, pure di sera, del 16. Alla fine dell'osservazione l'estremità della foglia era a 8 3/4 poll. dal vetro verticale, di guisa che l'amplificazione non era assai forte. La foglia aveva una lunghezza di 5 1/4 poll. Temper. 15°,5-17°,5 C.

Allo scopo di determinare gli effetti dell'oscurità, fissammo un filo di vetro sopra una foglia lunga 5 1/2 poll., posta sopra una pianta che, dopo di aver formato una testa, aveva dato origine ad un fusto. La foglia era inclinata di 44° sopra l'orizzonte, ed i suoi movimenti furono rilevati sopra un vetro verticale. Le osservazioni venivano fatte tutte le ore, mediante una candela. Nel primo giorno la foglia si elevò dalle 8 di mattina alle 10,40 della sera, descrivendo delle leggere linee a zig-zag; la distanza effettiva percorsa a questo momento dall'estremità era di 0,67 poll. Durante la notte la foglia cadde, mentre avrebbe dovuto elevarsi, ed alle 7 ore del mattino successivo era discesa di 0,23 poll. e continuò il medesimo movimento fino alle 9,40 pure del mattino. Si elevò poscia fino alle 10,50 della sera, ma tale movimento fu interrotto da una oscillazione considerevole, cioè a dire da una caduta seguìta da un nuovo movimento ascendente. Nel corso della seconda notte discese nuovamente, ma assai poco, e risalì pure assai poco al mattino successivo. Così la corsa normale della foglia era fortemente turbata e quasi affatto invertita dalla mancanza di luce; i movimenti inoltre avevano un'ampiezza ben più debole.

Possiamo aggiungere che secondo Stephen Wilson (1), le giovani foglie della rapa di Svezia, che è un ibrido di *B. oleracea* e *B. rapa*, si contraggono durante

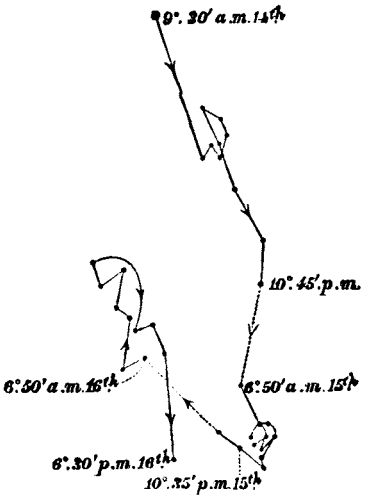
(1) *Trans. Bot Soc Edinburgh*, vol. XIII, p. 32. Per l'origine della rapa di Svezia, vedi Darwin (*Variazione delle piante e degli animali allo stato di domesticità*, vol. I).

la sera a tal punto che « la larghezza orizzontale diviene di circa il 30 per cento più debole che la medesima larghezza durante la giornata ». Le foglie devono quindi elevarsi notevolmente durante la notte.

Fig. 97.

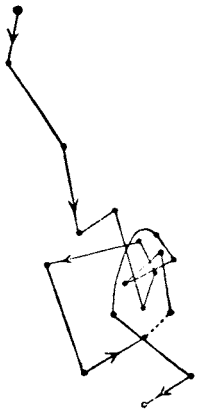
Camellia Japonica: circumnutazione d'una foglia, rilevata dalle 6,40 del mattino del 14 giugno alle 6,50, pure del mattino, del 15. Estremità della foglia a 12 poll. dal vetro verticale, di guisa che l'amplificazione è considerevole. Temper. 16°-16°,5 C.

Fig. 98.



Pelargonium zonale: circumnutazione e movimento discendente di una giovane foglia, rilevati dalle 9,30 del mattino del 14 giugno alle 6.30 di sera del 16. Estremità della foglia a 9 1/4 poll. dal vetro verticale. Amplificazione moderata. Temp. 15°-16°,5 C.

Fig. 99.



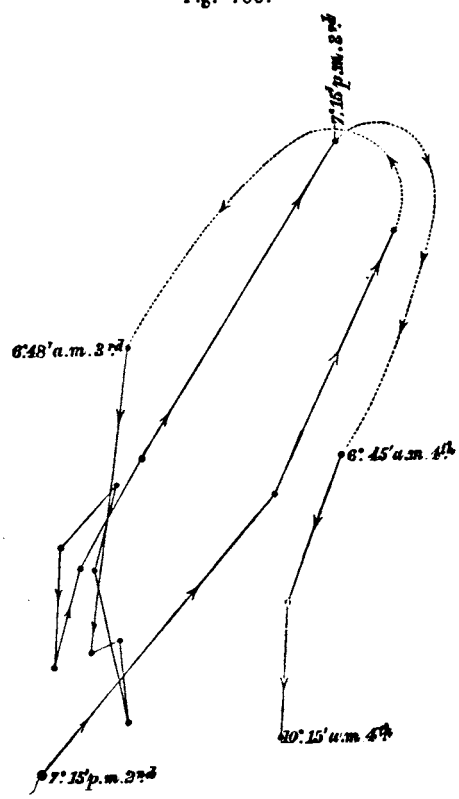
Cissus discolor: circumnutazione di una foglia, rilevata dalle 10,35 del mattino del 28 maggio alle 6 di sera del 29. Estremità della foglia a 8 3/4 poll. dal vetro verticale.

5. *Dianthus caryophyllus* (Caryophylleæ, fam. 26). — Scegliemmo per l'osservazione il germoglio terminale di una giovane pianta, il cui accrescimento era vigoroso. Le giovani foglie erano in principio verticali ed avvicinate le une alle altre, ma s'inclinarono presto all'esterno e verso il basso, fino a diventare orizzontali ed a pendere sovente da un lato. Fu fissato un filo sull'estremità di una giovane foglia, mentre essa era ancora fortemente diretta verso l'alto, e fu tracciato il primo punto sul vetro verticale alle 8,30 del mattino del 13 giugno. Essa s'incurvò in basso sì fortemente, che alle 6,40 del mattino successivo non aveva che una debole inclinazione sull'orizzonte. La fig. 96 non indica questo movimento rappresentato da una lunga linea leggermente sinuosa, un po' inclinata verso la sinistra; ma mostra il cammino, sinuoso ed interrotto da numerose anse, che seguì la foglia durante i due giorni e mezzo susseguenti. Siccome la foglia continuò sempre a dirigersi verso la sinistra, è evidente che le linee a zig-zag rappresentano un gran numero di movimenti di circumnutazione.

6. *Camellia japonica* (Cameliaceæ, fam. 32). — Una foglia assai giovane, lunga 2 3/4 poll., compreso il picciuolo, che proveniva da un ramo laterale di un forte arbusto, venne munita di un filo di vetro alla sua estremità. Questa foglia era inclinata in basso e formava un angolo di 40° sotto all'orizzonte. Era grossa e rigida ed il suo picciuolo assai breve, di guisa che non potemmo constatare un movimento molto grande. L'estremità, tuttavia, cambiò completamente di direzione 7 volte in 11 ore 1/2, ma il suo movimento non aveva che una debole estensione. A comin-

ciare dal giorno successivo il movimento dell'estremità fu rilevato per 26 ore e 20 min. (ved. fig. 97). Esso era press'a poco della stessa natura, ma un po' meno complicato. Questo movimento sembrava essere periodico, giacchè durante due giorni la foglia circumnutò nella mattina, cadde dopo il mezzodì (il primo giorno fino alle 3 o le 4 di sera, il secondo giorno fino alle 6), poi si elevò per cadere di nuovo durante la notte od al principio della mattina.

Fig. 100.



Vicia faba: circumnutazione di una foglia, rilevata dalle 7,15 di sera del 2 luglio alle 10,15 di mattina del 4. Estremità delle due foglioline terminali a 7 1/4 poll. dal vetro verticale. Figura ridotta qui ai 2/3. Temp. 17°-18° C.

Nel capitolo consacrato al sonno delle piante vedremo che le foglie in parecchie Malvacee cadono di notte; ma siccome sovente non occupano allora una posizione verticale, soprattutto se non sono state fortemente rischiarate durante la giornata, così ci sembra dubbioso, se tali casi non possano prendere posto nel presente capitolo.

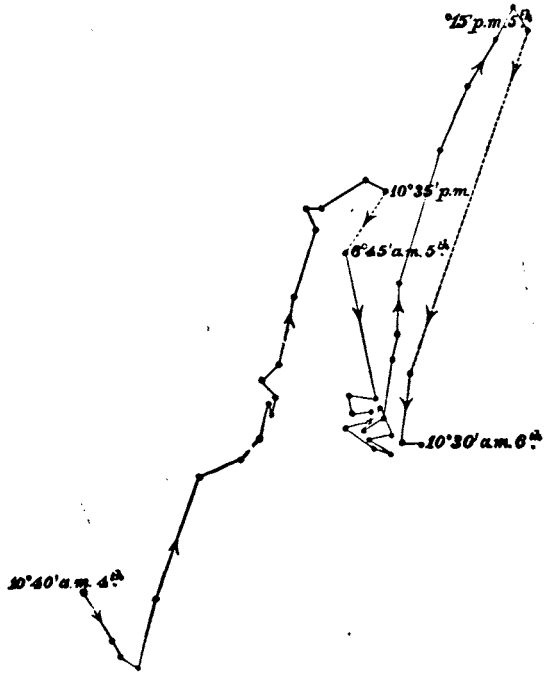
7. *Pelargonium zonale* (Geraniaceæ, fam. 47). — Una giovane foglia larga 1 1/2 poll. e munita di un picciuolo lungo 1 poll., cresciuta sopra una giovane pianta, fu osservata nel solito modo per 61 ore. La fig. 98 indica il suo cammino durante questo tempo. Nel primo giorno e nella prima notte essa si diresse in basso, ma circumnutò dalle 10 di mattina alle 4,30 di sera. Al secondo giorno essa cadde per risalire, ma fra le 10 ant. e le 6 pom. circumnutò assai debolmente. Al terzo giorno la circumnutazione era meglio marcata.

8. *Cissus discolor* (Ampelideæ, fam. 67). — Fu osservata durante 31 ore e 30 m. una foglia non ancora completamente sviluppata (fig. 99). Era questa la terza a partire dall'estremità di un ramo di una pianta tagliata. La giornata era fredda (15°-16° C.) e se le nostre osservazioni avessero avuto luogo nella sera, la circumnutazione avrebbe avuto luogo certamente in modo molto più ampio, quantunque però fosse stata perfettamente visibile.

9. *Vicia faba* (Leguminosæ, fam. 75). — Una giovane foglia, lunga, 3,1 poll., misurata dal picciuolo all'estremità delle foglioline, fu munita di un filo di vetro fissato sulla nervatura mediana di una delle due foglioline terminali. I movimenti vennero rilevati per 51 ore e 30 m. Il filo cadde nella mattinata (del 2 luglio) fino alle 3 di sera, poi si elevò fortemente fino alle 10,35; ma l'elevazione fu sì grande in quel giorno, relativamente a quella dei giorni seguenti, che era con ogni probabilità in parte dovuta al fatto che la pianta veniva rischiarata dall'alto. L'ultimo tratto del cammino seguìto li 2 luglio è indicato nella fig. 100. Il giorno

successivo (3 luglio), la foglia cadde di nuovo nella mattina, poi circumnutò visibilmente, e risalì fino ad un'ora avanzata della notte, ma questo movimento non fu più rilevato dopo le 7,15 di sera, poichè, passato tale momento, il filo di vetro era diretto verso il bordo superiore della lamina di vetro. Durante l'ultima parte della notte ed il principio della mattina, essa discese di nuovo nella stessa maniera di prima.

Fig. 101.



Vicia faba : circumnutazione di una delle due foglioline terminali (tutto il picciuolo essendo obbligato), rilevata dalle 10,40 del mattino del 4 luglio alle 10,30, pure del mattino, del 6. Estremità della fogliolina a 6 5/8 poll. dal vetro verticale. Diagramma ridotto alla metà. Temper. 16°-18° C.

Fig. 102.

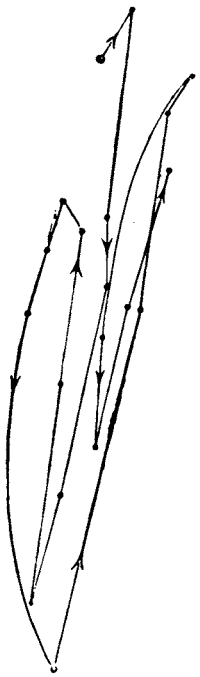
Acacia retinoides: circumnutazione di un giovane fillodio rilevata dalle 10,45 del 18 luglio alle 8,15 del 19. Estremità del fillodio da 9 poll. dal vetro verticale. Temp. 16°,5-17°,5 C.

Avendo il movimento di elevazione nella sera, e quello di discesa nel mattino un'estensione eccezionale, misurammo a due riprese l'angolo del picciuolo al disopra dell'orizzonte. E si trovò che la foglia era salita di 19° dalle 12,20 alle 10,45 della sera, ed era discesa di 23° 30' da quest'ultimo momento al mattino successivo. Si fermò allora il picciuolo principale ad un bastone presso alla base delle due foglioline terminali, che erano lunghe 1,4 poll., e si rilevarono i movimenti di una di queste foglioline per 48 ore (ved. fig. 101). Il cammino seguìto è perfettamente analogo a quello della foglia intiera. La linea a zig-zag percorsa dalle 8,30 del mattino alle 3,30 della sera del secondo giorno rappresenta 5 piccolissime ellissi, di cui gli assi maggiori hanno delle direzioni differenti. Da queste osservazioni risulta, che tanto la foglia intiera come le foglioline terminali subiscono un movimento periodico ben marcato: esse si elevano nelle sera e discendono nella seconda parte della notte ed al principio della mattina, mentre a metà della giornata circumnutano generalmente intorno ad un medesimo punto.

10. *Acacia retinoides* (Leguminosæ). — Rilevammo per 45 ore e 30 m. il movimento di un giovane fillodio, lungo 2 3/8 poll., che formava sopra l'orizzonte un angolo considerevole; ma nella fig. 102 la circumnutazione non si mostra che durante 21 ore e 30 m. Per una parte di questo tempo (ossia 14 ore e 30 m.), il

fillodio descrisse una figura rappresentante 5 o 6 piccole ellissi. La quantità effettiva del movimento verticale era allora 0,3 pollici. Il fillodio si elevò molto dalle 1,30 di sera alle 4, ma in nessuno di questi due giorni potemmo constatare l'esistenza di un movimento periodico.

Fig. 103.

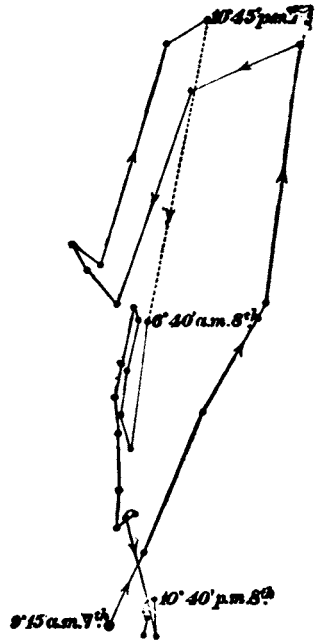


Lupinus speciosus: circumnutazione di una foglia rilevata sopra un vetro verticale dalle 10,15 del mattino alle 5,45 della sera, cioè a dire per 6 ore e 30 minuti.

Fig. 104.

Echeveria stolonifera: circumnutazione di una foglia rilevata dalle 8,20 del mattino del 25 giugno alle 8,45, pure del mattino, del 28. Estremità della foglia a 12 1/4 poll. dal vetro. Forte amplificazione. Temp. 23°-24°,5 C.

Fig. 105.



Drosera rotundifolia: circumnutazione di una giovane foglia, munita di un filo alla faccia inferiore del lembo; rilevata dalle 9,15 del mattino del 7 giugno alle 8,30, pure del mattino, del 9. Riduzione alla metà.

11. *Lupinus speciosus* (Leguminosæ). — Erano nate delle piante da semi comperati sotto questo nome. È questa una delle specie dell'importante genere, le cui foglie non dormono alla notte. I picciuoli escono direttamente da terra e misurano da 5 a 7 poll. Si fissò un filo di vetro sulla nervatura mediana di una delle foglioline maggiori, e si rilevò il movimento dell'intera foglia (ved. fig. 103). In 6 ore e 30 m. il filo si diresse 4 volte in alto e 3 volte in basso. Cominciammo allora un nuovo diagramma (che non diamo qui) e, per 12 ore 30 m., la foglia si mosse 8 volte in alto e 7 volte in basso, così che descrisse 7 ellissi e mezzo durante questo tempo, ciò che costituisce un movimento straordinario. La sommità del picciuolo fu allora obbligata ad un bastone, e le foglioline secondarie si trovarono in continua circumnutazione.

12. *Echeveria stolonifera* (Crassulaceæ, fam. 84). — Le foglie più vecchie di questa pianta sono così grosse e carnose, e le più giovani così corte e larghe, che ci sembrava assai poco probabile di trovarvi un movimento di circumnutazione.

Fu fissato un filo di vetro sopra una giovane foglia, inclinata in alto, lunga 0,75 poll. e larga 0,28 poll. posta all'esterno di una rosetta terminale, sopra una pianta vigorosa. Il suo movimento fu rilevato per tre giorni (ved. fig. 104). La direzione generale era verso l'alto, ciò che si può attribuire all'allungamento dovuto al crescere della foglia. Ma si può vedere che le linee sono fortemente ondulose, e che vi è, ad intervalli, una circumnutazione distinta, quantunque assai poco estesa.

13. *Bryophyllum* (vel *Calanchæ*) *calycinum* (Crassulaceæ). — Duval-Jouve (*Boll. Soc. Bot. de France*, 14 febbraio 1868) ha misurato la distanza che separa le estremità di due foglie superiori di questa pianta ed ha ottenuto i risultati indicati nella tabella seguente. È mestieri osservare che le misure indicate colla data del 2 dicembre sono state prese sopra un altro paio di foglie.

	8 ore mattina	1 ora sera	7 ore sera
16 novembre	15 mm.	25 mm.	?
19 »	48 »	60 »	48 mm.
2 dicembre	22 »	43 »	28 »

Noi vediamo da questa tabella che le foglie sono molto più allontanate a 2 ore della sera che alle 8 del mattino od alle 7 della sera, ciò che mostra che si elevano un poco nella sera, e si abbassano od aprono nella mattina.

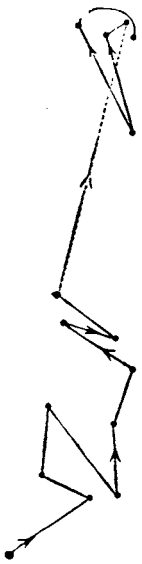
14. *Drosera rotundifolia* (Droseraceæ, fam. 85). — Rilevammo per 47 ore 15 m. i movimenti di una giovane foglia munita di un lungo picciuolo, ma i cui tentacoli (o peli glandulari) non erano ancora sviluppati. La fig. 105 mostra ch'essa circumnutò largamente, soprattutto in una direzione verticale, descrivendo due ellissi ogni giorno. Durante questi due giorni, la foglia cominciò a discendere verso un'ora dopo mezzogiorno, e continuò così per tutta la notte, ma percorse nei due casi delle distanze assai disuguali. Pensammo perciò che il movimento fosse periodico, ma osservando tre altre foglie per più giorni consecutivi, potemmo convincerci che c'era un errore; perciò non diamo questo caso che a scopo di avvertimento. Al terzo giorno la foglia, di cui abbiamo parlato, occupava quasi la stessa posizione che al principio delle osservazioni. I tentacoli si erano sviluppati, durante questo tempo, abbastanza per formare un angolo retto col disco.

Le foglie invecchiando si abbassano sempre più. Rilevammo per 24 ore i movimenti di una foglia abbastanza vecchia, le cui ghiandole avevano ancora una secrezione attiva. Essa poi continuò, durante questo tempo, a discendere un poco descrivendo delle linee a zig-zag. Al mattino successivo, alle 7 fu deposta sul disco una goccia di una soluzione di carbonato di ammoniaca (2 grani per 1 oncia di acqua); essa annerì le ghiandole e determinò la curvatura della maggior parte dei tentacoli. Il peso della goccia fece discendere in principio un poco la foglia, ma immediatamente dopo si mise a risalire descrivendo delle leggere linee a zig-zag, fino alle 3 di sera. Circumnutò poscia intorno al medesimo punto, e sopra uno spazio assai ristretto, per 21 ore, durante le 21 ore che seguirono discese a zig-zag per ritornare al livello che occupava al momento in cui fu applicata l'ammoniaca. Durante questo tempo i tentacoli avevano ripreso la loro posizione e le ghiandole si erano nuovamente colorate. Vediamo così che una vecchia foglia circumnuta in grado leggero, almeno durante l'assorbimento del carbonato di ammoniaca; è infatti probabile che tale assorbimento possa promuovere l'accrescimento, e per conseguenza determinare di nuovo la circumnutazione. Non potemmo sapere se l'ascensione del filo di vetro attaccato sul dorso della foglia fosse dovuta ad una leggiera inflessione dei bordi (ciò che accade generalmente) od all'elevazione del picciuolo.

Allo scopo di vedere se i tentacoli o peli glandulari circumnutassero, fissammo la faccia inferiore di una giovane foglia (i cui tentacoli interni erano ancora incur-

vati) sopra un bastone piatto posto nella sabbia argillosa umida. La pianta fu collocata sotto ad un microscopio, al quale era stata levata la tavola, e che era provveduto di un oculare micrometrico, di cui ciascuna divisione uguagliava 1/500 di pollice. Soggiungeremo che quanto più le foglie avanzano in età, tanto più i tentacoli delle file esterne s'inclinano all'infuori e verso il basso fino ad incurvarsi considerevolmente al disotto dell'orizzonte. Osservammo allora un tentacolo della seconda fila a partire dal lembo; esso si dirigeva all'esterno con una celerità di 1/500 di pollice in 20 m., ossia di 1/100 di pollice in 6 ore e 40 min. Ma siccome aveva in pari tempo un movimento da destra a sinistra che abbracciava una estensione di oltre 1/500 di pollice, il suo movimento tutto intiero non era probabilmente che una circumnutazione modificata. Osservammo in seguito, nella stessa maniera, un tentacolo di una foglia vecchia; 15 min. dopo di essere stato posto sotto al microscopio, aveva percorso circa 1/1000 di pollice. Durante le 7 ore 1/2 che seguirono, fu osservato a più riprese e in tutto questo tempo non percorse che un nuovo spazio di 1/1000 di pollice; tale debole movimento era forse dovuto al cedimento della sabbia umida, benchè questa fosse stata convenientemente compressa. Noi possiamo dunque concludere che i tentacoli vecchi non circumnutano; eppure questo tentacolo era così sensibile che cominciava ad incurvarsi 23 secondi dopo che le sue ghiandole erano state toccate con un pezzo di carne cruda. Tale fatto è di qualche importanza, giacchè sembra dimostrare che l'inflessione dei tentacoli, in causa dell'eccitazione che determina l'assorbimento di una materia animale (e senza alcun dubbio il contatto di un oggetto qualunque), non è dovuta ad una modificazione dei movimenti circumnutanti.

Fig. 106.



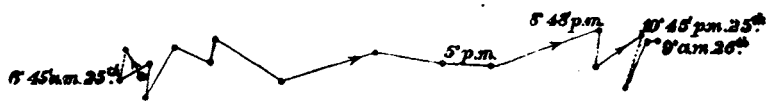
Dionæa muscipula: circumnutazione di una giovane foglia in via di sviluppo, rilevata sopra un vetro orizzontale e nell'oscurità dal mezzodì del 24 settembre alle 10 di mattina del 25. Estremità della foglia a 13 1/2 poll. dal vetro; amplificazione considerevole.

15. *Dionæa muscipula* (Droseraceæ). — È mestieri premettere che in uno stadio poco avanzato del loro sviluppo le foglie hanno i loro due lobi strettamente compressi l'uno contro l'altro. Sono in principio dirette verso il basso, e guardano il centro della pianta, ma si elevano gradatamente e formano ben presto un angolo retto col picciuolo, col quale da ultimo si trovano in linea retta. Fissammo un filo di vetro sulla nervatura mediana dei due lobi ancora chiusi di una giovane foglia, il cui picciuolo non aveva che 1,2 poll. di lunghezza e formava con essa un angolo retto. Nella sera questa foglia descrisse un'ellisse completa in 2 ore. Il giorno dopo (25 settembre) i suoi movimenti furono tracciati per 22 ore. Noi vediamo, fig. 106, che tali movimenti avevano la medesima direzione generale, ma descrivevano delle numerose linee a zig-zag. Questa traccia rappresenta parecchie ellissi allungate e modificate. Non si può dunque avere alcun dubbio sulla circumnutazione di questa giovane foglia.

Osservammo in seguito, per 7 ore, una foglia abbastanza vecchia, orizzontalmente distesa e munita di un filo di vetro attaccato sulla faccia inferiore della nervatura mediana. Il suo movimento era debolissimo, ma appena veniva toccato uno dei suoi peli sensitivi, i lobi si chiudevano, quantunque abbastanza lentamente. Segnammo allora un nuovo punto sul vetro; ma, dopo 14 ore 20 min., nella posizione del filo non vi era che un cambiamento appena apprezzabile. Possiamo con-

cludere che una foglia vecchia e moderatamente sensibile non circumnuta chiaramente; vedremo ben presto, tuttavia, che non risulta punto che una tale foglia sia assolutamente priva di movimento. Possiamo dire inoltre che l'eccitazione prodotta da un contatto non determina una evidente circumnutazione.

Fig. 107.



Dionæa muscipula : chiusura dei lobi e circumnutazione di una foglia pienamente cresciuta durante l'assorbimento di una infusione di carne cruda, rilevata nell'oscurità dalle 7,15 di sera del 24 settembre alle 9 di mattina del 26. Estremità della foglia a 8 1/2 poll. dal vetro. Riduzione ai due terzi.

Un'altra foglia perfettamente cresciuta fu munita di un filo fissato esteriormente sopra un lato della nervatura mediana e parallelo ad esso, di guisa che se i lobi si chiudevano, il filo doveva muoversi. Osserveremo che toccando uno dei peli sensitivi di una foglia vigorosa si determina rapidamente, e spesso istantaneamente, la di lei chiusura, mentre che un pezzo di carne umida od una soluzione di carbonato di ammoniaca, posto sopra uno dei lobi, eccitano un movimento sì lento che abbisognano in generale 24 ore perchè la chiusura sia completa. La foglia di cui parliamo fu osservata per 2 ore 30 m. senza potervi riconoscere alcun movimento di circumnutazione; sarebbe però stato necessario di fare l'osservazione per un tempo più lungo. Tuttavia abbiamo visto una foglia giovane descrivere una grande ellisse in 2 ore. Collocammo allora sopra la foglia una goccia di una infusione di carne cruda, ed il filo di vetro si elevò un poco in 2 ore. Ciò indica che i lobi avevano incominciato a chiudersi, e forse il picciuolo ad elevarsi. Esso continuò a progredire con una estrema lentezza durante le 8 ore e 30 min. che seguirono. Cambiammo allora leggermente la posizione del vaso (alle 7,15 della sera del 24 settembre) e dopo di aver messo sulla foglia una nuova goccia dell'infusione, cominciammo un altro diagramma (fig. 107). A 10 ore e 50 m. della sera il filo non si era elevato che leggermente, e ridiscese nel corso della notte. Al mattino successivo i lobi si chiudevano più fortemente, ed alle 5 della sera, con tutta evidenza anche al semplice sguardo, si vedevano notevolmente chiusi. Alle 8,48 della sera si aveva una chiusura completa, e alle 10 e 45 m. i denti marginali erano spostati. La foglia discese un poco durante la notte ed al mattino successivo (li 25) alle 7 i lobi erano intieramente chiusi. Il cammino seguìto, come si può vederlo dalla figura, formava delle forti linee a zig-zag, ciò che indica che la chiusura dei lobi era combinata con la circumnutazione dell'intera foglia. Non si può dunque dubitare, considerando la mancanza di movimento nella foglia 2 ore e 30 m. prima dell'applicazione delle goccie d'infusione, che l'assorbimento di una materia animale non l'abbia eccitata a circumnutare. La foglia fu osservata in diverse occasioni, durante i quattro giorni che seguirono, ma era esposta ad un freddo un po' troppo forte; nondimeno continuò a circumnutare sopra una debole estensione, ed i lobi rimasero chiusi.

Si legge qualche volta nelle opere di botanica, che i lobi si chiudono o dormono alla notte; ciò è un errore. Ne ebbimo la prova fissando sui due lobi, in tre foglie, dei fili di vetro assai lunghi e misurando, a metà della giornata e di notte, le distanze fra le loro estremità. Non potemmo constatare alcuna differenza.

Le osservazioni precedenti si riferiscono ai movimenti della foglia intiera; ma

i lobi si muovono indipendentemente dal picciuolo e sembra che continuamente si chiudano e si aprano in grado assai leggero. Una foglia quasi completamente cresciuta (che più tardi si mostrò pienamente sensibile al contatto) era quasi orizzontale, di guisa che attraversando con un ago lungo e sottile il suo picciuolo fogliaceo presso al lembo si poteva renderla immobile. La pianta, munita di un piccolo triangolo di carta sopra uno dei denti marginali, fu collocata sotto ad un microscopio, di cui l'oculare micrometrico portava delle divisioni di 1/500 di poll. Vedemmo allora che il triangolo di carta era dotato di un movimento debole, ma costante; infatti in 4 ore attraversò 9 divisioni, ossia 9/500 di poll. e dopo dieci altre ore si diresse in dietro, attraversando 5 divisioni ossia 5/500 di poll. nel senso opposto. La pianta era esposta ad una temperatura un po' troppo bassa, ed il giorno seguente il suo movimento era alcun poco più debole, ossia di 1/500 di poll. in 3 ore, e di 2/500 di poll. nel senso opposto nelle altre sei ore. I due lobi sembravano dunque chiudersi ed aprirsi continuamente, quantunque sopra una debole estensione. Dobbiamo infatti ricordarci che il piccolo triangolo di carta fissato sul dente marginale aumentava la sua lunghezza ed esagerava così un poco il movimento. Furono fatte delle osservazioni simili colla differenza assai importante che il picciuolo era lasciato libero, e che la pianta venne tenuta ad un'alta temperatura, sopra una foglia sana ma così vecchia, che non si chiudeva più nemmeno dopo che era stata toccata ripetutamente sopra uno dei suoi peli sensitivi, sebbene, da quanto si ricavò da altre prove, crediamo che sarebbesi lentamente chiusa sotto l'influenza di una materia animale. L'estremità del triangolo di carta aveva un movimento quasi, ma non del tutto, costante, ora in un senso ed ora in un altro; essa attraversò 5 divisioni del micrometro (ossia 1/100 di poll.) in 30 m. Questo movimento, sopra una scala così ristretta, è appena comparabile alla circumnutazione ordinaria; esso poteva però forse essere confrontato alle linee a zig-zag ed alle piccole anse che interrompono spesso le grandi ellissi descritte da altre piante.

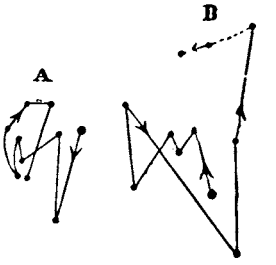
Nel primo capitolo di questo volume noi abbiamo descritto le notevoli oscillazioni dell'ipocotilo circumnutante del cavolo. Le foglie di Dionæa presentano lo stesso fenomeno, che è assai mirabile qualora lo si osservi con un debole ingrandimento (obbiettivo di 2 pollici) e con un oculare micrometrico di cui ogni divisione (1/500 di poll.) appariva come uno spazio assai largo. La giovane foglia non ancora spiegata, i cui movimenti sono tracciati nella fig. 106, venne munita di un filo di vetro che fu fissato perpendicolarmente sopra di essa. Il movimento dell'estremità si osservò nella serra (temp. 29°-30° C.); la luce veniva dall'alto, e tutte le correnti d'aria erano accuratamente evitate. L'estremità alle volte attraversava una o due divisioni del micrometro con una velocità assai debole, quasi inapprezzabile, ma generalmente si muoveva in alto con rapidi salti e sbalzi di 2/1000 a 3/1000, ed in un caso di 4/1000 di poll. Dopo ogni balzo in alto, la pianta ritornava in basso con una velocità relativamente debole, e rifaceva così una parte della distanza già percorsa; quindi, poco appresso, faceva un nuovo balzo in alto. In un caso vedemmo 4 di questi salti assai distinti seguìti da una leggera ritirata, ed inoltre alcune oscillazioni più deboli nello spazio esatto di un minuto preciso. Per quanto potemmo giudicare le linee di ascensione e di discesa non coincidevano, e quindi ogni volta venivano descritte delle piccole ellissi. Alcune volte l'estremità rimase immobile per breve tempo. Il di lei movimento nelle varie ore di osservazione si effettuava in due direzioni opposte, per cui la foglia probabilmente circumnutava.

Osservammo poscia, nella stessa maniera, un'altra foglia, di cui i lobi erano completamente spiegati, e che poi riconoscemmo assai sensibile al contatto. La pianta era soltanto esposta in una stanza ad una temperatura più bassa. L'estremità oscillava in avanti e in dietro nella stessa maniera che si è detto più sopra; ma i

salti in avanti erano meno estesi (cioè di circa 1/1000 di poll.), ed i periodi di riposo alquanto più lunghi. Siccome pareva possibile che questi movimenti fossero dovuti alle correnti d'aria, collocammo presso alla foglia, durante uno dei periodi di riposo, una candela che non determinò alcuna oscillazione. Dopo 10 min. però cominciarono dei vigorosi spostamenti, dovuti probabilmente a ciò che la foglia era stata eccitata dal riscaldamento. Fu allora levata la candela, e poco dopo le oscillazioni cessarono; tuttavia allorchè osservammo la foglia, dopo un intervallo di 1 ora 30 m., essa era di nuovo in oscillazione. La pianta fu trasportata nella serra, ed al mattino successivo la vedemmo oscillare, ma poco vigorosamente. Un'altra foglia, vecchia, ma in buone condizioni, che non era assolutamente sensibile al contatto, fu pure osservata durante due giorni nella serra; il filo di vetro ch'essa portava fece dei piccolissimi salti di circa 2/1000 od anche soltanto di 1/1000 di pollice.

Finalmente per determinare se i lobi oscillavano indipendentemente dai picciuolo, fissammo presso al lembo, col mezzo della gomma lacca, il picciuolo di una foglia vecchia sull'estremità di un piccolo bastone piantato nel suolo. Avevamo prima osservato che la foglia oscillava fortemente; dopo la fissazione al bastone, le oscillazioni di circa 2/1000 di pollice continuavano ancora. Il dì successivo collocammo sulla foglia una infusione diluita di carne cruda, che determinò in due giorni la chiusura completa dei lobi; le oscillazioni continuarono per tutto questo tempo, e durante i due giorni che seguirono. Dopo nove altri dì la foglia cominciò ad aprirsi, ed i bordi si allontanarono un poco; l'estremità del filo di vetro aveva a questo punto dei lunghi periodi di riposo, poscia si muoveva in avanti e in dietro sopra una distanza di 1/1000 di pollice circa, ma lentamente, e senza salti. Tuttavia, allorchè ebbimo riscaldata la foglia, collocandovi appresso una candela accesa, i salti ricominciarono come prima.

Fig. 108.



Eucalyptus resinifera: circumnutazione di una foglia, rilevata, in A, il giorno 8 giugno dalle 6,40 del mattino ad 1 ora della sera; in B, da 1 ora della sera del giorno 8 alle 8,30 di mattina del giorno 9. Estremità della foglia a 14 1/2 poll. dal vetro orizzontale; amplificazione considerevole.

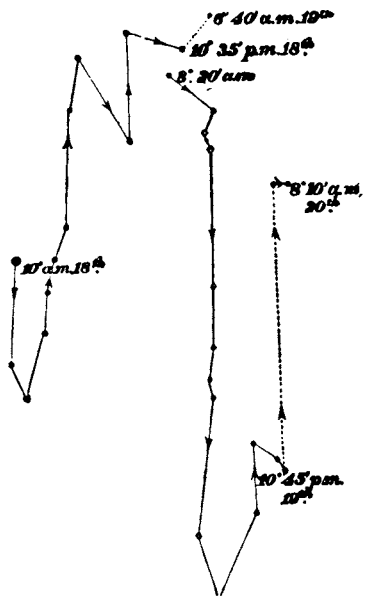
La stessa foglia era stata osservata 2 mesi e mezzo prima; essa oscillava allora per salti. Possiamo dedurre che questo genere di movimento si produce di notte e di giorno, per un periodo assai lungo; esso è comune alle foglie giovani non ancora sviluppate, ed alle foglie così vecchie da aver perduta la loro sensibilità al contatto, benchè sieno ancora capaci di assorbire la materia azotata. Questo fenomeno è dei più interessanti, quando si manifesta completamente, come nella giovane foglia ora descritta. Esso fa nascere nella mente l'idea di uno sforzo, paragonabile a quello che farebbe un piccolo animale per sfuggire a qualche stretta.

16. *Eucalyptus resinifera* (Mirtaceæ, fam. 94). — Fu osservata, nel solito modo, una giovane foglia lunga 2 pollici compreso il picciuolo, che era prodotta da un rampollo laterale di un albero tagliato. Il lembo non aveva ancora preso la sua posizione verticale. Li 7 giugno facemmo soltanto alcune osservazioni; il diagramma però mostrava che la foglia si era mossa 3 volte in alto e 3 volte in basso. Il giorno dopo fu osservata con maggior frequenza. Facemmo due traccie (A e B, fig. 108), poichè una sola sarebbe stata troppo complicata. L'estremità cambiò di direzione 13 volte in 16 ore, principalmente seguendo la verticale, ma con un debole movimento laterale. La quantità effettiva del movimento in ogni direzione era assai limitata.

17. *Dahlia* (var. dei giardini) (Compositæ, fam. 122). — Osservammo una foglia

giovane lunga 5 3/4 di poll. e portata da una pianticella alta due piedi, che germogliava vigorosamente in un gran vaso. La foglia formava sotto all'orizzonte un angolo di 45° circa. Il 18 giugno la foglia discese dalle 10 alle 11,35 del mattino (fig. 109), risalì quindi fortemente fino alle 6 di sera; tale ascensione era probabilmente dovuta alla luce, che non giungeva soltanto dall'alto. Essa descrisse delle linee a zig-zag, dalle 6 alle 10,35 della sera, e salì un poco nel corso della notte. Bisogna notare che le distanze verticali sono esagerate di molto nella parte inferiore del diagramma, perchè la foglia era in principio inclinata al disotto dell'orizzonte, e dopo la sua discesa, il filo si dirigeva assai obliquamente verso la lamina di vetro. Il dì successivo la foglia discese dalle 8,20 del mattino alle 7,15 della sera, poscia descrisse delle linee a zig-zag e si elevò molto durante la notte. Il 20 di mattina la foglia stava probabilmente per discendere, sebbene la breve linea del diagramma sia orizzontale. Le distanze effettive percorse dall'estremità della foglia quantunque considerevoli, non poterono essere calcolate con qualche esattezza. Dal cammino seguito nel secondo giorno, una volta abituata la pianta a ricevere la luce dall'alto, non potevamo dubitare che le foglie non avessero un movimento periodico quotidiano, e ch'esse non discendessero nella giornata per elevarsi alla notte.

Fig. 109.



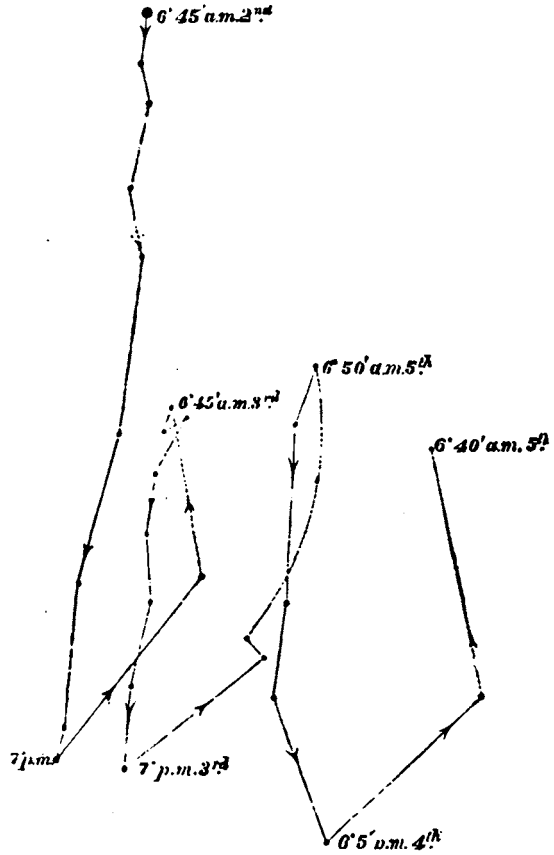
Dahlia: circumnutazione di una foglia, rilevata dalle 10 di mattina del 18 giugno alle 8,10, pure di mattina, del giorno 20, ma con una interruzione di 1 ora e 40 m. la mattina del 19, siccome il filo di vetro si dirigeva troppo fortemente da una parte e fu necessario spostare leggermente il vaso. La posizione relativa delle due traccie è dunque alquanto arbitraria. La figura è qui ridotta al quinto. L'estremità della foglia è a 9 poll. dal vetro, nel senso della sua inclinazione, e a 4 3/4 poll., seguendo una linea orizzontale.

18. *Mutisia clematis* (Compositæ). — Le foglie terminano con viticci e circumnutano come le altre foglie a viticci; ma, se noi citiamo qui questa pianta, si è per correggere l'asserzione erronea (1) già pubblicata, che cioè le foglie cadono durante la notte per elevarsi di giorno. Le foglie che si comportavano così erano state custodite diversi giorni in una stanza esposta al nord, in mezzo ad una luce insufficiente. Lasciammo dunque una pianta nella serra, nelle condizioni normali, e misurammo gli angoli di 3 foglie, a mezzodì ed alle 10 della sera. Tutte tre a mezzogiorno erano un poco inclinate sotto all'orizzonte, ma al cominciare della notte una era di 2°, un'altra di 21°, e la terza di 10° più alta che alla metà della giornata; dunque, in luogo di cadere, si elevarono un poco durante la notte.

19. *Cyclamen Persicum* (Primulaceæ, fam. 135). — Osservammo per tre giorni, nel modo solito, una giovane foglia lunga 1,8 poll., compreso il picciuolo, portata da un vecchio ceppo (fig. 110). Il primo giorno la foglia discese più che in seguito, probabilmente per adattarsi alla luce proveniente dall'alto. Durante i tre giorni essa cadde dal mattino per tempo fino alle 7 circa di sera, e da questo momento si elevò nel corso della notte descrivendo dei leggieri zig-zag. Il movimento è dunque

(1) *The Movements and Habits of Climbing Plants*, 1875, p. 118.

Fig. 110.



Cyclamen Persicum: circumnutazione di una foglia rilevata dalle 6,45 di mattina del 2 giugno alle 6,40, pure di mattina, del giorno 5. Estremità a 7 poll. dal vetro.

Fig. 111.

Petunia violacea: movimento di discesa e circumnutazione di una foglia assai giovane, rilevati dalle 10 del mattino del 2 giugno alle 9,20, pure del mattino, del giorno 6.

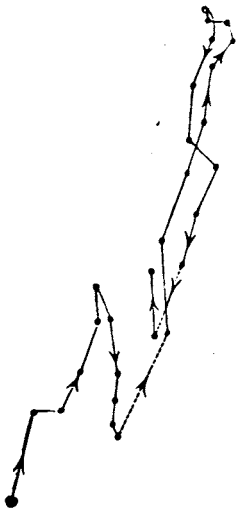
NB. A 6 ore 40 m. del giorno 5 fu necessario di cambiare un poco la posizione del vaso, e di cominciare una nuova traccia nel posto del diagramma dove i due punti sono separati. Apice della foglia a 7 pollici dal disco verticale di vetro. Temperatura generalmente 17°1/2 C.

strettamente periodico. Bisogna notare che la foglia sarebbe discesa ogni sera un poco più di quello che fece, se alle 5 od alle 6 il filo di vetro non fosse stato arrestato dal margine del vaso. La somma del movimento era considerevole; infatti, se noi ammettiamo che la foglia si sia curvata sino alla base del picciuolo, il diagramma sarebbe amplificato un poco meno di cinque volte, ciò che darebbe alla punta un percorso verticale di mezzo pollice con un certo movimento laterale. Questo movimento però non susciterebbe l'attenzione senza il soccorso di un diagramma o senza l'aiuto di una misurazione qualunque.

20. *Allamanda Schottii* (Apocyneæ, fam. 144). — Le giovani foglie di questo arbusto sono allungate, ed il loro lembo si curva in basso così fortemente da descrivere quasi un semicerchio. La corda — cioè a dire una linea tirata dall'apice del lembo alla base del picciuolo — di una giovane foglia lunga 4 3/4 poll. formava, alle 2,50 di sera del 5 dicembre, un angolo di 15° sotto all'orizzonte; ma alle 9,30

di sera il lembo (e ciò abbraccia l'elevazione dell'estremità) si era raddrizzato tanto che la corda formava un angolo di 37° coll'orizzonte e si era quindi elevato di 50°. Il giorno dopo prendemmo delle misure simili sulla medesima foglia: a mezzodì la corda era a 36° sotto all'orizzonte, ed alle 9,30 di sera a 3 1/2° al disopra, così che si era elevata di 39°,5. La principale causa di questo movimento ascensionale è il raddrizzamento del lembo, ma il breve picciuolo si eleva pure di 4° o 5°. La terza notte, la corda era a 35° al disopra dell'orizzonte, e se a mezzodì la foglia avesse occupata la medesima posizione che alla vigilia, si sarebbe elevata di 71°. Nelle foglie vecchie non potemmo punto constatare un tale cambiamento d'incurvatura. La pianta fu allora portata nella casa, e collocata in una camera esposta al N.-E.; alla notte però non vi era alcun cambiamento nell'incurvatura delle giovani foglie. Così, una esposizione antecedente ad una forte luce è probabilmente indispensabile per il cambiamento periodico dell'incurvatura del lembo e per la debole elevazione del picciuolo.

Fig. 112.



Acanthus mollis; circumnutazione di una giovane foglia, rilevata dalle 9,20 del mattino del 14 giugno alle 8,30, pure del mattino, del giorno 16. Estremità della foglia a 11 poll. dal vetro verticale. Amplificazione considerevole. Figura ridotta alla metà. Temp. 15° a 16°,5 C.

21. *Wigandia* (Hydroleaceæ, fam. 149). — Il professore Pfeffer c'informa, che le foglie di questa pianta si elevano nel corso della sera; ma noi non conosciamo l'ampiezza di questo movimento, e questa specie deve forse prendere posto fra le piante che dormono.

22. *Petunia violacea* (Solaneæ, fam. 157). — Osservammo durante quattro dì una giovane foglia, che non aveva che 3/4 di poll. di lunghezza, ed era fortemente inclinata in alto. Durante tutto questo tempo si piegò in alto e in fuori, fino a divenire progressivamente quasi orizzontale. La linea fortemente marcata a zig-zag, (figura 111), mostra che tale movimento si produceva sotto l'influenza di una modificazione della circumnutazione, e durante l'ultima parte dell'osservazione esisteva la solita forte circumnutazione sopra scala ristretta. Il movimento sul diagramma è amplificato di 10 ad 11 volte. Esso indica una traccia ben netta di periodicità, giacchè la foglia si eleva un poco tutte le sere. Ma tale disposizione all'elevarsi sembrava essere quasi annientata dalla tendenza della foglia ad avvicinarsi sempre più al piano orizzontale a misura ch'essa ingrandiva. Gli angoli formati da due foglie più vecchie furono misurati alla sera ed a mezzodì per 3 giorni successivi; ogni notte l'angolo diminuiva un poco, quantunque irregolarmente.

23. *Acanthus mollis* (Acanthaceæ, fam. 168). — Osservammo per 47 ore la più giovane di due foglie prodotte da una pianticella; essa misurava 2 1/4 poll., compreso il picciuolo. Ogni mattina per tempo l'estremità della foglia cadeva, e nei due dopo mezzodì, in cui essa fu osservata, continuava ad abbassarsi fino alle 3 di sera. Dopo le 3 pom. si elevava considerevolmente, e continuò nello stesso modo nel corso della seconda notte fino alla mattina per tempo. Ma la prima sera essa discese in luogo di salire; noi abbiamo delle ragioni per ritenere che questo movimento fosse dovuto al fatto che la foglia era ancora giovane, e diveniva sempre più orizzontale, sotto l'influenza dell'accrescimento epinastico. Si può vedere infatti dal diagramma (fig. 112), che la foglia era nel primo giorno ad un livello più alto che nel secondo. Le foglie di una specie vicina (*A. spinosus*) si elevano certamente ogni notte; l'ascensione, fra mezzodì e le 10,15 di sera, era in un caso di 10°,

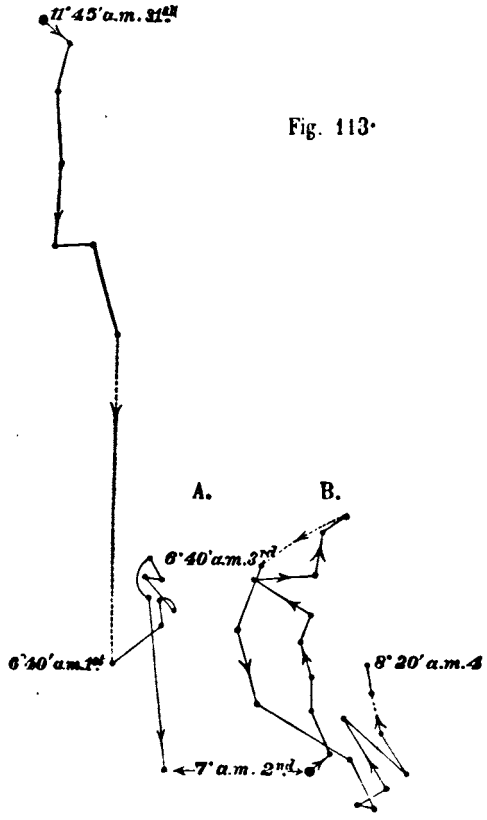


Fig. 113.

Pinus pinaster: circumnutazione di una giovane foglia, rilevata dalle 11,45 del mattino del 31 luglio alle 8,20, pure del mattino, del 4 agosto. Alle 7 del mattino del 2 agosto il vaso fu spostato di 1 poll., di guisa che la traccia si compone di due figure. Estremità della foglia a 14 1/2 poll. dal vetro; amplificazione molto grande.

Fig. 114.

Cycas pectinata: circumnutazione di una delle foglioline terminali, rilevata dalle 8,30 del mattino del 22 giugno alle 8, pure del mattino, del 24. Estremità della fogliolina a 7 3/4 poll. dal vetro verticale. L'amplificazione non è dunque considerevole. La traccia è qui ridotta al terzo. Temperatura 19°-21° C.

allorchè la misurammo. Questo movimento era dovuto principalmente, o forse esclusivamente, al raddrizzamento del lembo, e non al movimento del picciuolo. Possiamo concludere che le foglie di acanto circumnutano periodicamente, e discendono al mattino per salire dopo mezzodì e nel corso della notte.

24. *Cannabis sativa* (Cannabineæ, fam. 195). — Abbiamo qui un caso raro di foglie discendenti nella sera, ma lo fanno in modo troppo poco evidente perchè questo movimento possa ricevere il nome di sonno (1). Al mattino per tempo od alla fine della notte esse si elevarono. Per es., tutte le giovani foglie presso alla sommità di molti fusti erano quasi orizzontali alle 8 del mattino del 29 maggio, e si erano considerevolmente abbassate alle 10,30 della sera. Un altro giorno due foglie erano, a 2 ore della sera, a 21° ed a 12° sotto all'orizzonte, ed alle 10 di sera

(1) Fummo condotti ad osservare questa pianta dalla lettura della memoria del dott. CARLO KRAUS, *Beitrage zur Kentniss der Bewegungen wachsender Laubblätter* (*Flora*, 1879, p. 66). Ci rincresce di non aver potuto comprendere interamente alcune parti di questo lavoro.

a 38°. Due altre foglie, sopra una pianta più giovane, erano orizzontali a 2 ore pom. ed a 36° sotto all'orizzonte alle 10 di sera. Questo movimento proprio alle foglie è attribuito da Kraus al loro accrescimento epinastico. Egli aggiunge che le foglie sono allo stato di rilassamento nella giornata, e di tensione nella notte, sia il tempo bello o piovoso.

25. *Pinus pinaster* (Coniferæ, fam. 223). — Le foglie alla sommità dei rami terminali formano in principio dei fasci quasi diritti, poi si rendono divergenti fino a divenire pressochè orizzontali. Tracciammo, dalla mattina del 2 giugno fino alla sera alle 7, i movimenti di una giovane foglia lunga circa 1 pollice, posta in cima ad una giovane pianta che non misurava che 3 pollici in altezza. Per 5 giorni la foglia si allontanò dalle altre e la sua estremità discese in principio quasi in linea retta; ma durante i due ultimi giorni essa descrisse tali linee a zig-zag che la circumnutazione divenne evidente. La stessa piccola pianta pervenuta ad un'altezza di 5 poll. fu di nuovo osservata per 4 giorni. Si fissò un filo trasversalmente sulla estremità di una foglia lunga 1 pollice, che si era considerevolmente allontanata dalla sua posizione verticale primitiva. Essa continuò a rendersi divergente (A. figura 113) ed a discendere dalle 11,45 del mattino del 31 luglio fino alle 6,40 del mattino del 1° agosto. In questo giorno essa circumnutò sopra un debole spazio, poi ridiscese verso notte. Al mattino successivo il vaso fu spostato di circa 1 pollice verso la destra, e cominciammo una nuova traccia (B). Da questo momento (7 del mattino del 2 agosto) fino alle 8,20 del mattino del 4 agosto, la foglia circumnutò in modo manifesto. Non appare dal diagramma che il movimento delle foglie sia periodico, giacchè il movimento di discesa, durante le due prime notti, era nettamente dovuto all'accrescimento epinastico, ed alla fine delle osservazioni la foglia non era ad un dipresso tanto orizzontale quanto lo sarebbe divenuta più tardi.

Pinus austriaca. — Due foglie, lunghe 3 poll., ma non perfettamente adulte, furono osservate per 29 ore (li 31 luglio) nella stessa maniera di quella della specie precedente: esse erano portate da un albero giovane alto tre piedi. Queste due foglie circumnutavano certamente, e descrissero durante questo periodo due (o due e mezza) ellissi piccole ed irregolari.

26. *Cycas pectinata.* (Cicadeæ, fam. 224). — Osservammo per 47 ore 30 m. una giovane foglia lunga 11 1/2 poll., le cui foglioline erano nate da poco. Il peduncolo fogliare principale presso le due foglioline terminali era assicurato ad un bastone. Sopra una di queste ultime, lunga 3 3/4 poll., fu fissato un filo di vetro. La fogliolina era fortemente curvata in basso, ma la parte terminale si rivolgeva in alto, ed il filo di vetro si proiettava per conseguenza quasi orizzontalmente. La fogliolina si muoveva (fig. 114) largamente e in modo periodico; discendeva infatti fino a 7 ore della sera circa, poi risaliva durante la notte, per discendere nuovamente al mattino successivo dopo le 6,40. Le linee discendenti formavano degli evidenti zig-zag, e sarebbe stato probabilmente lo stesso delle linee ascendenti, se fossero state tracciate durante la notte.

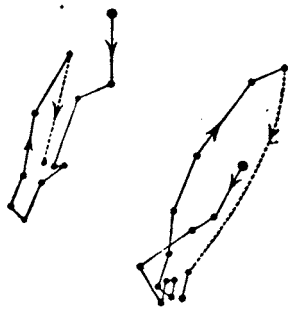
Circumnutazione delle foglie — Monocotiledoni.

27. *Canna Warscewiczii* (Cannaceæ, fam. 2). — Osservammo per 45 ore e 50 m. i movimenti di una giovane foglia lunga 8 poll. e larga 3 1/2 poll., portata da una pianta giovane e vigorosa (vedi fig. 115). La mattina del giorno 11 il vaso dovette essere spostato di circa 1 pollice verso la destra, poichè una sola figura sarebbe stata troppo complicata. Ma i due diagrammi non sono separati da un intervallo di tempo. Il movimento è periodico, giacchè la foglia discendeva dalla mattina fino

alle 5 di sera, e risaliva nel resto della sera e per una parte della notte. Alle 11 di sera essa circumnutò qualche tempo in grado leggero intorno allo stesso punto.

28. *Iris pseudo-acorus* (Irideæ, fam. 10). — Rilevammo per 27 ore 30 m. (figura 116) i movimenti di una giovane foglia che si elevava 13 poll. al disopra del livello dell'acqua nella quale germogliava la pianta. Essa circumnutava manifestamente, ma sopra una piccola estensione. Al mattino successivo, dalle 6,40 ant. fino alle 2 di sera (ed a quest'ultimo momento termina la figura che diamo), l'estremità cambiò 5 volte di direzione. Durante le ultime 8 ore e 40 m. descrisse delle numerose linee a zig-zag e ridiscese fino al livello del punto più basso della figura; in questa discesa tracciò due piccole ellissi, ma il diagramma sarebbe stato troppo complicato se noi vi avessimo aggiunte queste linee.

Fig. 115.



A B

Canna Warscewiczii: circumnutazione di una foglia, rilevata, in A, dalle 11,30 del mattino del 10 giugno alle 6,40, pure del mattino, del giorno 11; in B, dalle 6,40 del mattino del giorno 11 alle 8,40 del mattino del 12. Estremità della foglia a 9 poll. dal vetro verticale.

Fig. 116.

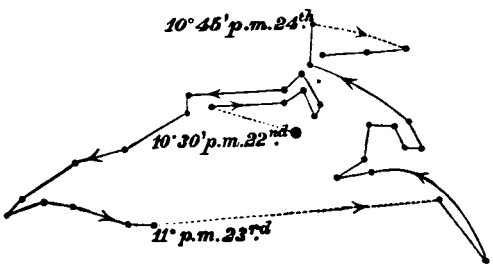
Iris pseudo-acorus: circumnutazione di una foglia, rilevata dalle 10,30 del mattino del 28 maggio alle 2 di sera del 29. La traccia fu continuata fino alle 11 di sera, ma senza essere qui riprodotta. Estremità della foglia a 12 poll. dal vetro orizzontale; amplificazione considerevole. Temper. 15°-16° C.

29. *Crinum Capense* (Amaryllideæ, fam. 11). — Le foglie di questa pianta sono notevoli per la loro lunghezza e per la strettezza; una di esse essendo stata misurata aveva 53 poll. di lunghezza e soltanto 1,4 poll. di larghezza alla base. Mentre sono affatto giovani, si tengono diritte quasi verticalmente fino all'altezza di un piede circa; più tardi, le loro estremità cominciano a piegare, poi a curvarsi verticalmente in basso, e continuano a crescere così. Scegliemmo una foglia abbastanza giovane, la cui parte flessa e diretta in basso non aveva che 5 1/2 poll. di lunghezza, mentre la porzione basilare eretta verticalmente misurava 20 poll.; ma quest'ultima parte diviene più breve a misura che la curvatura si fa più accentuata. Sopra questa pianta fu posta una grande campana di vetro che portava un punto nero su una delle sue faccie. Ponendo in comunicazione con questo punto l'estremità della foglia, potemmo tracciare la fig. 117 sull'altra parte della campana, nell'intervello di 2 giorni e 1/2. Nel corso della prima giornata (del 22), l'estremità guadagnò molto verso sinistra, forse perchè la pianta era stata molestata; non diamo qui che l'ultimo punto tracciato in quel giorno alle 10,30 della sera. Come lo si vede dalla figura, non si può avere alcun dubbio sulla circumnutazione.

Un filo di vetro munito di piccoli triangoli di carta fu allora fissato obliquamente sull'estremità di una foglia ancora più giovane, che si elevava verticalmente ed era ancora diritta. I suoi movimenti furono rilevati dalle 3 di sera del 22 maggio

fino alle 10,15 di mattina del 25. Essendo la foglia dotata di un pronto accrescimento, la sua estremità in questo periodo salì rapidamente, descrisse numerose linee a zig-zag e circumnutò per conseguenza chiaramente, mentre tendeva a formare ogni giorno una ellisse. Le linee tracciate durante la notte erano molto più verticali che quelle della giornata; questo fatto indica che il diagramma avrebbe mostrato una elevazione notturna ed una discesa diurna se l'accrescimento della foglia non fosse stato così rapido. Rilevammo ortogonalmente, col mezzo di un cubo di legno (come l'abbiamo spiegato più sopra) il movimento della stessa foglia dopo un intervallo di 6 giorni (al 31 maggio). L'estremità si era incurvata fino ad occupare una posizione orizzontale ed aveva così cominciato il movimento che doveva condurla a pendere verticalmente in basso. Potemmo in tal guisa determinare che la distanza percorsa a questo momento dall'estremità, e dovuta alla circumnutazione, era di 3 1/8 poll. in 20 ore e 1/2. Durante le 24 ore successive essa percorse 2 1/2 poll. Il movimento circumnutante di questa giovane foglia era dunque fortemente pronunciato.

Fig. 117.



Crinum capense: circumnutazione dell'estremità pendente di una giovane foglia, rilevata sopra una campana di vetro dalle 10,30 della sera del 22 maggio alle 10,15 della mattina del 25. Amplificazione debole.

30. ***Pancratium littorale*** (Amaryllideæ). — Rilevammo per due giorni i movimenti, fortemente amplificati, di una foglia lunga 9 poll., ed inclinata di circa 45° sull'orizzonte. Al primo giorno essa cambiò di direzione, verticalmente e lateralmente, 9 volte in 12 ore; la figura tracciata rappresenta evidentemente 5 ellissi. Al secondo giorno, essa fu osservata più di raro; non la vedemmo dunque cambiare di direzione con tanta frequenza (6 volte soltanto), ma i cambiamenti erano così complicati come prima. Quantunque i movimenti fossero poco estesi, non si poteva avere alcun dubbio intorno alla circumnutazione della foglia.

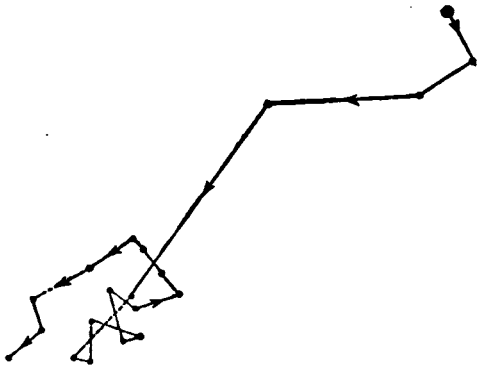
31. ***Imatophillum*** vel ***Clivia*** (sp.?) (Amaryllideæ). — Fu fissato sopra ad una foglia un lungo filo di vetro e misurammo a diverse riprese, per tre giorni, l'angolo che formava coll'orizzonte. Esso discendeva ogni mattina, e continuava fino alle 3 od alle 4 della sera, poi risaliva durante la notte. L'angolo più piccolo misurato al disopra dell'orizzonte era di 48°, ed il più grande di 50°; la foglia non si elevava dunque che di 2° nel corso della notte. Ma, siccome questa elevazione si produceva ogni giorno, e noi facemmo del resto delle osservazioni notturne sopra un'altra foglia portata da una pianta diversa, non potemmo dubitare del movimento periodico della foglia, benchè fosse poco esteso. La posizione più elevata della punta era a 0,8 poll. al disopra della sua posizione più bassa.

32. ***Pistia stratiotes*** (Aroideæ, fam. 30). — Hofmeister fa osservare che le foglie di questa pianta acquatica galleggiante sono più elevate di notte che di giorno (1). Fissammo un filo sottile di vetro sulla nervatura mediana di una foglia abbastanza giovane, ed al 19 settembre misurammo 14 volte, dalle 9 del mattino alle 11,50 di sera, l'angolo formato coll'orizzonte. La temperatura della serra, durante i due giorni dell'osservazione, si mantenne fra 18°,5 e 23°,5 C. Alle 9 del

(1) *Die Lehre von der Pflanzenzelle*, p. 327, 1867.

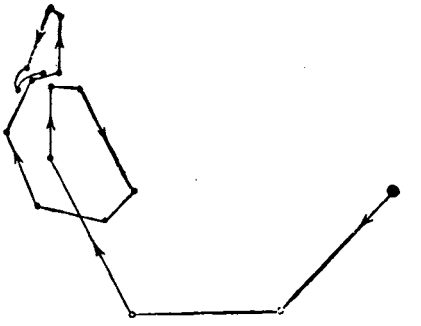
mattino il filo era a 32° sopra l'orizzonte, alle 3,34 di sera a 10° ed alle 11,50 di sera a 55°; questi due ultimi angoli sono l'uno il più grande e l'altro il più piccolo che noi abbiamo osservati in quel giorno; la loro differenza è di 45°. Il movimento di elevazione non si fece assai marcato che alle 5 od alle 6 di sera. Il giorno appresso la foglia non era alle 8,25 ant. che a 10° sopra l'orizzonte, e rimase a 15° circa fino alle 3 di sera; alle 5,40 della sera era a 23° ed alle 9,30 a 58°. Il movimento di elevazione era dunque più rapido in quella sera che alla vigilia, e la differenza fra gli angoli estremi raggiungeva 48°. Il movimento è visibilmente periodico, e siccome la foglia era la prima sera a 55°, e la seconda a 58° al disopra dell'orizzonte, appariva fortemente inclinata. Questo caso, che vedremo nel capitolo seguente, potrebbe probabilmente essere classificato fra i fenomeni di sonno delle piante.

Fig. 118.



Pontederia (sp ?): circumnutazione di una foglia, rilevata dalle 4,50 di sera del 2 luglio, alle 10,15 di mattina del 14. Estremità della foglia a 16 1/2 poll. dal vetro verticale. Forte amplificazione. Temperatura di circa 17° C., quindi un po' troppo bassa.

Fig. 119.



Nephrodium molle: circumnutazione di una rachide rilevata dalle 9,15 del mattino del 28 maggio alle 9, pure del mattino, del 29. Figura ridotta ai due terzi.

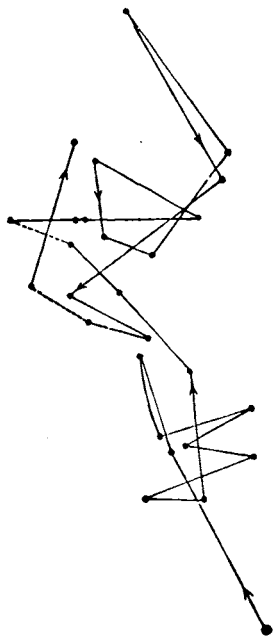
33. *Pontederia* (sp. ?) (dell'altipiano di Santa Caterina, Brasile) (Pontederiaceæ, fam. 46). — Si fissò un filo di vetro trasversalmente sull'estremità di una foglia abbastanza giovane, alta 7 1/2 poll. e si rilevarono i suoi movimenti per 42 ore e 1/2 (fig. 118). La prima sera, nella quale fu cominciata la traccia e durante la notte, la foglia discese considerevolmente. Al mattino successivo, risalì descrivendo delle linee a zig-zag fortemente marcate, e ridiscese alla sera e nella notte. Il movimento sembrava dunque periodico, ma questa conclusione può essere messa in dubbio, poichè un'altra foglia alta 8 poll., che pareva più vecchia ed era meglio eretta, si comportava in modo diverso. Durante le 12 prime ore essa circumnutò intorno ad un ristretto spazio, ma nel corso della notte e tutto il giorno seguente risalì nella medesima direzione generale. Questa ascesa si effettuava con delle oscillazioni verticali frequenti e assai pronunciate.

CRITTOGAME.

34. *Nephrodium molle* (Filices, fam. 1). — Si fissò un filo di vetro presso all'estremità di una giovane fronda di questa felce alta 17 poll. che non era ancora completamente sviluppata; i suoi movimenti furono rilevati per 24 ore. Si vede dalla fig. 119, ch'essa circumnutava manifestamente. Il movimento non era molto

amplificato, poichè la fronda era situata presso al vetro verticale; questo movimento sarebbe riuscito d'altronde probabilmente più grande e più rapido, se il giorno fosse stato più caldo. La pianta infatti era stata presa in una serra assai calda, ed osservata al di fuori sotto ad una invetriata ad una temperatura di 15° a 16° C. Abbiamo visto nel capitolo I, che una fronda di questa felce, che non era ancora che debolmente lobata, e di cui la rachide non aveva che 0,23 poll. d'altezza, circumnutava in modo manifesto (1).

Fig. 120.



Lunularia vulgaris: circumnutazione di una fronda, dalle 9 del mattino del 25 ottobre, alle 8, pure del mattino, del 27.

Noi descriveremo nel capitolo relativo al sonno delle piante la notevole circumnutazione della ***Marsilea quadrifolia*** (Marsileaceæ, fam. 4). Abbiamo pure mostrato nel cap. I, che una giovane ***Selaginella*** (Licopodiaceæ, fam. 6), alta solo 0,4 poll., circumnutava in modo evidente, e possiamo concludere che piante più vecchie si comportano nello stesso modo durante il loro accrescimento.

35. ***Lunularia vulgaris*** (Hepaticæ, fam. 11, Muscales). — La terra d'un vecchio vaso da fiori era coperta di questa pianta portante delle gemme. Noi scegliemmo per l'osservazione una fronda assai eretta che emergeva dal suolo 0,3 poll. ed era larga 0,4 poll. Fissammo su questa fronda, mediante la gomma lacca, perpendicolarmente alla sua larghezza, un filo di vetro di una estrema sottigliezza, lungo 0,75 poll., la cui punta era stata imbianchita, e immediatamente dietro al termine del filo fu piantato nel suolo un bastone bianco, provveduto di un punto nero assai piccolo. L'estremità imbiancata del filo di vetro poteva essere portata rigorosamente sulla stessa linea col punto nero, e così si potevano tracciare dei punti sulla lamina di vetro verticale posta di faccia. Ogni movimento della fronda doveva in tal modo rendersi visibile, ed essere considerevolmente amplificato; il punto nero era posto così vicino al filo di vetro, relativamente alla distanza della lamina, che il movimento dell'estremità doveva essere amplificato circa 40 volte. Nondimeno noi siamo convinti che la nostra traccia rappresenta assai fedelmente i movimenti della fronda. Negli intervalli delle osservazioni, la pianta era coperta da una piccola campana di vetro. La fronda, come abbiamo già detto, era fortemente eretta, ed il vaso era posto in faccia ad una finestra orientata a N.-E. Durante i cinque primi giorni la fronda si dirigeva in basso, e si erigeva meno; la lunga linea così tracciata correva fortemente a zig-zag, e mostrava delle anse chiuse o quasi, ciò che indica una circumnutazione. Non sappiamo se il movimento di discesa fosse dovuto

(1) Il signor Loomis ed il prof. Asa Gray hanno descritto (*Botanical Gazette*, 1880, pag. 27-43) un caso assai curioso di movimento nelle frondi, ma soltanto in quelle fruttifere d'*Asplenium trichomanes*. Esse si muovono quasi così rapidamente che le piccole foglioline di *Desmodium girans*, alternativamente verso l'alto e verso il basso, percorrendo un arco di 20° a 40° in un piano perpendicolare a quello della fronda. L'estremità di quest'ultima descrisse « una ellisse lunga ed assai stretta », dunque essa circumnuta. Ma questo movimento differisce dalla circumnutazione ordinaria in ciò, che esso non avviene che quando la fronda è esposta alla luce. Spesso la luce artificiale « è sufficiente per determinare un movimento di alcuni minuti ».

all'epinastia od all'afeliotropismo. Tale movimento essendosi indebolito al quinto giorno, cominciammo al sesto (25 ottobre) una nuova traccia che fu continuata per 47 ore e che rappresentiamo nella fig. 120. Fu fatta un'altra traccia il giorno successivo (al 27), e la fronda si trovò ancora in circumnutazione, poichè in 14 ore e 30 m. essa mutò 10 volte completamente di direzione (oltre a più leggeri cambiamenti). La esaminammo ancora qualche volta durante i due giorni che seguirono e la vedemmo continuamente muoversi.

I membri più bassi della serie vegetale, le Tallogene, sembrano circumnutare. Se si pone sotto al microscopio un'Oscillaria, si può vederla descrivere dei circoli in 40 secondi circa. Dopo di essersi curvata in un senso, l'estremità comincia dapprima ad inclinarsi verso la parte opposta, e poscia il filamento tutto intiero prende la stessa direzione. Hofmeister (1) ha dato una minuziosa descrizione dei movimenti di *Spyrogyra*, movimenti curiosi, ma meno per la loro regolarità che per la loro costanza; in due ore 1/2 il filamento si diresse 4 volte verso la destra e tre volte verso la sinistra; inoltre esiste un movimento perpendicolare a questo. L'estremità si muoveva con una velocità di circa mm. 0,1 in cinque minuti. Egli paragona questo fenomeno al movimento di nutazione delle piante di organizzazione più elevata (2). Vedremo più avanti che i movimenti eliotropici risultano dalla circumnutazione modificata; e che i funghi unicellulari s' inclinano verso la luce; noi possiamo dunque concludere ch'essi circumnutano.

Osservazioni finali sulla circumnutazione delle foglie

Abbiamo descritto i movimenti circumnutanti delle giovani foglie in 33 generi, appartenenti a 25 famiglie nettamente ripartite fra le Dicotiledoni ordinarie, le Gimnosperme, le Monocotiledoni e di più, in alcune Crittogame. Non sarebbe dunque fuori di proposito l'affermare che le foglie di tutte le piante circumnutano durante il loro accrescimento, conclusione che abbiamo creduto di potere adottare, allorchè si trattò dei cotiledoni. Il movimento ha generalmente la sua sede principale nel picciuolo e nel lembo, o in quest'ultimo soltanto. L'estensione del movimento differisce molto secondo le piante; ma la distanza percorsa non è mai molto grande, se si eccettui però la *Pistia* che dovrebbe forse essere compresa fra le piante che dormono. Non abbiamo misurato che accidentalmente il movimento angolare delle foglie; esso variava di solito fra 2° (e forse in certi casi meno ancora) e 10° circa; si elevava tuttavia a 23° nella fava comune. Il movimento principale si esercita in un piano verticale; ma siccome le linee ascendenti e discendenti non coincidono mai, vi è sempre un certo movimento laterale che dà origine a delle ellissi irregolari. Il movimento può dunque prendere il nome di circumnutazione: tutti gli organi circumnutanti tendono infatti a descrivere

(1) *Ueber die Bewegungen der Faden der* Spirogyra Princeps *in Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Würtemberg*, 1874, p. 211.

(2) Zukal fece pure osservare (*Journal R. Microsc. Soc.*, 1880, vol. III, p. 320), che i movimenti di *Spirulina* (che fa parte della famiglia delle Oscillatoriee) sono completamente analoghi « alla rotazione ben nota dei fusti e dei viticci in via di accrescimento ».

delle ellissi, ciò che equivale a dire che l'accrescimento sopra un punto è seguito da un accrescimento sopra un punto quasi, ma non del tutto, opposto. Le ellissi o le linee spezzate che rappresentano delle ellissi stirate, sono in generale assai strette; però nella *Camellia* i piccoli assi sono metà, e nell'Eucalipto più che metà, degli assi maggiori. Nel *Cissus*, certe parti della figura descritta rappresentano piuttosto dei circoli che delle ellissi. La somma del movimento laterale è dunque talvolta considerevole. Di più, gli assi maggiori delle ellissi successivamente formate (come nella fava, nel *Cissus* e nel cavolo), ed in qualche caso le linee spezzate che rappresentano delle ellissi, si estendevano in direzioni assai differenti durante la stessa giornata o il giorno successivo. Il cammino seguito era curvilineo o retto; esso formava delle linee a zig-zag più o meno marcate, e sovente delle piccole anse o dei triangoli. Durante la giornata poteva essere descritta una sola grande ellisse irregolare, mentre che al giorno successivo la stessa pianta ne formava due. Per es., se ne formavano ogni giorno due nella *Drosera*, e parecchie nel *Lupinus*, *Eucalyptus* e *Pancratium*.

Le oscillazioni ed i salti proprii alle foglie di *Dionœa* (essi rassomigliano a quelli dell'ipocotilo di cavolo) sono assai notevoli quando si vedono sotto al microscopio. Continuano notte e giorno per parecchi mesi e si possono constatare presso le giovani foglie non ancora spiegate, così bene come presso quelle che, più vecchie, hanno perduto ogni sensibilità al contatto, ma che chiudono i loro lobi dopo l'assorbimento di una materia animale. Riscontreremo più tardi questo stesso movimento nelle articolazioni di alcune Graminacee; tale fenomeno è del resto probabilmente comune a diverse piante durante la circumnutazione. È per conseguenza strano che non sia stato possibile di constatare tale movimento nei tentacoli di *Drosera rotundifolia*, benchè questa pianta appartenga alla medesima famiglia della Dionæa. Però il tentacolo che noi abbiamo osservato era così sensibile, che cominciava a curvarsi 23 secondi dopo di essere stato toccato con un pezzo di carne cruda.

Uno dei fatti più interessanti fra quelli che sono relativi alla circumnutazione delle foglie è la periodicità dei loro movimenti. Spesso, anzi generalmente, esse si elevano un poco nella sera ed al principio della notte per ridiscendere al mattino successivo. Noi avevamo osservato esattamente il medesimo fenomeno nei cotiledoni. Le foglie si comportavano così in 16 dei 33 generi osservati, e probabilmente vi si devono aggiungere altri due generi. Non si può per altro ritenere che nei 15 generi rimanenti non vi sia stata periodicità di movimento, poichè 6 fra essi furono osservati per un tempo troppo breve perchè ci riuscisse possibile di formulare un giudizio su questo punto; in 3 altri le foglie erano così giovani che ogni specie di movimento era soggiogato dall'accrescimento epinastico, il quale tende a portarle in una posizione orizzontale. In un sol genere, *Cannabis*, le foglie cadevano nella sera, e Kraus attribuiva questo movimento alla preponde-

ranza dell'accrescimento epinastico. Non si può quasi nemmeno dubitare, come lo mostreremo più avanti, che questa periodicità non sia determinata dall'alternarsi giornaliero della luce e dell'oscurità. Le piante insettivore sono assai poco impressionate dalla luce, per quanto concerne i loro movimenti; ciò dipende probabilmente dal fatto che le loro foglie, almeno per la *Sarracenia*, *Drosera* e *Dionæa*, non hanno dei movimenti periodici. Il movimento di ascesa della sera è in principio debole; esso incomincia ad ore diverse per le differenti piante: per il *Glaucium* assai per tempo e cioè alle 11 del mattino, generalmente fra le 3 e le 5 della sera; ma qualche volta non prima delle 7 di sera. Si deve osservare che nessuna delle foglie descritte in questo capitolo (eccettuato, crediamo, quelle di *Lupinus speciosus*) possiede pulvino, poichè i movimenti periodici nelle foglie che ne sono provvedute si sono generalmente modificate per divenire dei movimenti di sonno, di cui non abbiamo ora ad occuparci. Questo fatto che le foglie ed i cotiledoni si elevano frequentemente, o meglio, generalmente, alla sera, per ridiscendere al mattino, è di un grande interesse, poichè c'indica l'origine da cui scaturirono i movimenti speciali di sonno in molte foglie e cotiledoni non muniti di pulvino. Quando si vuole affrontare il problema della posizione orizzontale delle foglie e dei cotiledoni durante il giorno e mentre sono esposti alla luce proveniente dall'alto, non si deve perdere di vista la periodicità sopra menzionata.

CAPITOLO V.

MODIFICAZIONI DELLA CIRCUMNUTAZIONE; PIANTE RAMPICANTI; MOVIMENTI DI EPINASTIA E DI IPONASTIA.

Circumnutazione modificata sotto l'influenza di cause innate, o in seguito all'azione delle condizioni esterne. — Cause innate. — Piante rampicanti; similitudine dei loro movimenti e di quelli delle piante ordinarie; aumento di ampiezza; differenze accidentali. — Accrescimento epinastico delle giovani foglie — Accrescimento iponastico degli ipocotili e degli epicotili delle pianticelle. — Apici uncinati delle piante rampicanti e di altre, come conseguenza della circumnutazione modificata. — *Ampelopsis tricuspidata*. — *Smithia Pfundii*. — Raddrizzamento degli apici sotto l'influenza dell'iponastia. — Accrescimento epinastico e circumnutazione dei peduncoli fiorali nel *Trifolium repens* ed *Oxalis carnosa*.

Le radichette, gli ipocotili e gli epicotili delle giovani pianticelle, anche prima della loro uscita dal terreno, e più tardi i loro cotiledoni, sono tutti in continua circumnutazione. E la stessa cosa si osserva nei fusti, stoloni, peduncoli fiorali e nelle foglie delle piante più avanzate. Noi possiamo quindi concludere, con molta sicurezza, che tutte le parti in via di accrescimento di tutte le piante sono dotate di un movimento circumnutante. Sebbene tale movimento nel suo stato ordinario e non modificato sembra essere in molti casi di una grande utilità, diretta od indiretta, per le piante, come, ad esempio, la circumnutazione nella radichetta che perfora il suolo, o quella dell'ipocotilo o dell'epicotilo arcuato che si fa strada alla superficie; tuttavia la circumnutazione è un fenomeno così generalmente diffuso, o meglio, tanto universale, che non possiamo considerarla come acquistata ad uno scopo speciale. Noi dobbiamo credere piuttosto ch'essa sia in maniera sconosciuta la conseguenza del modo in cui crescono i tessuti vegetali.

Ora vogliamo considerare i numerosi casi nei quali la circumnutazione si è modificata a scopi speciali diversi, ossia nei quali un movimento in progresso si accentua temporaneamente in una direzione, oppure diminuisce o quasi si arresta in un'altra. Queste modificazioni possono dividersi in due sottoclassi: nell'una il fenomeno proviene da una causa innata o costituzionale, e non dipende in nessun modo dalle condizioni esterne, tranne quelle che sono necessarie per l'accrescimento. Nella seconda sottoclasse, la modificazione dipende in gran parte dagli agenti esterni, quali sono l'alternarsi regolare del giorno e della notte, la sola luce, la temperatura o la gravità. Tratteremo in questo capitolo della prima sottoclasse, mentre che la seconda formerà il soggetto del resto del volume.

Circumnutazione delle piante rampicanti.

Il caso più semplice della circumnutazione modificata è quello offerto dalle piante rampicanti, eccettuate quelle che si fissano col mezzo di uncini o di radichette immobili; imperocchè la modificazione consiste principalmente nell'aumentata ampiezza del movimento. Il fenomeno risulta sia da un grande aumento di accrescimento sopra una limitata lunghezza, sia, ciò che è più probabile, da un aumento moderato di accrescimento, diffuso sopra una lunghezza considerevole dell'organo in moto, preceduto da turgescenza, ed agente successivamente sopra tutte le faccie. La circumnutazione delle piante rampicanti è più regolare di quella delle piante ordinarie, ma, sotto ogni altro riguardo, vi è una similitudine completa fra i loro movimenti, e cioè nella tendenza a descrivere delle ellissi successivamente dirette verso tutti i punti dell'orizzonte e spesso interrotte nel loro cammino da linee a zig-zag, da triangoli, da anse, o da piccole ellissi; inoltre nella velocità del movimento, ed anche in ciò che specie diverse eseguiscono una o parecchie rivoluzioni durante il medesimo intervallo di tempo. Nello stesso internodio, i movimenti cessano dapprima alla parte inferiore, poscia poco a poco in alto. Nei due casi, il movimento può essere modificato in modo intieramente analogo dal geotropismo e dall'eliotropismo, benchè poche piante rampicanti sieno eliotropiche. Si potrebbe d'altra parte trovare altri punti di rassomiglianza.

L'esame delle piante assai giovani mostra chiaramente che i movimenti delle piante rampicanti non sono che la circumnutazione ordinaria, modificata da un aumento di ampiezza; infatti le piante giovani si muovono come le altre piantine, ma a misura che avanzano in età, i loro movimenti divengono più estesi, senza subire altri cambiamenti. È evidente che questo potere è innato, e ch'esso non è posto sotto l'influenza degli agenti esterni, se si eccettuino quelli che agiscono sull'accrescimento e sul vigore della pianta. Nessuno può dubitare che questa facoltà sia stata acquistata allo scopo di permettere alle piante rampicanti di raggiungere una certa altezza e di avvicinarsi così alla luce. Tale scopo è raggiunto con due procedimenti assai differenti, e cioè col ravvolgimento intorno ad un sostegno, ed occorre all'uopo che i fusti sieno lunghi e flessibili; e in secondo luogo, nel caso delle piante a foglie rampicanti ed a viticci, coll'essere collocati questi organi in contatto con un sostegno ch'essi prendono mercè la loro sensibilità. È qui mestieri di osservare, che questi ultimi movimenti non hanno, per quanto si può giudicare, alcun rapporto colla circumnutazione. In altri casi, l'estremità dei viticci, portata a contatto di un sostegno, si sviluppa in un piccolo disco, il quale vi aderisce fortemente.

Abbiamo detto che la circumnutazione delle piante rampicanti differisce da quella delle piante ordinarie sopratutto per la sua maggiore ampiezza. Ma la maggior parte delle foglie circumnuta in un piano quasi verticale, descrivendo delle

ellissi assai strette, mentre al contrario la più parte dei viticci, che sono foglie trasformate, descrive delle ellissi più larghe o delle figure quasi circolari; esse hanno così maggiore probabilità di guadagnare da qualche parte un sostegno. I movimenti delle piante rampicanti sono stati modificati anco in alcune altre maniere speciali. Così i fusti circumnutanti di *Solanum dulcamara* possono avvolgersi attorno ad un sostegno allorquando quest'ultimo è sottile e flessibile quanto un cordone od un filo. I fusti rampicanti di molte piante d'Inghilterra non possono avvolgersi attorno ad un sostegno, che sia grosso qualche pollice, e però, nelle foreste dei tropici alcune hanno la facoltà di abbracciare dei tronchi di rilevante grossezza (1); questa grande diversità di potere dipende da qualche differenza, non ancora conosciuta, nel modo di circumnutazione. La più notevole modificazione speciale di questo movimento che noi abbiamo osservata è offerta dai viticci di *Echinocystis lobata;* tali viticci sono di solito inclinati di circa 45° sull'orizzonte, ma si distendono e si raddrizzano verticalmente ad un momento della loro corsa circolare, cioè a dire allorchè raggiungono e sorpassano la sommità del ramo da cui sortono. Se essi non possedessero e non esercitassero questa singolare proprietà, batterebbero infallibilmente contro la sommità del ramo, e verrebbero così arrestati nel loro cammino. Quando uno di questi viticci a tre branche comincia a distendersi ed a raddrizzarsi verticalmente, il movimento di rivoluzione si fa molto più rapido; ed appena che il punto difficile è stato sorpassato, questo movimento coincidendo con l'azione del peso stesso del viticcio, lo fa ricadere nella sua posizione inclinata primitiva, e così rapidamente che si può vedere muovere la sua estremità come l'indice di un orologio gigantesco.

Un gran numero di foglie, di foglioline ordinarie e di peduncoli fiorali sono muniti di pulvino; ma non si conosce ancora nessun viticcio provveduto di quest'organo. La causa di tale differenza si trova probabilmente in questo fatto che lo scopo principale del pulvino è di prolungare, dopo l'arresto dell'accrescimento, il movimento dell'organo che ne è provveduto; e siccome i viticci, come pure gli altri organi di fissazione, servono unicamente finchè la pianta aumenta in altezza, cioè a dire durante il suo accrescimento, così un pulvino destinato a prolungare i movimenti diventa completamente inutile.

È stato dimostrato nel precedente capitolo, che gli stoloni di alcune piante circumnutano largamente, e che questo movimento sembra aiutarle a trovare un passaggio fra i fusti delle piante che le circondano. Se si avesse potuto provare che i loro movimenti erano stati modificati ed accresciuti per questo scopo speciale, il loro studio sarebbe stato compreso nel presente capitolo; siccome l'ampiezza delle loro rivoluzioni non differisce così nettamente da quella delle piante ordinarie, come nel caso delle piante rampicanti, questo punto non è affatto sta-

(1) *The Movements and Habits of Climbing plants*, p. 35.

bilito. Si può esprimere lo stesso dubbio per le piante che seppelliscono i loro gusci; questo processo è certamente favorito dalla circumnutazione del peduncolo fiorale, ma non sappiamo se tale circumnutazione sia stata accresciuta per questo scopo speciale.

Epinastia — Iponastia

Il termine di epinastia è stato impiegato da De Vries (1) per designare un accrescimento longitudinale più grande sulla faccia inferiore di una parte del vegetale, la quale è così portata a curvarsi in basso; ed il termine di iponastia indica il fenomeno inverso, determinante una incurvatura in alto. Questi fenomeni succedono con tanta frequenza che è assolutamente necessario di servirsi dei predetti due termini. Il movimento così prodotto non è che una forma modificata della circumnutazione; vedremo infatti che un organo in movimento, sotto l'influenza dell'epinastia, non percorre generalmente una linea retta nel suo cammino in basso, ma si muove con delle oscillazioni verticali, aventi una debole inflessione laterale; è la stessa cosa, nel suo cammino in alto, per un organo sottomesso all'azione dell'iponastia. Il loro movimento è però preponderante in una direzione. Tale fatto mostra che vi è accrescimento sopra tutte le faccie dell'organo, ma che questo accrescimento è più forte sulla faccia superiore se vi è epinastia, e sulla faccia inferiore se vi è iponastia. Nello stesso tempo può prodursi (e De Vries insiste su questo fatto) un aumento di crescenza sopra una faccia per l'azione del geotropismo, e sopra un'altra per l'azione dell'eliotropismo; si è in tal guisa che gli effetti dell'epinastia e dell'iponastia possono essere amplificati o diminuiti.

Volendo si può dire che la circumnutazione ordinaria è combinata con l'epinastia, con l'iponastia, con gli effetti della gravità, della luce, ecc.; ci sembra però, per ragioni che esporremo più avanti, più corretto il dire che la circumnutazione è modificata da questi diversi agenti. Ed è ciò che faremo in seguito considerando la circumnutazione, che si presenta sempre, come modificata dall'epinastia, dall'iponastia, dal geotropismo o da altri agenti interni od esterni.

Uno dei casi più semplici e più comuni di epinastia è quello che ci offrono le foglie, che nella loro giovane età sono stipate le une contro le altre attorno alle gemme per divergere poi in età maggiore. Sachs ha osservato per il primo che questo fatto era dovuto ad un aumentato accrescimento sulla faccia superiore del picciuolo e del lembo; De Vries ha dimostrato in seguito con più dettagli che il movimento è determinato da questa causa, agevolato alquanto dal peso della foglia e contrariato, per quanto egli crede, dall'apogeotropismo, almeno dopo che la foglia si è resa un poco divergente. Nelle nostre osservazioni sulla circumnutazione delle

(1) *Arbeiten des Bot. Inst. in Würzburg*, Heft II. 1872. p. 223. — De Vries ha leggermente modificato (pag. 252) il significato che a queste due parole era stato dato in principio da Schimper, e si è in questo senso che le ha adottate Sachs.

foglie, ne scegliemmo alcune troppo giovani, così che continuarono a divergere ed a cadere mentre si tracciavano i loro movimenti. È ciò che si può constatare nei diagrammi (fig. 98 e 112) che rappresentano la circumnutazione delle foglie di *Acanthus mollis* e di *Pelargonium Zonale*. Osservammo dei casi analoghi nella *Drosera*. Un esempio ancora migliore ci fu offerto da una giovane foglia di *Petunia violacea*, lunga soltanto 3/4 di pollice, in cui i movimenti furono rilevati per quattro giorni (fig. 111). La foglia continuò per tutto questo tempo a divergere, percorrendo una linea ondulata in modo curioso, di cui alcuni angoli erano fortemente acuti; essa circumnutava nettamente negli ultimi giorni. Sopra un piede di questa Petunia che era stato collocato orizzontalmente, e sopra un altro piede verticale (le due piante erano mantenute in una completa oscurità) alcune foglie giovani della medesima età circa si resero divergenti nello stesso modo per 48 ore, e non mostrarono di subire l'azione dell'apogeotropismo; i loro peduncoli però avevano una tensione considerevole, poichè s'incurvavano istantaneamente verso l'alto, appena si distaccavano dai bastoni che li sostenevano.

Le foglie dei rami principali di garofano (*Dianthus caryophyllus*), mentre sono assai giovani, sono fortemente inclinate o verticali; e se la pianta ha un accrescimento vigoroso, esse divergono tanto che in un giorno si dispongono quasi orizzontali. Si muovono però in una direzione un poco obliqua, e questo movimento continua dipoi per qualche tempo nella medesima direzione; esso è, per quanto crediamo, in nesso colla disposizione spirale delle foglie sul fusto. Il cammino seguìto da una giovane foglia fu rilevato finchè essa discendeva così obliquamente; la linea era di certo, sebbene debolmente, a zig-zag, gli angoli maggiori formati dalle linee successive non erano che di 135°, 154° e 163°. Il movimento laterale che seguì (vedi fig. 96) era fortemente onduloso, talora accompagnato da circumnutazione. La divergenza e la discesa delle giovani foglie di questa pianta non ci sembrano che assai poco influenzate dal geotropismo o dall'eliotropismo; infatti una pianta, le cui foglie crescevano lentamente (e ce ne assicurammo con diverse misurazioni), fu coricata orizzontalmente e le giovani foglie opposte si misero nel solito modo ad allontanarsi simmetricamente l'una dall'altra, senza che il loro movimento ordinario fosse modificato dalla gravità o dalla luce.

Le foglie a spina di *Pinus pinaster* formano un fascio nella loro giovinezza; esse si rendono lentamente divergenti, di guisa che quelle che sono poste sui rami verticali divengono orizzontali. I movimenti di una di queste giovani foglie furono rilevati per 4 giorni 1/2, ed il diagramma che diamo (fig. 121) mostra che essa discese in principio seguendo una linea quasi retta, ma descrisse in seguito delle linee a zig-zag e formò pure una o due piccole anse. Tracciammo pure (vedi più sopra, fig. 113) i movimenti divergenti e discendenti di una foglia più vecchia; essa discese nella prima giornata e nel corso della prima notte, descrivendo delle leggere linee a zig-zag, si mise quindi a circumnutare sopra un piccolo spazio, poi ridiscese. Dopo ciò la foglia aveva quasi raggiunto la sua posizione finale, e si mise allora a circumnutare pienamente. Come nel garofano, le foglie assai giovani non sembrano subire l'azione del geotropismo o dell'eliotropismo; infatti quelle di una pianta coricata orizzontalmente, e quelle di un altro ceppo, nella sua posizione normale eretta, continuarono nell'oscurità a divergere nel modo solito, senza che nè le une nè le altre presentassero alcuna inclinazione.

Nella *Cobæa scandens*, le giovani foglie si elevano a misura che si allontanano dal ramo principale che è inclinato da una parte, sì che trovansi verticali, e conservano qualche tempo questa posizione durante la rivoluzione del cirro. Rilevammo sopra un vetro verticale, sotto ad una invetriata, i movimenti di divergenza e di discesa del picciuolo di una di queste foglie; il cammino seguìto era quasi dap-

pertutto diritto; si ebbero però due linee a zig-zag ben marcate (di cui una formava un angolo di 112°), ciò che indica che vi era circumnutazione.

I lobi ancora chiusi di una giovane foglia di *Dionæa* formavano un angolo retto col picciuolo e si elevavano leggermente. Dopo di avere fissato un filo di vetro sulla faccia superiore della nervatura mediana, rilevammo i movimenti sopra un vetro orizzontale. Ebbe luogo nella sera una circumnutazione, ed al giorno successivo la foglia si elevò, come abbiamo già detto (vedi fig. 106), descrivendo un certo numero di linee a zig-zag ad angoli acuti che presentavano quasi l'aspetto di ellissi. Questo movimento era dovuto senza alcun dubbio all'epinastia aiutata dall'apogeotropismo; imperocchè i lobi chiusi di una foglia assai giovane sopra una pianta che giaceva orizzontale, seguivano nel loro movimento quasi la stessa direzione del picciuolo, come se la pianta avesse avuto la sua posizione eretta; ma nello stesso tempo i lobi s'incurvavano lateralmente in alto, e prendevano così una posizione anormale, obliqua sul piano del picciolo fogliaceo.

Gli ipocotili e gli epicotili di alcune piante sortendo dagli involucri seminali sotto forma di arco, vi è dubbio se l'incurvatura di queste parti, che è costante, allorchè la pianta esce da terra, possa sempre essere attribuita all'epinastia; quando però queste stesse parti, in principio diritte, si curvano dipoi, come accade spesso, l'incurvatura è, senza alcun dubbio, dovuta all'epinastia. Finchè l'arco è circondato di terra compatta, è forzato di conservare la sua forma; ma quand'esso ha guadagnata la superficie, od anche prima, se è stato liberato artificialmente da ogni pressione, comincia a raddrizzarsi, ciò che certamente è un effetto dell'iponastia. Abbiamo rilevato, in altre circostanze, i movimenti della metà superiore e della metà inferiore dell'arco, e così pure del vertice; il loro cammino era più o meno a zig-zag, e mostrava quindi una circumnutazione modificata.

In un numero non piccolo di piante, specialmente fra le rampicanti, la sommità dei rami forma un uncino, di guisa che la punta si dirige verticalmente in basso. In sette generi di piante rampicanti (1), l'incurvatura, o, come l'ha denominata Sachs, la nutazione dell'estremità, è specialmente dovuta ad una esagerazione del movimento circumnutante. Cioè a dire, l'accrescimento è si forte sopra una faccia ch'esso determina l'incurvatura del fusto nella direzione opposta, e si forma così un uncino. La linea o zona longitudinale di accrescimento spostandosi allora un poco lateralmente intorno al fusto, l'uncino si dirige in direzione diversa, e ciò fino a che l'incurvatura sia completamente rovesciata; esso ritorna infine al suo punto di partenza. Ci assicurammo di questo fatto tracciando coll'inchiostro di China delle linee strette sulla superficie convessa di più cirri; questa linea diviene allora poco a poco laterale, poi si mostra sulla superficie concava e ritorna infine sulla superficie convessa. Nella *Lonicera brachypoda* la parte terminale uncinata del getto rampicante si raddrizza periodicamente, ma non si rovescia giammai; questo fatto è dovuto a ciò che l'aumento periodico di accrescimento sulla faccia concava dell'uncino non è sufficiente che per raddrizzarlo, ma non per determinare l'incurvatura sulla parte opposta. La formazione di uncini all'apice è di una certa utilità per le piante rampicanti, perchè le aiuta ad attaccarsi ad un sostegno, e più tardi ad abbracciarlo molto più strettamente di quello che non potrebbero fare senza di essa; tale disposizione toglie ancora, come noi abbiamo osservato, che sieno spostate da un vento violento. Non sappiamo però se l'utilità che acquistano in questa guisa le piante rampicanti sia sufficiente per spiegare la formazione tanto frequente degli uncini, imperocchè tale struttura non è molto rara presso le piante che non

(1) *The Movements and Habits of Climbing plants*, seconda edizione, p. 13.

sono rampicanti, e in alcune piante rampicanti (per esempio *Vitis*, *Ampelopsis*, *Cissus*, ecc.), alle quali non è di alcuna utilità.

Nei casi in cui l'estremità rimane sempre incurvata verso la stessa parte, come nei generi che abbiamo citati, la spiegazione più plausibile è che l'incurvatura sia dovuta ad un eccesso continuo di accrescimento sulla parte convessa. Wiesner (1) sostiene però che in tutti i casi l'incurvatura è dovuta alla plasticità dell'organo ed al suo peso — conclusione che è certamente erronea, da quanto abbiamo visto in molte piante rampicanti. Nondimeno ammettiamo intieramente che il peso dell'organo, così bene come il geotropismo, entrino talvolta in azione.

Ampelopsis tricuspidata. — Questa pianta arrampica coll'aiuto dei viticci aderenti, e la curvatura dell'estremità del suo fusto non sembra esserle di alcuna utilità. L'incurvatura proviene sopratutto, per quanto abbiamo potuto determinarlo, dal fatto che l'estremità è sottomessa all'epinastia ed al geotropismo; le parti inferiori più vecchie si raddrizzano continuamente in grazia all'iponastia ed all'apogeotropismo. Noi crediamo che il peso dell'estremità non sia un elemento importante, poichè sui rami orizzontali od inclinati l'uncino si estende spesso orizzontalmente od anche si dirige in alto. Di più, i rami formano con frequenza dei cirri invece che degli uncini; in questo caso l'estremità, in luogo di pendere verticalmente in basso, come lo farebbe se obbedisse alla gravità, si estende orizzontalmente od anche si dirige in alto. Un ramo, terminato da un uncino assai aperto, venne portato in una posizione fortemente inclinata verso il basso, di guisa che la sua faccia concava era rivolta in alto; ne risultò che l'estremità si curvò in principio in alto. Questo fatto era evidentemente dovuto all'epinastia piuttosto che all'apogeotropismo, poichè l'estremità, appena oltrepassata la perpendicolare, s'incurvò così rapidamente in basso, che il movimento era, senza dubbio, per lo meno aiutato dal geotropismo. In alcune poche ore l'uncino fu così convertito in un'ansa, e la sua punta si dirigeva diritta in basso. L'asse maggiore dell'ansa era dapprima orizzontale, ma divenne in seguito verticale. In questo stesso tempo, la parte basilare dell'uncino (e più tardi dell'ansa) s'incurvò debolmente in alto; quest'ultimo movimento deve attribuirsi necessariamente all'apogeotropismo, agendo in opposizione con l'iponastia. L'ansa fu così rovesciata, di guisa che la sua parte basilare doveva subire l'azione dell'iponastia (se essa agisce) e dell'apogeotropismo; essa s'incurvò allora così fortemente in alto, in 4 ore soltanto, che non si poteva quasi dubitare che le due forze non avessero agito assieme. Nello stesso tempo l'ansa si aperse e si convertì di nuovo in uncino, ciò che sembrava risultare dal movimento geotropico dell'estremità che agiva in opposizione coll'epinastia. Nel caso dell'*Ampelopsis hederacea*, il peso ha, per quanto possiamo giudicare, una parte più importante nella formazione dell'uncino.

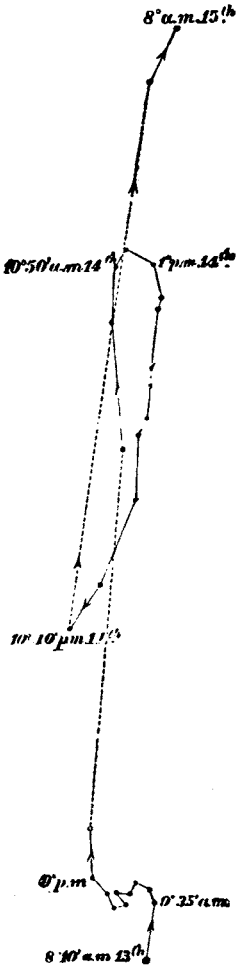
Per determinare se i rami di *A. tricuspidata*, raddrizzandosi sotto l'azione combinata dell'epinastia e dell'apogeotropismo, si muovono seguendo una semplice linea retta o se essi circumnutano, fissammo dei fili di vetro sui vertici di quattro apici curvati ad uncino, lasciati nella loro posizione naturale, e rilevammo sopra un vetro verticale i movimenti di questi fili. I quattro diagrammi nei loro tratti generali si rassomigliavano e non ne daremo che uno (vedi fig. 122). Il filo in principio si elevò, ciò che mostra che l'uncino si raddrizzava; e descrisse allora delle linee a zig-zag camminando un poco verso la sinistra dalle 9,25 del mattino alle 9 di sera. A partire da quest'ora, del giorno 13, fino alle 10.40 del mattino del 14 l'uncino continuò a raddrizzarsi, poscia descrisse dei piccoli zig-zag, sopra una

(1) *Sitzb. des K. Akad. der Wissensch.*, Vienna, gennaio 1880, p. 16.

Fig. 121.

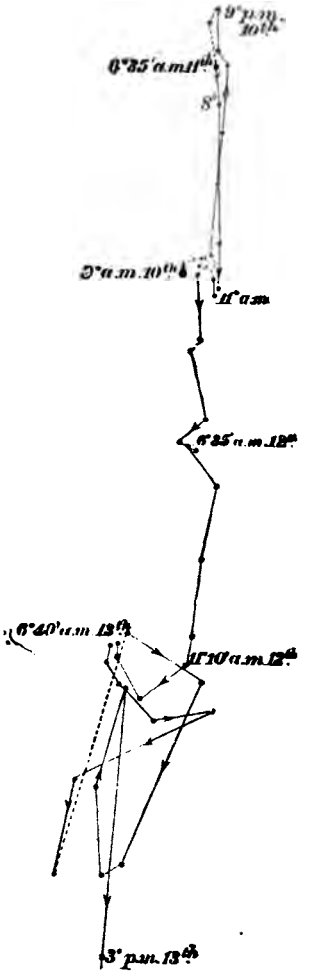
Pinus pinaster: Movimento epinastico inferiore di una giovane foglia appartenente ad una giovane pianta in vaso, tracciato sopra un vetro verticale dalle 6,45 del mattino del 2 giugno alle 10,40 di sera del 6 giugno.

Fig. 122.



Ampelopsis tricuspidata: Movimento iponastico dell'estremità uncinata di un ramo principale, rilevato dalle 8,10 del mattino del 13 luglio, alle 8, pure del mattino, del giorno 15. Estremità del ramo a 5 1/2 poll. dal vetro verticale. Riduzione al terzo. Temp. 17°5 a 19° C.

Fig. 123.



Smithia Pfundii: Movimento iponastico dell'estremità uncinata di un ramo, durante il suo raddrizzamento, rilevato dalle 9 del mattino del 10 luglio alle 3 del giorno 13. Estremità a 9 1/2 poll. dal vetro verticale. Diagramma ridotto ad un quinto dell'originale. Temperatura 17°5 a 19° C.

breve estensione verso la destra. Ma da 1 ora dopo mezzodì alle 10,40 di sera del 14 il movimento fu invertito, ed il ramo si rese più uncinato. Durante la notte del 15 dalle 10,40 della sera alle 8,15 del mattino l'uncino si aperse o si raddrizzò di nuovo. Il filo di vetro era allora sì fortemente inclinato che non potemmo più tracciare con certezza i suoi movimenti. Lo stesso giorno ad 1,30 di sera il vertice del primo uncino era divenuto completamente dritto e verticale. Non potevamo

dubitare per conseguenza che il raddrizzamento del ramo curvo in questa pianta non si effettuasse per causa della circumnutazione della parte curvata, cioè a dire per un alternativo accrescimento sulla faccia superiore e sulla inferiore, ed inoltre per un leggero movimento laterale.

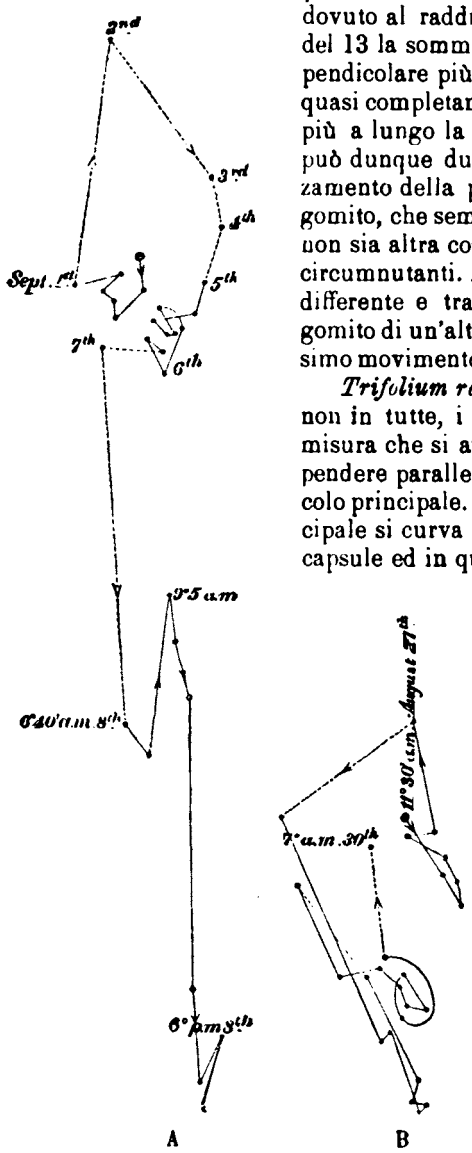
Potemmo tracciare il movimento di un altro ramo in via di raddrizzamento per un tempo più lungo (ciò che era dovuto al suo accrescimento più debole ed al fatto che era stato posto più lontano dal vetro verticale), cioè a dire dal primo mattino del 13 luglio fino alla tarda sera del 16. Per tutta la giornata del 14 l'uncino si raddrizzò assai poco, ma descrisse delle linee a zig-zag e circumnutò pienamente intorno al medesimo punto. Il giorno 16 era quasi completamente raddrizzato ed il diagramma non potè essere fedele più a lungo; era però chiaro che vi aveva una somma considerevole di movimento tanto verticale che laterale, imperocchè il vertice mentre continuava a raddrizzarsi si faceva a momenti e per poco tempo più fortemente curvo, laonde il filo discese due volte nella giornata.

Smithia Pfundii. — I rami terminali rigidi di questa Leguminosa acquatica dell'Africa si proiettano perpendicolarmente al fusto che li porta; tale fatto però non si produce che allorquando l'accrescimento è vigoroso. Se la pianta è stata esposta al freddo, le estremità dei rami si raddrizzano, come lo fanno alla fine del periodo di accrescimento. La direzione della parte curvata ad angolo retto è indipendente dalla sorgente di luce. Ma se si conservano le piante nell'oscurità, molti rami diventano, in due o tre giorni, eretti, o quasi, per curvarsi di nuovo ad angolo retto qualora vengano riportati alla luce; epperciò pensiamo che questa incurvatura sia dovuta all'afeliotropismo, la quale forza sembra agire fino ad un certo punto in un senso contrario all'apogeotropismo. D'altra parte, se noi osserviamo ciò che accade allorchè si piega in basso un ramo, in modo che il rettangolo sia rivolto in alto, si è condotti a pensare che la curvatura sia un effetto dell'epinastia. A misura che la parte curvata a rettangolo di un ramo diritto avanza in età, la sua faccia inferiore si raddrizza, ciò che è un effetto dell'iponastia. Quelli che hanno letto il recente lavoro di Sachs sulle posizioni verticale ed inclinata delle diverse parti dei vegetali (1), vi riconosceranno quale difficoltà presenti questo soggetto, e non si sorprenderanno di vedere, in questo caso ed in altri, che ci esprimiamo con dubbio.

Una pianta alta 20 poll. fu raccomandata ad un bastone sotto alla sua sommità incurvata, che formava col fusto un angolo un po' minore di 90°. Il ramo si dirigeva in senso opposto all'osservatore, ed un filo di vetro, orientato verso il vetro verticale dove era rilevato il diagramma, fu fissato sulla faccia convessa della parte curvata. Perciò le linee *discendenti* della figura rappresentano il movimento di raddrizzamento della parte incurvata, a misura che questa avanzava in età. Il diagramma (fig. 123) venne cominciato alle 9 del mattino del 10 luglio. Il filo non ebbe in principio che un debole movimento a zig-zag, ma alle 2 della sera cominciò ad elevarsi e continuò fino alle 9, ciò che prova che la parte terminale si era curvata più fortemente verso il basso. Dopo le 9 del giorno 10 cominciò un movimento tutto opposto, e la parte curvata cominciò a raddrizzarsi fino alle 11,10 del mattino del 12; tale movimento fu però interrotto da alcune linee a zig-zag, e da leggere oscillazioni, che mostravano che esso avveniva in diverse direzioni. Dopo le 11,10 del mattino del 12 questa parte del fusto, ancora considerevolmente incurvata, circumnutò visibilmente fino alle 3 della sera del giorno 13; per tutto questo tempo

(1) *Ueber Orthotrope und Plagiotrope Pflanzentheile* (*Arbeiten des Bot. Inst.*, *in Würzburg*, Heft II, 1879, p. 226).

Fig. 124.



Trifolium repens: Movimenti di circumnutazione e di epinastia del peduncolo di un fiore, rilevati sopra un vetro verticale; in A, dalle 11,30 del 27 agosto alle 7 di mattina del 30; in B, dalle 7 di mattina del 30 ad oltre le 6 di sera dell'8 settemb.

predominava il movimento del filo in basso, ciò che era dovuto al raddrizzamento continuo del fusto. Alla sera del 13 la sommità che formava in principio colla perpendicolare più che un angolo retto, si era raddrizzata quasi completamente, tanto che non potemmo continuare più a lungo la traccia sopra il vetro verticale. Non si può dunque dubitare che, in questa pianta, il raddrizzamento della porzione del fusto fortemente curvata a gomito, che sembrava dovuta intieramente all'iponastia, non sia altra cosa che una modificazione dei movimenti circumnutanti. Aggiungeremo che un filo fissato in modo differente e trasversalmente sulla sommità curvata a gomito di un'altra pianta, ci permise di osservare il medesimo movimento generale.

Trifolium repens. — In molte specie di trifolio, ma non in tutte, i peduncoli fiorali si curvano in basso a misura che si avvizziscono i singoli piccoli fiori fino a pendere parallelamente alla parte superiore del peduncolo principale. Nel *T. subterraneum* il peduncolo principale si curva in basso allo scopo di sotterrare le sue capsule ed in questa specie i peduncoli dei fiori separati si curvano in alto, così che occupano la medesima posizione, relativamente alla parte superiore del peduncolo principale, che nel *Tr. repens*. Questo solo fatto sarebbe sufficiente per rendere probabile l'ipotesi, che i peduncoli secondari di *Tr. repens* non subiscano l'azione del geotropismo. Tuttavia per maggior sicurezza fissammo a dei bastoni diversi peduncoli, gli uni rovesciati, gli altri orizzontali; i fiori però si volsero tutti fortemente in alto sotto l'influenza dell'eliotropismo. Dovemmo dunque riparare dalla luce molti altri peduncoli, fissati come i primi, e quantunque alcuni si fossero marciti, molti dei loro peduncoli secondari abbandonarono lentamente la loro posizione rovesciata od orizzontale per venirsi a collocare, come al solito, parallelamente alla parte superiore del peduncolo principale. Questi fatti mostrano che il movimento è indipendente dal geotropismo o dall'afeliotropismo. Esso dunque deve essere attribuito all'epinastia, che però è inceppata nella sua azione dall'influenza dell'eliotropismo, almeno fino tanto che i fiori sono ancora giovani. La maggior parte dei fiori che abbiamo esaminati non furono fecondati, giacchè erano protetti contro la visita delle api; così appassirono lentamente ed i movimenti dei peduncoli fiorali furono perciò notevolmente rallentati.

Allo scopo di determinare la natura del movimento del peduncolo fiorale durante la sua incurvatura in basso, fissammo un filo di vetro trasversalmente sulla sommità del calice di un fiore non ancora sbocciato e perfettamente diritto; questo fiore era quasi al centro dell'infiorescenza. Il peduncolo fiorale principale fu fissato ad un bastone immediatamente sotto al capitato. Per poter vedere i segni sul filo di vetro, dovemmo tagliare alcuni pochi fiori alla parte sottostante all'infiorescenza. Il fiore osservato si allontanò in principio un poco dalla sua posizione eretta, in modo da occupare il piccolo spazio libero lasciato dai fiori contigui rimossi. Tale movimento domandò due giorni; cominciammo allora un nuovo diagramma (fig. 124). Noi vediamo in A il movimento di circumnutazione effettuato dalle 11,30 del mattino del 26 agosto alle 7 del mattino del giorno 30. Spostammo allora un poco il vaso verso la destra e continuammo la traccia (B) senza interruzione dalle 7 del mattino del 30 alle 6 di sera dell'8 settembre. È mestieri osservare che quasi ogni giorno non rilevammo che un solo punto alla stessa ora della mattina. Tutte le volte che il fiore era osservato con più cura, come lo facemmo il 30 agosto ed il 5 e 6 settembre, lo si vedeva circumnutare sopra una piccola estensione. Finalmente il giorno 7 settembre cominciò a curvarsi in basso, e continuò il giorno 8 fino dopo le 6 pom. e ancora la mattina del 9, passato il quale tempo non fu più possibile di rilevare i movimenti sul vetro verticale. Esso fu osservato con cura per tutta la giornata dell'8; alle 10,30 di sera era disceso fino ad un punto più basso dei due terzi della figura che diamo qui; ma difettandoci il posto, fummo obbligati di copiare il diagramma in B soltanto fino a poco più delle 6 pom. Al mattino del 9 il fiore era avvizzito; il peduncolo fiorale formava allora un angolo di 57° sotto all'orizzonte. Se il fiore fosse stato fecondato, si sarebbe appassito molto più presto, ed il movimento sarebbe stato assai più forte. Noi vediamo dunque che il peduncolo fiorale oscillava perpendicolarmente, cioè a dire circumnutava per tutta la durata del suo cammino epinastico verso il basso.

I peduncoli dei singoli fiori fecondati ed appassiti di *Oxalis carnosa* si curvano pure in basso sotto l'azione dell'epinastia, come lo dimostreremo in uno dei capitoli seguenti. Il loro cammino in basso descrive delle forti linee a zig-zag, ciò che indica che vi è circumnutazione.

Il numero dei casi, nei quali diversi organi a scopi svariatissimi si muovono sotto l'influenza dell'epinastia o dell'iponastia (spesso in connessione con altre forze) sembra inesauribile; dai diversi esempi che abbiamo dati, possiamo con sicurezza concludere, che questi movimenti sono dovuti ad una modificazione della circumnutazione.

CAPITOLO VI.

MODIFICAZIONI DELLA CIRCUMNUTAZIONE. — MOVIMENTI DI SONNO O NICTITROPICI; LORO USO — SONNO DEI COTILEDONI.

Considerazioni preliminari sul sonno delle foglie. — Presenza del pulvino. — La diminuzione della radiazione come causa finale dei movimenti nictitropici. — Modo di esperimentare sulle foglie di *Oxalis*, *Arachis*, *Cassia*, *Melilotus*, *Lotus* e *Marsilea* e sui cotiledoni di *Mimosa*. — Osservazioni finali sulla radiazione delle foglie. — Delle deboli differenze nelle condizioni che determinano delle differenze considerevoli nel risultato. — Descrizione della posizione e dei movimenti nictitropici dei cotiledoni in diverse piante. — Lista delle specie. — Osservazioni finali. — Indipendenza dei movimenti nictitropici nelle foglie e nei cotiledoni della medesima specie. — Ragioni che conducono a pensare che questo movimento sia stato acquistato ad uno scopo speciale.

Ciò che si chiama sonno delle foglie costituisce un fenomeno così cospicuo che è stato osservato dai tempi di Plinio (1); esso è stato il soggetto di molte memorie dopochè Linneo ha pubblicato il suo famoso *Somnus plantarum*. Molti fiori si chiudono alla notte, e anco di essi si dice che dormono; non abbiamo però qui ad occuparci di questi ultimi movimenti, che quantunque si effettuino con lo stesso meccanismo che quelli delle foglie (ineguaglianza dell'accrescimento sulle faccie opposte come l'ha provato Pfeffer), ne differiscono tuttavia essenzialmente in ciò che sono posti sopratutto sotto l'influenza dei cambiamenti di temperatura, e non di luce. Essi si distinguono ancora, crediamo, in ciò che si producono, per quanto si può giudicare, ad uno scopo diverso. Nessuno (2) suppone che vi abbia qualche analogia reale fra il sonno degli animali e quello delle piante, sia delle foglie o dei fiori; sembra quindi conveniente di dare un nome distinto ai movimenti di sonno delle piante. Essi vennero compresi fra i movimenti « periodici » insieme colle leggere alternative di elevazione e di discesa che si producono quotidianamente nelle foglie, e che abbiamo descritte nel quarto capitolo, ciò che rende ancora più utile la creazione di un nome nuovo per designare i movimenti di sonno. I termini nictitropismo e nictitropico (cioè a dire cambiamento notturno di posizione) possono applicarsi contemporaneamente alle foglie ed ai fiori, e noi ce ne serviremo all'occasione; sarebbe però meglio di non applicarli che per le foglie. Questi ultimi organi in alcune poche piante si elevano o si abbassano, allorchè ricevono dal sole una luce intensa; questo movimento ha qualche volta

(1) Pfeffer ha dato uno schizzo chiaro ed interessante della storia di questo soggetto nelle *Periodischen Bewegungen der Blattorgane*, 1875, p. 163.

(2) Bisogna però eccettuare Ch. Royer; vedi *Ann. Sc. Nat.*, 5ª serie, Bot., vol. IX, 1868, pag. 378.

ricevuto il nome di sonno diurno. Crediamo però ch'esso differisca essenzialmente, per la sua natura, dal movimento notturno; ne parleremo brevemente in uno dei capitoli seguenti.

Il sonno o nictitropismo delle foglie forma un vasto soggetto di studio, e riteniamo che il piano più conveniente da adottare sia quello di dare dapprima una breve descrizione delle posizioni che le foglie occupano durante la notte, e dei vantaggi che evidentemente ne scaturiscono. Analizzeremo in seguito con dettaglio i casi più notevoli riguardo ai cotiledoni in questo capitolo, e riguardo alle foglie nel capitolo seguente. Dimostreremo infine che tali movimenti, benchè in certo grado ereditari, provengono dalla circumnutazione considerevolmente modificata e regolarizzata dall'alternarsi del giorno e della notte, o della luce e dell'oscurità.

Quando le foglie prendono la loro posizione di sonno, si dirigono in alto od in basso, oppure, se si tratta di foglioline di una foglia composta, si muovono in avanti, cioè a dire nella direzione dell'estremità della foglia, od indietro, cioè a dire verso la sua base; esse possono ancora girare sul loro asse senza dirigersi in alto o in basso. In quasi tutti i casi però, il piano del lembo è posto in modo da trovarsi quasi, o tutt'affatto, verticale durante la notte. L'estremità, o la base, od anche uno dei bordi laterali, possono dunque dirigersi verso lo zenit. Di più, la superficie superiore di ogni foglia, e più specialmente di ogni fogliolina, è spesso portata in intimo contatto con quella della foglia o della fogliolina opposta, ciò che è raggiunto con movimenti singolari e complessi. Questo fatto porta a pensare, che la faccia superiore esiga maggior protezione della faccia inferiore. Per es., la fogliolina terminale di *Trifolium*, dopo essersi diretta in alto nel corso della notte fino a trovarsi verticale, continua spesso ad inclinarsi fino a che la sua superficie superiore sia diretta in basso, mentrechè la sua faccia inferiore guarda direttamente il cielo. Si forma così un tetto a volta al disopra delle due foglioline laterali, le di cui faccie superiori sono intimamente strette l'una contro l'altra. Ci troviamo qui di fronte ad uno dei casi insoliti, nel quale una delle foglioline non è verticale o quasi verticale durante la notte.

Se si considera che le foglie, prendendo la loro posizione nictitropica, descrivono spesso un arco di 90°; che il movimento si fa assai rapido nel corso della sera; ch'esso in qualche, caso, come lo vedremo nel capitolo seguente, acquista una complicazione straordinaria; che in alcune pianticelle, abbastanza vecchie per portare delle vere foglie, i cotiledoni si dirigono verticalmente in alto durante la notte, mentre che, nello stesso tempo, le foglioline si muovono verticalmente in basso; e che, in uno stesso genere, le foglioline ed i cotiledoni di una specie si muovono in alto, mentre quelli di un'altra si dirigono in basso: tenendo conto di questi fatti e di molti altri ancora, torna difficile il porre in dubbio che le piante traggano un notevole vantaggio da questo potere così maraviglioso di movimento.

I movimenti nictitropici delle foglie e dei cotiledoni si effettuano in due ma-

niere (1): sia col mezzo dei cuscinetti che si fanno, come lo ha dimostrato Pfeffer, più turgescenti alternativamente sulle loro faccie opposte; sia per l'aumento di crescenza sopra una faccia del picciuolo o della nervatura mediana, e poi sulla faccia opposta, come lo ha provato per la prima volta il Batalin (2). De Vries (3) avendo però dimostrato che, in quest'ultimo caso, l'aumentato accrescimento è preceduto da un aumento nella turgescenza delle cellule, la differenza fra i due modi di movimento si trova così sensibilmente diminuita: essa consiste principalmente in ciò che la turgescenza delle cellule di un pulvino intieramente sviluppato non è seguita da accrescimento. Se si confrontano insieme i movimenti delle foglie e dei cotiledoni muniti di un pulvino e sforniti di esso, si vede che sono assolutamente similari e che sembrano effettuarsi ad uno stesso scopo. Non ci sembra dunque utile, per l'argomento che trattiamo, di separare queste due sorta di casi per farne due classi differenti. Vi è però una distinzione importante da stabilire fra di loro; e si è che i movimenti dovuti ad un accrescimento alternativo delle faccie opposte non si producono che nelle giovani foglie e durante il loro accrescimento, mentre che quelli che sono effettuati col mezzo di un pulvino persistono assai lungamente. Abbiamo già visto degli esempi molto netti di questi ultimi fatti nei cotiledoni, e la stessa cosa si è delle foglie, come risulta dalle osservazioni di Pfeffer e dalle nostre. La lunga persistenza dei movimenti manifestati con l'aiuto di un pulvino dinota ancora, in seguito a tutte le prove che abbiamo già date, l'importanza funzionale di tale motilità per la pianta. Esiste anche un'altra differenza fra le due categorie di movimenti, e si è che mai, o raramente, trovasi torsione nelle foglie, allorchè manca il pulvino (4); ma tale osservazione si applica soltanto ai movimenti nictitropici e periodici, come risulta da alcuni casi riferiti da Frank (5).

Il fatto, che le foglie di molte piante si collocano di notte in posizioni assai differenti da quelle che occupano nella giornata, indica chiaramente, ci sembra, che lo scopo di questo movimento è la protezione delle pagine superiori delle foglie contro gli effetti della radiazione notturna; infatti tutte queste piante hanno ciò di comune che le faccie superiori delle loro foglie non guardano lo zenit, e che spesso vengono in contatto intimo colle foglie o le foglioline opposte. Quanto asseriamo è tanto più probabile, in quanto che la superficie superiore, più dell'inferiore, ha bisogno di essere protetta, differendo le due faccie molto fra di loro sia per funzione che per struttura. Tutti i giardinieri sanno che le piante soffrono sotto l'irradiazione; si è questa e non il vento freddo che i contadini del Sud

(1) Questa distinzione fu stabilita in principio (secondo PFEFFER, *Die Periodischen Bewegungen der Blattorgane*, 1875, p. 161) da DASSEN nel 1837.
(2) *Flora*, 1873, p. 433.
(3) *Bot. Zeitung*, 1879, 19 dicembre, p. 830.
(4) PFEFFER, *Die Periodischen Bewegungen der Blattorgane*, 1875, p. 159.
(5) *Die Nat. Wagerechte Richtung von Pflanzentheilen*, 1870, p. 52.

dell'Europa paventano per i loro oliveti (1). Si proteggono spesso le pianticelle contro la radiazione con uno strato assai sottile di paglia, e le spalliere di alberi fruttiferi con alcuni rami di abete, oppure con una rete sospesa sopra di esse. Esiste una qualità di ribes (2), i cui fiori, che si sviluppano prima delle foglie, non essendo garantiti da queste contro l'irradiazione, spesso non giungono a portare dei frutti. Un abile osservatore (3) ha notato che una varietà di ciliegia, nella quale i petali sono fortemente accartocciati in dietro, dopo un freddo alquanto intenso, ha tutti i suoi stigmi uccisi, mentrechè nel medesimo tempo un'altra varietà a petali diritti conserva gli stigmi affatto illesi.

Quest'idea, che il sonno delle foglie è una protezione contro l'irradiazione, sarebbe senza dubbio venuta in mente a Linneo, se il principio dell'irradiazione fosse stato allora conosciuto, poichè in un punto del suo *Somnus plantarum* esprime la supposizione, che la posizione notturna delle foglie protegge i giovani fusti e le gemme, e spesso le giovani infiorescenze, contro il freddo del vento. Noi siamo ben lontani dal mettere in dubbio che questo sia un vantaggio di più acquistato dalla pianta, ed abbiamo osservato in molti vegetali, *Desmodium gyrans* per es., che mentre il lembo della foglia cade verticalmente alla notte, il picciuolo si eleva, di guisa che il lembo, per prendere la sua posizione verticale, è obbligato di percorrere un angolo molto maggiore, col risultato però che tutte le foglie della stessa pianta si chiudono le une contro le altre come per proteggersi a vicenda.

Non credevamo in principio che l'irradiazione potesse influenzare in modo alquanto importante organi così minuti come lo sono molti cotiledoni e molte foglie, e sopratutto agire in guisa sì differente sulle loro faccie superiore ed inferiore. Imperocchè, sebbene la temperatura della faccia superiore debba senza dubbio cadere in causa dell'esposizione all'aria, pensammo però che per conducibilità dovesse ritornare alla temperatura dell'aria ambiente così rapidamente che non vi fosse differenza fra la foglia orizzontalmente distesa e radiante verso il cielo, e la foglia verticale e radiante principalmente in una direzione laterale verso altre piante o gli oggetti vicini. Procurammo quindi di chiarire alcuni punti impedendo alle foglie di molte piante di dormire ed esponendo tanto esse che le altre foglie della medesima pianta che avevano già preso la loro posizione notturna verticale, ad un cielo sereno, mentre la temperatura era discesa sotto il punto del gelo. Le nostre esperienze ci mostrarono che le foglie così obbligate di rimanere orizzontali durante la notte soffrono molto più il gelo di quelle che possono prendere la posizione verticale normale. Si può per altro obbiettare, che le conclusioni dedotte

(1) MARTINS, in *Bull. Soc. Bot. de Fr.*, tom. XIX, 1872; WELLS, nel suo famoso *Essai sur la rosée*, fa osservare che un termometro esposto in piena aria si eleva appena che una nube, anche debolissima, alta nel cielo, passa allo zenit.

(2) *London's Gardener's Magazine*, vol. IV, 1828, p. 112.

(3) RIVERS, nel suo *Gardener's Chron.*, 1866, p. 732.

da queste esperienze non sono applicabili alle piante dormenti che provengono da regioni dove il gelo non è conosciuto. Ma in tutti i paesi e in tutte le stagioni le foglie sono necessariamente esposte a raffreddamenti determinati dalla radiazione notturna, la quale può, in certa misura, essere loro nociva, ed alla quale sfuggono prendendo una posizione verticale.

Nelle nostre esperienze tenemmo le foglie lungi dalla loro posizione nictitropica, fermandole con gli aghi più fini degli entomologi (essi non poterono danneggiarle molto) sopra dischetti di sughero portati da piccoli bastoni. In alcuni casi però esse furono trattenute con dei piccoli pezzi di cartone; altre volte i loro picciuoli furono impigliati attraverso a delle squarciature praticate in un pezzo di sovero. Le foglie dapprima vennero fissate sul sovero; questo sostegno essendo cattivo conduttore, e le foglie non rimanendo lungo tempo esposte all'aria, pensammo che il sovero, che era stato tenuto nella casa, comunicherebbe loro una leggera quantità di calore, per cui se queste foglie soffrissero maggiormente il freddo delle libere e verticali, l'esperienza non diveniva che più concludente, e doveva provare maggiormente lo svantaggio di questa posizione orizzontale. Ma trovammo che quando si poteva, occasionalmente, constatare una leggera differenza nei risultati, le foglie attaccate fittamente contro il sovero avevano sempre sofferto di più di quelle che, fissate con uno spillo assai lungo e sottile, si trovavano 1/2 fino a 3/4 di pollice al disopra del sovero. Questa differenza nel risultato, che è assai notevole perchè mostra come una leggera dissimiglianza nelle condizioni di esperienza influisce sopra l'intensità dei fenomeni osservati, può, noi crediamo, attribuirsi al fatto che l'aria ambiente più calda non poteva circolare liberamente al disotto delle foglie strettamente infilzate, e non poteva così riscaldarle che in grado leggero. Questa conclusione è ancora confermata da un certo numero di fatti analoghi che citeremo più innanzi.

Ora vogliamo dare una descrizione dettagliata delle esperienze che abbiamo istituite. Esse furono malagevoli, poichè non potevamo sapere anticipatamente, quale grado di freddo potevano sopportare le foglie di ogni specie. Molte piante ebbero tutte le loro foglie morte, tanto quelle che furono collocate orizzontalmente, come quelle cui fu concesso di dormire, ossia di elevarsi o di abbassarsi verticalmente. Altre non ebbero modificata una sola foglia, e fu necessario di esporle alla radiazione, sia ad una temperatura più bassa, sia per un più lungo periodo di tempo.

Oxalis acetosella. — Un vaso assai grande, coperto di 300 a 400 foglie, era rimasto tutto l'inverno nella serra. Sette foglie furono fissate con degli spilli, in guisa da rimanere aperte orizzontalmente, ed al 16 marzo vennero esposte per 2 ore in piena aria; la temperatura delle erbe vicine era a questo momento di — 4° C. Al mattino successivo queste sette foglie si trovarono completamente uccise, e fu lo stesso per molte di quelle che, rimaste libere, avevano preso la loro posizione di sonno, ed un centinaio circa di esse si raccolsero morte, annerite o danneggiate.

Alcune mostrarono, non estendendosi completamente il giorno successivo, di avere alquanto sofferto; ma esse ritornarono in seguito al loro stato normale. Siccome però tutte le foglie aperte al momento dell'esperienza erano state uccise, e d'altra parte un terzo od un quarto soltanto delle altre era stato ucciso o danneggiato, si ha qui una piccola prova per ritenere che il maggior danno era per quelle che non poterono prendere la posizione verticale.

La notte seguente (del 17) era chiara ed egualmente fredda (— 3° o — 4° C.); il vaso fu di nuovo esposto, ma questa volta, per 30 m. soltanto. Erano state fissate otto foglie, ed al mattino due di esse soltanto erano morte, mentre che non potevasi constatare alcun danno sopra alcuna delle altre.

Al 23 il vase fu esposto per 1 ora 30 m. ad una temperatura di — 2° C. soltanto, e nessuna foglia ebbe a soffrire; quelle mantenute aperte erano però tutte fissate a 1/2 — 3/4 di poll. al disopra del sovero.

Li 24 il vaso fu di nuovo collocato per terra ed esposto in piena aria per 35 a 40 m. In causa di un errore il termometro era stato posto sopra un vicino quadrante solare alto 3 piedi, in luogo di essere collocato sull'erba. Esso indicava — 3° 3 a 3° 8 C., ma osservato un'ora dopo era disceso a — 5° 5 C., così che il vaso si trovava probabilmente esposto ad una temperatura un poco più bassa che nelle esperienze precedenti. Otto foglie erano state fissate, le une contro i turaccioli, le altre un poco al disopra, ed al mattino successivo, cinque di esse (cioè a dire 63 °/₀), si trovarono morte. Dopo di aver contato una porzione della totalità delle foglie, potemmo giudicare che 250 circa avevano potuto prendere la loro posizione notturna e sopra questo numero una ventina erano state uccise (cioè a dire 8 °/₀ soltanto) ed una trentina danneggiate.

L'esame di questi differenti casi non permette di dubitare, che le foglie di questa Oxalis, allorchè prendono la loro posizione notturna normale, non abbiano avuto da soffrire, per il freddo, molto meno di quelle (in numero di 23), nelle quali la faccia superiore guardava lo zenit.

Oxalis carnosa. — Una pianta di questa specie del Chilì fu esposta in piena aria per 30 minuti, mentre il termometro, posto sull'erba, segnava — 2° C. Alcune foglie erano tenute aperte con spilli, ma nessuna foglia dell'intera pianta cespitosa ebbe menomamente a soffrire.

Li 16 marzo un'altra pianta fu pure esposta per 30 minuti ad una temperatura un poco più bassa, ossia a — 3° o — 4° sull'erba. Erano state fissate sei foglie, ed al mattino successivo, cinque si trovarono fortemente abbrunite. La pianta era grande, ma nessuna delle foglie lasciate libere, che avevano preso la loro posizione notturna, cambiò di colore ad eccezione di quattro ancora assai giovani. Ma tre altre foglie, quantunque non fossero state abbrunate, si trovarono un poco appassite e tennero per tutta la giornata seguente la loro posizione notturna. Era ben certo, in questo caso, che le foglie esposte orizzontalmente allo zenit, ebbero a soffrire molto di più. Questo stesso vaso venne esposto più tardi per 35 a 40 m. in una notte poco più fredda e tutte le foglie furono bruciate, tanto quelle fissate cogli spilli, che quelle lasciate libere. Bisogna aggiungere che due vasi d'*O. corniculata* (var. *atro-purpurea*) furono esposti per 2 e 3 ore in piena aria, ad una temperatura di — 2°; nessuna foglia, sia fra quelle che erano fissate, sia fra quelle che erano lasciate libere, ebbe a soffrire.

Arachis hypogæa. — Alcune piante in vaso furono esposte di notte in piena aria per 30 minuti ad una temperatura di — 2° C.: due notti dopo, esse furono di nuovo sottomesse alla stessa temperatura, ma questa volta per 1 ora e 30 m. In questi due casi, nessuna foglia, sia fissata, sia libera, ebbe a soffrire, ciò che ci sorprese molto, avuto riguardo al luogo d'origine di questa pianta (Africa tropicale).

Furono di nuovo esposte in piena aria due piante il giorno 16 marzo per 30 m.; la temperatura era allora un poco più bassa giacchè variava fra — 3° e — 4° C., e le quattro foglie fissate furono tutte annerite e bruciate. Queste due piante portavano 22 altre foglie libere (senza contare quelle giovanissime ancora in bottone); due di esse soltanto furono uccise e tre un poco danneggiate, ossia il 23 °/₀ ebbe a soffrire in modo diverso, mentre che tutte e quattro le foglie mantenute aperte con spilli erano state completamente uccise.

In un'altra notte si esposero due vasi con molte piante per 35 o 40 minuti in piena aria a cielo sereno e ad una temperatura forse in complesso un poco più bassa, poichè un termometro, posto sopra un quadrante solare alto tre piedi, indicava — 3°3 a — 3°8 C. In uno dei vasi erano state fissate con spille tre foglie e tutte furono fortemente danneggiate; delle 44 foglie libere, 26 ebbero a soffrire, ossia 59 °/₀. Nel secondo vaso erano state mantenute aperte 3 foglie soltanto; esse furono tutte bruciate; quattro altre erano state munite di piccole fascie di carta gommata incollate per traverso, che impedivano loro di prendere la posizione notturna; tutte quattro morirono; delle 24 foglie libere, 10 vennero uccise, 2 fortemente danneggiate e 12 rimasero illese, cioè a dire 50 °/₀ delle foglie lasciate libere furono uccise o fortemente danneggiate. Prendendo questi due vasi assieme, possiamo vedere che un poco più della metà delle foglie libere, che avevano preso la loro posizione di sonno, furono bruciate o danneggiate, mentre le dieci mantenute aperte, e messe nell'impossibilità di dormire, tutte o perirono o soffersero fortemente.

Cassia floribunda. — Fu esposto di notte a cielo sereno un ceppo per 40 minuti, mentre la temperatura sull'erba ambiente era di — 2° C., nessuna foglia sofferse (1). Fu di nuovo esposto un'altra notte per 1 ora ad una temperatura di — 4°; questa volta tutte le foglie di questo gran piede, sia fissate che libere, furono bruciate, annerite e disseccate, ad eccezione di quelle che si trovavano sopra un piccolo ramo basso, un poco protetto dalle foglie del ramo superiore. Un altro piede ben sviluppato fu esposto in seguito, ma per 30 m. (la temperatura sull'erba era esattamente la stessa, ossia — 4° C.), quattro di queste grandi foglie composte erano fissate e mantenute orizzontali. Al mattino successivo in queste quattro foglie ogni fogliolina era morta, e le loro faccie superiori ed inferiori erano entrambe completamente annerite. Delle numerose foglie libere, sette soltanto furono annerite, e di esse una sola (che era molto più giovane e più delicata di tutte quelle fissate) era annerita sulle sue due faccie. Il contrasto da questo punto di vista era reso evidente da una foglia libera, posta fra due altre fissate; queste ultime infatti avevano la faccia delle loro foglioline nera come l'inchiostro, mentre che la foglia libera posta fra di esse, benchè fortemente danneggiata, conservava ancora una colorazione distintamente verde sulla faccia inferiore delle sue foglioline. Questa pianta mostra in modo evidente i danni profondi che soffrono le foglie che sono impedite di prendere alla notte la loro posizione verticale, poichè se tutte ne fossero state impedite, ogni foglia del ceppo sarebbe stata certamente uccisa da questa esposizione di 30 minuti. Le foglie discendendo alla sera per prendere la loro posizione notturna verticale, si torcono, in guisa che la loro faccia superiore è rivolta verso l'interno, ed è per conseguenza meglio protetta della faccia inferiore che guarda al di fuori. Nondimeno, quando si poteva trovare una differenza fra di loro, era sempre la faccia superiore quella che mostravasi fortemente annerita dell'altra;

(1) *Cassia lævigata* fu esposta in piena aria per 35 m., e *C. calliantha* (specie della Guinea) per 60 m.; la temperatura sull'erba era di — 2° C.; nessuna di queste piante ebbe a soffrire. Ma allorchè *C. lævigata* fu esposta per 1 ora, ad una temperatura di — 3° e — 4° C., tutte le foglie furono uccise.

ma noi non sappiamo se questo fenomeno era dovuto ad una maggiore delicatezza delle cellule della faccia superiore, o piuttosto alla loro più grande ricchezza di clorofilla.

Melilotus officinalis. — Un gran vase, contenente numerose piante, che aveva passato l'inverno nella serra, fu esposto di notte a cielo sereno per 5 ore ad un freddo leggero. Si tennero aperte con spilli quattro foglie, le quali morirono alcuni giorni dopo, ma molte fra le foglie libere ebbero la medesima sorte. Da questa esperienza dunque non potevamo nulla concludere, benchè fosse manifesto che le foglie fissate avevano maggiormente sofferto. Un altro gran vaso con numerose piante fu in seguito esposto per 1 ora; la temperatura sull'erba era un poco più bassa cioè — 3° o — 4° C. Erano state fissate dieci foglie, ed il risultato fu maraviglioso, poichè al mattino successivo tutte si trovarono fortemente danneggiate o bruciate, mentre nessuna delle molte foglie lasciate libere sulle numerose piante venne lesa, fatta un'eccezione dubbiosa per due o tre foglie assai giovani.

Melilotus Italica. — Si fissarono orizzontalmente cogli spilli sei foglie, tre aventi la loro faccia superiore e tre l'inferiore rivolta verso lo zenit. Le piante furono esposte a cielo sereno per 5 ore ad una temperatura di — 1° C. Al mattino successivo, le sei foglie fissate sembrarono più fortemente danneggiate di quelle molto più giovani ed assai più delicate portate dagli stessi rami e lasciate libere. Però l'esposizione era stata troppo lunga, giacchè dopo qualche giorno molte foglie che erano state libere sembrarono trovarsi in uno stato quasi così cattivo di quelle che erano state fissate. Fu impossibile di determinare, se le foglie di cui la faccia superiore e la inferiore guardava lo zenit, avessero sofferto maggiormente.

Melilotus suaveolens. — Alcune piante sopra le quali avevamo fissato 8 foglie, furono esposte a cielo sereno per 2 ore ad una temperatura di — 2°. Al mattino successivo, 6 di queste 8 foglie erano appassite. Vi erano sulle piante circa 150 foglie libere, e nessuna ebbe a soffrire ad eccezione di due o tre assai giovani. Ma due giorni dopo, essendo state riposte le piante nella serra, le 6 foglie fissate ritornarono tutte al loro stato normale.

Melilotus Taurica. — Durante due notti consecutive furono esposte molte piante ad un freddo leggero ed a un po' di vento. Cinque foglie fissate antecedentemente soffrirono più di quelle situate al disopra ed al disotto su medesimi rami e che avevano preso la loro posizione notturna. Un altro vaso, che pure era stato collocato nella serra, fu esposto in piena aria per 35 o 40 minuti; la temperatura sull'erba variava fra — 3° e — 4° C. Erano state fissate nove foglie e tutte perirono. Sui medesimi piedi vi erano 210 foglie libere che riuscirono a prendere la loro posizione di sonno, e di cui 80 soltanto furono uccise, cioè a dire soltanto il 38 %.

Melilotus Petitpierreana. — Le piante furono esposte in piena aria per 35 a 40 minuti; la temperatura sull'erba era di — 3° a — 4° C. Sei foglie erano state fissate in modo da trovarsi a circa mezzo pollice sopra i turaccioli, e quattro, al contrario, erano state perfettamente obbligate al sovero. Queste dieci foglie furono tutte uccise, ma quelle fisse al sovero ebbero a soffrire maggiormente, poichè 4 delle 6 fissate a qualche distanza avevano ancora delle piccole chiazze colorate in verde. Un numero considerevole di foglie libere, ma non tutte, furono uccise o fortemente danneggiate, mentre che tutte quelle che furono fissate erano morte.

Melilotus macrorhiza. — Le piante vennero esposte nella stessa maniera che nel caso precedente. Sei foglie erano state fissate orizzontalmente e cinque di esse furono uccise, cioè 83 %. Calcolammo che vi erano sulle piante 200 foglie libere, di cui 50 circa furono uccise e 20 fortemente danneggiate, di guisa che circa il 35 % delle foglie libere ebbe a soffrirne.

Lotus aristata. — Si esposero sei piante in piena aria per più di 5 ore; tem-

peratura sull'erba — 1° 5 C. Quattro foglie erano mantenute orizzontali e due di esse soffrirono più di quelle poste sopra o sotto sui medesimi rami, e che avevano potuto prendere la loro posizione notturna. È un fatto notevole che alcune piante di *Lotus Jacobæus*, pianta che abita una località così calda come sono le isole del Capo Verde, sieno rimaste esposte una notte in piena aria ad una temperatura di — 2°, ed una seconda notte per 30 m. ad una temperatura di — 3° a — 4° C., senza che una sola foglia fissata o libera abbia punto sofferto.

Marsilia quadrifolia. — Una grande pianta di questa specie — la sola crittogama che, per quanto ci consta, dorma — con alcune foglie mantenute aperte, fu esposta in piena aria per un'ora e 35 m., mentre la temperatura sull'erba era di — 2° C., e nessuna foglia ebbe a soffrire. Dopo alcuni giorni la stessa pianta fu di nuovo esposta in piena aria per un'ora, mentre la temperatura, in terra, era più bassa, ossia — 4° C. Sei foglie erano state mantenute orizzontali, e tutte perirono. La pianta aveva emesso dei lunghi fusti distesi che erano stati circondati di un panno destinato a proteggerli contro il freddo della terra e l'irradiazione; ma moltissime foglie lasciate liberamente esposte avevano preso la loro posizione notturna; dodici soltanto furono uccise. Dopo un nuovo intervallo, la pianta, con 9 foglie fissate, fu ancora esposta per un'ora ad una temperatura di — 4° C. Sei di queste foglie furono uccise ed una, che in principio non lo sembrava, mostrò più tardi delle macchie brune. I rami striscianti che riposavano sulla terra fredda, ebbero la metà od i tre quarti delle loro foglie uccise, ma nessuna delle numerose altre foglie della pianta, che sole potevano essere confrontate con quelle mantenute orizzontali, mostrò dapprima di avere sofferto, tuttavia dopo una ricerca minuziosa dodici si trovarono morte. Dopo un altro intervallo ancora, circa con la medesima temperatura o forse con una temperatura un poco più bassa (poichè il termometro, in seguito ad un accidente, era rimasto sopra un quadrante solare a qualche distanza), la pianta fu esposta di nuovo in piena aria per 35 o 40 minuti; erano fissate nove foglie ed otto di esse perirono. Quanto alle foglie lasciate libere (non contiamo quelle dei rami striscianti) molte perirono, ma questo numero era ancora debole confrontato a quello delle foglie intatte. Finalmente, riassumendo queste tre esperienze, 24 foglie mantenute orizzontali furono esposte ad una radiazione senza ostacolo verso lo zenit, e sopra questo numero 20 perirono ed una venne danneggiata; però gli stessi effetti non si produssero che sopra un numero relativamente assai debole di foglie lasciate libere, che avevano potuto prendere la loro posizione notturna.

Furono messi ad esperimentare i cotiledoni di molte piante, ma la temperatura era mite, e non riuscimmo che in un caso, prendendo delle pianticelle di età conveniente, durante notti chiare e fredde. I cotiledoni di 6 pianticelle di *Mimosa pudica* furono mantenuti aperti e fissati sopra un turacciolo, ed in seguito esposti in piena aria per un'ora 45 m., ad una temperatura del suolo circostante di 29° F.; tre di queste pianticelle furono uccise. Due altre, dopochè i loro cotiledoni si erano elevati e chiusi, si piegarono e fissarono in modo che divennero orizzontali, con la faccia inferiore di un cotiledone rivolta verso lo zenit; tutte e due perirono. Dunque sopra le 8 piantine messe così ad esperimentare, cinque, ossia più della metà furono uccise. Sette altre coi loro cotiledoni nella posizione notturna normale, ossia verticali e chiusi, furono esposte nello stesso tempo, e due soltanto perirono (1).

(1) Fummo sorpresi di vedere che giovani pianticelle di una pianta tropicale, quale si è la *Mimosa pudica*, potevano resistere così bene ad una esposizione di 1 ora e 45 m. in piena aria e ad una temperatura di 29° F. Si può aggiungere che le pianticelle di *Cassia pubescens* (specie indiana) furono esposte in piena aria per 1 ora e 30 m. ad una temperatura minore di — 2° C., e ch'esse non ebbero punto a soffrire.

Pare dunque, se queste diverse esperienze possono significare qualche cosa, che la posizione verticale notturna dei cotiledoni di *Mimosa pudica* li protegga in certa misura contro gli effetti funesti della radiazione e del freddo.

Osservazioni finali sulla radiazione notturna delle foglie. — In due occasioni esponemmo in piena aria, durante la state, molte foglioline aperte artificialmente di *Trifolium pratense*, le quali si elevano naturalmente di notte, e di *Oxalis purpurea* che nello stesso periodo cadono (ambedue crescevano all'aperto), e le osservammo successivamente tutte le mattine, dopo che avevano preso la loro posizione diurna. Vi fu generalmente una differenza notevole nella quantità di rugiada deposta sulle foglioline aperte artificialmente, e quelle che avevano potuto prendere la posizione notturna. Queste ultime erano qualche volta completamente asciutte mentre che le foglioline che erano rimaste orizzontali erano coperte di larghe goccie di rugiada. Questo fatto mostra, quale differenza di temperatura si fosse stabilita fra le foglioline rivolte completamente verso lo zenit, e quelle che avevano passato la notte in una posizione verticale, sia in alto, sia in basso.

I diversi casi da noi citati non permettono punto di dubitare, che la posizione notturna delle foglie non influisca sulla loro temperatura per la radiazione, e ciò in tal grado che quando la pianta è esposta a cielo sereno durante il freddo, si faccia per essa una questione di vita o di morte. Possiamo dunque ammettere come cosa assai probabile, se consideriamo come la loro posizione notturna sia perfettamente adattata per evitare la radiazione, che il vantaggio acquistato in causa dei movimenti nictitropici, spesso assai complicati, sia di diminuire la probabilità che le foglie periscano durante la notte. Non bisogna perdere di vista che si è sopratutto la faccia superiore che è così protetta, poich'essa non è mai rivolta direttamente verso lo zenit, e spesso viene in intimo contatto colla pagina superiore di una foglia o di una fogliolina opposta.

Non abbiamo potuto determinare con una sufficiente evidenza, se la faccia superiore delle foglie abbia bisogno di una protezione più efficace, perchè essa si lascia più facilmente danneggiare, o perchè i danni sofferti da questa faccia sarebbero più nocivi alla pianta tutta intera. I casi seguenti dimostrano del resto, che vi è una certa differenza di costituzione fra le due pagine della foglia. Furono esposti in piena aria ed in una notte assai fredda degli esemplari di *Cassia floribunda*, e molte foglioline che avevano preso la loro posizione notturna verticale presentando le loro faccie inferiori rivolte in modo da guardare obliquamente lo zenit, ebbero tuttavia queste faccie meno annerite delle pagine superiori che erano rivolte verso l'interno, e si trovavano in intimo contatto con quelle delle foglioline opposte. Inoltre un vaso riempito di *Trifolium resupinatum*, che era stato tenuto per tre giorni in una camera riscaldata, fu esposto all'aperto in una notte chiara ed abbastanza fredda (al 21 settembre); al mattino successivo dieci delle foglioline terminali furono esaminate al microscopio alla luce diretta. Queste

foglioline, prendendo la loro posizione notturna, si dirigono verticalmente in alto, o più spesso, s'inclinano un poco verso le foglioline laterali, in modo da esporre allo zenit piuttosto la loro faccia inferiore che la superiore. Nondimeno sei di queste dieci foglioline erano distintamente più gialle alla faccia superiore che alla inferiore più esposta. Per le quattro altre il risultato non era così concludente, ma si poteva certamente constatare qualche differenza, che indicava che la faccia superiore aveva sofferto maggiormente.

Abbiamo detto, che alcune delle foglioline sulle quali furono portate le nostre esperienze, erano state fissate esattamente al sughero, ed oltre 1/2 — 3/4 poll. al disopra, e che, quando dopo l'esposizione al freddo, si poteva constatare qualche differenza nello stato di queste foglioline, quelle che erano state attaccate fittamente contro il sughero, erano sempre le più danneggiate. Abbiamo attribuito questa differenza al fatto, che l'aria non raffreddata dalla irradiazione non aveva potuto circolare liberamente al disotto delle foglie così fermate. In un caso ci fu perfettamente dimostrato che vi era una differenza reale nella temperatura delle foglie trattate secondo questi due metodi, imperocchè dopo l'esposizione di un vaso portante dei piedi di *Melilotus dentata*, per 2 ore in piena aria (la temperatura sull'erba circostante era di 2° C.), era manifesto che una quantità maggiore di rugiada si era convertita in brinata sulle foglioline attaccate immediatamente sul sughero, che su quelle che erano poste ad una certa distanza. Di più, le estremità di alcune poche foglioline attaccate direttamente sul turacciolo si proiettavano un poco al di là del sovero, di guisa che l'aria poteva liberamente circolare attorno a queste parti estreme; ciò accadde per sei foglioline di *Oxalis acetosella*, e queste estremità soffrivano certamente un po' meno che il resto delle stesse foglioline. Il medesimo risultato fu ottenuto ancora più chiaramente in due casi con delle foglioline di *Melilotus officinalis* che sorpassavano il sovero; in due altre occasioni, delle foglioline fissate immediatamente sul turacciolo ebbero a soffrire, mentre che delle foglioline libere, prese sulle medesime foglie, e che non avevano avuto lo spazio necessario per fare la loro evoluzione, e prendere la loro posizione notturna, non avevano sofferto affatto.

Dobbiamo ricordare ancora un altro fatto analogo: osservammo, a diverse riprese, che un maggior numero di foglie libere avevano avuto da soffrire di più sui rami mantenuti immobili dalla fissazione di alcune delle loro foglie che sugli altri rami. Tale fatto era evidente per il *Melilotus Petitpierreana*, ma in questo caso non contammo le foglie intaccate. Nell'*Arachis hypogæa*, una giovane pianta provveduta di 7 rami, portava 22 foglie libere, di cui 5 ebbero a soffrire il freddo, le quali tutte erano poste sopra due rami, ch'ebbero quattro delle loro foglie fissate con spilli sopra dei turaccioli. Nell'*Oxalis carnosa*, 7 foglie libere soffersero e ciascuna di esse apparteneva ad un cespo di foglie, delle quali alcune erano state fissate con spilli. Non possiamo spiegare tali fatti se non supponendo che

questi rami del tutto liberi fossero stati leggermente agitati dal vento, e che le loro foglie avessero così potuto essere un poco riscaldate dall'aria ambiente. Se noi teniamo le mani immobili davanti ad un fuoco intenso, ed in seguito le agitiamo, sentiamo immediatamente un sollievo; è evidente che qui si tratta di un fenomeno analogo, quantunque inverso. Questi diversi fatti — relativi alle foglie fissate contro ai loro sostegni di sughero od un po' al disopra — alle loro estremità sorpassanti il sostegno — alle foglie dei rami mantenuti immobili — ci sembrano interessanti, poichè dimostrano a qual punto una differenza, che si può considerare quasi insignificante, sia capace di aumentare l'importanza dei danni sofferti dalle foglie. Possiamo perfino dedurre, che la maggiore o minore distruzione delle foglie di una pianta che non dorme in seguito del freddo può spesso dipendere dalla maggiore o minore flessibilità dei picciuoli e dei rami che portano le foglie.

Movimenti nictitropici o di Sonno dei cotiledoni.

Arriviamo ora alla parte descrittiva del nostro lavoro, e comincieremo dai cotiledoni, per passare alle foglie nel capitolo seguente. Sopra il sonno dei cotiledoni non abbiamo trovato che due brevi notizie. Hofmeister (1), dopo di aver constatato che i cotiledoni di tutte le pianticelle delle Cariofillee (Alsineæ e Sileneæ), ch'egli ha osservato, si dirigono in alto per tutta la notte (ma non disse di quale angolo sia questo movimento), fa notare che quelli di *Stellaria media* si elevano tanto da venire a contatto fra di loro; si può dunque dire con sicurezza ch'essi dormono. D'altra parte, secondo Ramey (2), i cotiledoni di *Mimosa pudica* e di *Clianthus Dampieri* si elevano durante la notte quasi verticalmente, e si avvicinano l'uno all'altro. Noi abbiamo dimostrato in uno dei capitoli precedenti, che i cotiledoni di un grande numero di piante si curvano un poco in alto durante la notte, ed ora abbiamo da risolvere questa difficile questione: a qual grado d'inclinazione si può dire ch'essi dormono? Secondo le viste che sosteniamo, nessun movimento può realmente prendere il nome di nictitropico, se non è stato acquistato allo scopo di diminuire gli effetti della radiazione, ciò che non può essere determinato che da una lunga serie di esperienze, le quali stabiliscano che le foglie di ogni specie soffrirebbero in seguito a questa radiazione se non potessero prendere la loro posizione di sonno. È necessario però che fissiamo un limite arbitrario: se un cotiledone od una foglia s'inclina a 60° al disopra dell'orizzonte, o al disotto, una metà circa della sua superficie è esposta allo zenit; per conseguenza l'intensità della sua irradiazione sarà diminuita di metà circa, se la si confronti a quella che si sarebbe prodotta nel caso in cui il piano della foglia o del

(1) *Die Lehre von der Pflanzenzelle*, 1867, p. 327.
(2) *Adansonia*, 10 marzo 1869.

cotiledone fosse rimasto orizzontale. Questo grado di diminuzione creerebbe certamente una differenza assai sensibile in una pianta di costituzione delicata. Diremo dunque, che un cotiledone od una foglia dorme, quando i suoi movimenti notturni di ascensione o di discesa si estenderanno ad un angolo di circa 60°, o più, al disopra od al disotto dell'orizzonte. Non ne segue però che una minima diminuzione dell'irradiazione non possa essere per qualche pianta un certo vantaggio, come si è il caso per la *Datura Stramonium*, in cui i cotiledoni si elevavano sopra l'orizzonte a 31° a mezzogiorno ed a 55° di notte. Il navone di Svezia può trar profitto, secondo A. S. Wilson, di una diminuzione notturna del 30 per cento circa della superficie delle sue foglie, sebbene in questo caso la distanza angolare percorsa non sia stata osservata. D'altra parte, se l'elevazione angolare dei cotiledoni e delle foglie è molto debole, in modo da non sorpassare, ad esempio, 30°, la diminuzione della radiazione dal punto di vista del raffreddamento è troppo debole per esercitare sulla pianta una influenza qualunque. Per esempio, i cotiledoni di *Geranium Ibericum* si elevavano alla notte a 27° al disopra dell'orizzonte, ciò che determinava nell'irradiazione una diminuzione di 11 per cento soltanto; quelli di *Linum Berendieri* si elevavano a 33°, diminuendo la radiazione del 16 per cento.

Vi sono però altre sorgenti di dubbio relativamente al sonno dei cotiledoni. In certi casi i cotiledoni ancora giovani non divergono che moderatamente durante il giorno, di guisa che una debole elevazione notturna (e sappiamo che si produce nei cotiledoni di molte piante) li porta di necessità a prendere durante la notte una posizione quasi verticale; in questo caso sarebbe precoce l'affermare che il movimento si è effettuato ad uno scopo speciale. Si è per ciò che abbiamo esitato lungamente di introdurre nella lista che seguirà molte Cucurbitacee; però per alcune ragioni, che tosto esporremo, abbiamo creduto di comprendervele, almeno temporaneamente. Questo stesso motivo di dubbio si presenta in molti altri casi; infatti, al principio delle nostre osservazioni non portammo sempre un'attenzione sufficiente per sapere se i cotiledoni erano quasi orizzontali a metà del giorno. In molte pianticelle i cotiledoni prendono una posizione notturna fortemente inclinata, per un periodo così breve della loro vita che si domanda naturalmente, se questo fenomeno possa essere per la pianta di una qualsiasi utilità. Tuttavia nella maggior parte dei casi indicati nella lista seguente, i cotiledoni possono essere considerati come soggetti al sonno colla stessa certezza colla quale si può dirlo delle foglie di una qualunque pianta. In due casi, e cioè per il cavolo e il rafano, nei quali i cotiledoni si fanno quasi verticali durante le prime notti della loro vita, abbiamo messo in chiaro i nostri dubbi, collocando delle giovani pianticelle nel clinostato, ed abbiamo visto che il movimento di elevazione non dipendeva affatto dall'apogeotropismo.

I nomi delle piante, i cui cotiledoni si allontanano di notte di un angolo di

almeno 60° dall'orizzonte, sono disposti nella lista seguente, secondo il metodo che abbiamo già seguito. I numeri d'ordine delle famiglie, e per le Leguminose, i numeri d'ordine delle tribù, sono stati aggiunti in modo da dimostrare come le piante in questione sieno distribuite in tutta la serie delle dicotiledoni. Noi faremo intorno a molte piante di questa lista alcune poche osservazioni, che saranno esposte senza seguire strettamente un ordine sistematico, giacchè parleremo in fine delle Ossalidee e delle Leguminose. In queste due famiglie infatti i cotiledoni sono generalmente provveduti di un pulvino ed i loro movimenti persistono molto più lungamente che quelli di altre piante portate nella lista.

Lista delle pianticelle i di cui cotiledoni si elevano e si abbassano durante la notte fino ad un angolo maggiore di 60° al disopra od al disotto dell'orizzonte.

Brassica oleracea. Crucifere (Fam. 14).
— napus (secondo il prof. Asa Gray).
Raphanus sativus. Crucifere.
Githago segetum. Cariofillee (Fam. 26).
Stellaria media. Cariofillee (secondo Hofmeister).
Anoda Wrightii. Malvacee (Fam. 36).
Gossypium (var. Cotone Nankin). Malvacee.
Oxalis rosea. Ossalidee (Fam. 41).
— floribunda.
— articulata.
— valdiviana.
— sensitiva.
Geranium rotundifolium. Geraniacee (Fam. 47).
Trifolium subterraneum. Leguminose (Fam. 75, tribù 3).
— strictum.
— leucanthemum.
Lotus ornithopodoides. Leguminose (Tribù 4).
— peregrinus.
— Jacobæus.
Clianthus Dampieri. Legum. (Tribù 5), secondo Ramey.
Smithia sensitiva. Legum. (Tribù 6).
Hæmatoxylon Campechianum. Legum. (Tribù 13), secondo Lynch.
Cassia mimosoides. Legum. (Tr. 14).
— glauca.
— florida.
Cassia corymbosa.
— pubescens.
— tora.
— neglecta.
— (3 altre specie Brasiliane non conosciute).
Bauhinia (sp ?). Legum. (Tribù 15).
Neptunia oleracea. Legum. (Tribù 20).
Mimosa pudica. Legum. (Tribù 21).
— albida.
Cucurbita ovifera. Cucurbitacee (Fam. 106).
— aurantia.
Lagenaria vulgaris. Cucurbitacee.
Cucumis dudaim. Cucurbitacee.
Apium petroselinum. Ombrellifere (Fam. 113).
— graveolens.
Lactuca scariola. Composite (Fam. 122).
Helianthus annuus (?). Comp.
Ipomæa cærulea. Convolvulacee (Fam. 151).
— purpurea.
— bona-nox.
— coccinea.
Solanum lycopersicum. Solanacee (Fam. 157).
Mimulus (sp ?). Scrofularinee (Fam. 159).
Mirabilis jalapa. Nictaginee (Fam. 177).
— longiflora.
Beta vulgaris. Poligonee (Fam 179).
Amaranthus caudatus. Amarantacee (Fam. 186).
Cannabis sativa (?). Cannabinee (Fam. 195).

Brassica oleracea (Cruciferæ). — Noi abbiamo dimostrato nel primo capitolo, che i cotiledoni di cavolo si elevano nella sera e stanno verticalmente eretti durante la notte, avendo i loro picciuoli in contatto fra di loro. Ma siccome i due cotiledoni sono di grandezza differente, si contrariano spesso a vicenda nei loro movimenti, ed il più breve non è sempre perfettamente verticale. Essi si svegliano al mattino di buon'ora; così al 27 novembre alle 6,45 del mattino, mentre era ancora notte, i

cotiledoni, che nella sera precedente erano verticali ed in contatto, stavano curvati e presentavano così un aspetto notevolmente diverso. È d'uopo ricordare che le pianticelle, germogliando nella loro stagione naturale, non si troveranno nell'oscurità a questo momento della mattina. La citata somma di movimento dei cotiledoni non è che temporanea, giacchè termina di prodursi in capo a quattro o sei giorni nelle piante conservate in una serra calda; non sappiamo quanto tempo persista nelle piante che germogliano in piena aria.

Raphanus sativus. — A metà della giornata, i lembi dei cotiledoni di 10 pianticelle formavano un angolo retto con gli ipocotili, ed i loro picciuoli erano un poco divergenti; alla notte, i lembi erano verticali, con le loro basi in contatto ed i picciuoli paralleli. Al mattino successivo alle 6,45, mentre era ancora notte, i lembi erano orizzontali; la notte seguente si erano molto elevati, ma si trovavano appena abbastanza verticali perchè si potesse dire che dormivano; fu lo stesso, ad un grado ancora minore, la terza notte. I cotiledoni di questa pianta (conservata nella serra) dormono dunque per un periodo anche più breve di quelli del cavolo. Furono fatte simili osservazioni, ma soltanto per un giorno ed una notte, sopra 13 altre pianticelle, nate pure nella serra e che condussero ai medesimi risultati. I picciuoli dei cotiledoni di 11 giovani piantine di *Sinapis nigra* divergevano leggermente a mezzodì, ed i lembi erano perpendicolari sopra gli ipocotili; alla notte, i cotiledoni erano in istretto contatto ed i lembi considerevolmente elevati; le loro basi si toccavano, ma pochi soltanto erano abbastanza eretti perchè si potesse dire che dormivano. Al mattino successivo i picciuoli divergevano prima di giorno. L'ipocotilo è leggermente sensibile, di guisa che quando lo si soffregava con uno spillo, s'inclinava verso la parte fregante. Nel caso del *Lepidium sativum* i picciuoli dei cotiledoni delle giovani pianticelle si allontanano durante il giorno, e convergono fino a toccarsi durante la notte, laonde le basi dei lembi tripartiti sono portate a contatto; ma i lembi sono così poco eretti che non si può dire che dormono. Furono osservati ancora i cotiledoni di diverse altre Crucifere, ma essi non si elevarono abbastanza, durante la notte, perchè potessero dirsi dormienti.

Githago segetum (Caryophylleæ). — Il primo giorno, i cotiledoni, dopo la loro uscita dagli involucri seminali, formavano a mezzogiorno un angolo di circa 75° sopra l'orizzonte; di notte, essi avevano un movimento di ascensione, e ciascuno percorreva un angolo di 15°, in modo da trovarsi completamente verticale ed in contatto col suo vicino. Il secondo giorno, a mezzodì, si trovarono a 59° sopra l'orizzonte, ed alla notte erano di nuovo completamente chiusi, ciascuno essendosi elevato di 31°. Al quarto giorno i cotiledoni non si chiusero completamente durante la notte. Il primo paio di vere foglie, e le paia seguenti si comportarono precisamente nello stesso modo. Noi riteniamo che in questo caso il movimento meritava il nome di nictitropico, quantunque l'angolo percorso fosse assai debole. I cotiledoni sono sensibilissimi alla luce e non si distendono se sono esposti ad una luce molto torbida.

Anoda Wrightii (Malvaceæ). I cotiledoni quando sono ancora abbastanza giovani e il loro diametro non sorpassa da 0,2 a 0,3 pollici, cadono alla sera dalla loro posizione meridiana orizzontale in modo da formare un angolo di 35° circa sotto l'orizzonte. Ma le stesse pianticelle essendo invecchiate ed avendo prodotto delle vere foglie, i cotiledoni quasi orbiculari, il cui diametro raggiungeva allora 0,55 pollici, avevano alla notte un movimento verticale in basso. Questo fatto ci fece supporre che la loro discesa potesse essere dovuta principalmente al loro peso; ma essi non erano punto appassiti e appena venivano sollevati, riprendevano per la loro elasticità la posizione primitiva. Un vaso con alcune pianticelle già vecchie fu rovesciato nel corso della sera, prima del cominciamento della discesa not-

turna, e venuta la notte i cotiledoni presero, contro il loro proprio peso e contro ogni azione geotropica, una posizione verticale dirigendosi in alto. Se i vasi venivano così rovesciati, quando la discesa serale era già cominciata, il movimento di discesa sembrava alquanto turbato; ma tutti i movimenti erano talora suscettibili di variazioni senza una causa apparente. Quest'ultimo fatto, unito al movimento di discesa meno pronunciato dei cotiledoni giovani, merita menzione. Quantunque i movimenti dei cotiledoni persistessero lungamente, nessun pulvino era visibile all'esterno, ma il loro accrescimento durava assai lungo tempo. I cotiledoni non appariscono che leggermente eliotropici, quantunque l'ipocotilo lo sia fortemente.

Gossypium arboreum (?) (var. Cotone Nankin) (Malvaceæ). — I cotiledoni si comportano quasi nella stessa maniera di quelli di *Anoda*. Li 15 giugno i cotiledoni di due pianticelle misuravano 0,65 poll. in lunghezza (misurati lungo la nervatura mediana), e si trovavano orizzontali a mezzodì; alle 10 di sera essi occupavano la stessa posizione e non erano discesi affatto. Li 23 giugno i cotiledoni di una di queste pianticelle erano lunghi 1,1 poll., ed alle 10 di sera erano discesi dalla posizione orizzontale a 62° sotto l'orizzonte. I cotiledoni dell'altra piantina erano lunghi 1,3 poll., e si era formata una vera foglia; essi erano discesi a 10 ore della sera a 70° sotto all'orizzonte. Li 25 giugno la vera foglia di quest'ultima pianticella era lunga 0,9 poll., ed i cotiledoni occupavano quasi la medesima posizione notturna. Li 9 luglio i cotiledoni apparivano assai vecchi e mostravano segni di appassimento; ma a mezzodì erano quasi orizzontali, ed alle 10 della sera pendevano quasi verticali.

Gossypium herbaceum. — È notevole che i cotiledoni di questa specie si comportino in modo affatto differente di quelli della precedente. Furono osservati per 6 settimane dopo il loro primo sviluppo, fino a che pervennero ad una grandezza considerevole (erano ancora freschi e verdi) cioè a dire ad una larghezza di 2 $^1/_2$ pollici. A quest'età si era formata una vera foglia che aveva raggiunto una lunghezza di 2 pollici, compreso il picciuolo. Nel corso di queste sei settimane i cotiledoni non discesero di notte; essi però invecchiando avevano assunto un peso considerevole, ed erano sostenuti da picciuoli assai allungati. Delle pianticelle nate da semi che ci erano stati spediti da Napoli si comportavano nella stessa maniera; e così quelle di una specie coltivata nell'Alabama e del cotone di Sea-Island. Non sappiamo a quale specie si riferivano queste tre ultime forme. Per il cotone di Napoli non potemmo impedire alla posizione notturna dei cotiledoni di subire l'influenza della maggiore o minore idratazione del suolo; prendemmo però le precauzioni necessarie perchè una umidità troppo grande non lo facesse appassire. Il peso dei grandi cotiledoni delle specie di Alabama e di Sea-Island li rese un poco pendenti in basso, appena i vasi, nei quali essi germogliavano, furono posti sossopra. Bisogna però osservare che queste tre specie erano state allevate a mezzo inverno, ciò che turba qualche volta considerevolmente i movimenti nictitropici delle foglie e dei cotiledoni.

Cucurbitaceæ. — I cotiledoni di *Cucurbita aurantia* ed *ovifera* e di *Lagenaria vulgaris* formano dal 1° al 3° giorno di loro vita un angolo di circa 60° al disopra dell'orizzonte, e si elevano di notte fino a divenire verticali ed in contatto intimo l'uno con l'altro. Nella *Cucumis dudaim* essi formano sull'orizzonte un angolo di 45° e si chiudono alla notte. Le estremità dei cotiledoni di tutte queste specie sono però ricurve, in guisa che alla notte questa parte è pienamente esposta allo zenit. Tale fatto impedisce di credere che questo movimento sia di natura identica a quello delle piante soggette al sonno. Dopo i due o tre primi dì i cotiledoni divergono maggiormente durante il giorno, e cessano di chiudersi completamente alla notte. Quelli di *Trichosantes anguina*, abbastanza grossi e carnosi, non si elevano di notte, cosa

del resto che si prevedeva. D'altra parte quelli di *Acanthosicyos horrida* (1) non hanno nulla che possa impedire un movimento della stessa natura di quello delle altre specie, tuttavia essi non si elevano alla notte in modo ben chiaro ed evidente. Questo fatto conduce alla supposizione che i movimenti notturni delle predette specie sieno stati acquistati ad uno scopo speciale, che può essere la protezione della giovane plumula contro l'irradiazione mediante il contatto della intera parte basilare dei due cotiledoni.

Geranium rotundifolium (Geraniaceæ). — Una sola pianticella germogliò accidentalmente in un vaso, ed osservammo che i suoi cotiledoni s'inclinavano perpendicolarmente in basso per parecchie notti successive dopo di essere stati orizzontali a mezzodì. Essa divenne una bella pianta, ma morì prima della fioritura: era stata comperata a Kew, e fu riconosciuta con tutta certezza per un *Geranium* probabilmente della specie sopra nominata. Questo fatto è notevole, poichè i cotiledoni di *G. cinereum*, *Endressii*, *Ibericum*, *Richardsoni* e *subcaulescens*, furono osservati nell'inverno per più settimane, e non discendevano, mentre quelli di *G. Ibericum* si elevavano alla notte di 27°.

Apium petroselinum (Umbelliferæ). — Li 22 di novembre una pianticella aveva i cotiledoni quasi completamente distesi nella giornata; alle 8,30 della sera erano considerevolmente elevati ed alle 10,30 erano quasi chiusi, non distando le loro estremità che 8/100 di pollice fra di loro. Al mattino successivo (giorno 23) le estremità erano allontanate di 58/100 di pollice, cioè più di sette volte tanto. La notte seguente i cotiledoni occupavano quasi la stessa posizione di prima. La mattina del 24 erano orizzontali, ed alla notte erano elevati di 60° sopra l'orizzonte. Fu la stessa cosa nella notte del 25. Ma quattro giorni dopo, li 29 (la pianticella aveva allora una settimana), i cotiledoni avevano cessato di elevarsi manifestamente durante la notte.

Apium graveolens. — I cotiledoni erano orizzontali a mezzodì ed alle 10 della sera formavano un angolo di 61° sopra l'orizzonte.

Lactura scariola (Compositæ). — I Cotiledoni, mentre erano ancora giovani, trovavansi quasi orizzontali nella giornata, e nella notte si elevarono fino a divenire quasi verticali; alcuni erano completamente chiusi e verticali. Ma tale movimento cessò, quando dopo un intervallo di 11 giorni erano divenuti vecchi e grandi.

Helianthus annuus (Compositæ). — Questo caso è abbastanza dubbioso; i cotiledoni si elevarono di notte ed una volta formarono sopra l'orizzonte un angolo di 73°, di modo che si avrebbe potuto dire che dormivano.

Ipomœa cærulea vel *Pharbitis nil* (Convolvulaceæ). — I cotiledoni si comportano quasi nella stessa maniera di quelli di *Anoda* e del Cotone Nankin, e come questi pervennero ad una notevole grandezza. Mentre erano ancora giovani e piccoli, non misurando i loro lembi che 0,5 a 0,6 poll. di lunghezza (contati sulla nervatura mediana fino alla base dell'incisura centrale), rimanevano orizzontali sia a metà della giornata sia durante la notte. A misura che ingrandivano, cominciavano a discendere sempre più nella sera ed al cominciar della notte; e quando erano pervenuti ad una lunghezza (misurata nella stessa maniera) di 1 a 1,25 poll., discesero fino a formare un angolo di 55° a 70° sotto all'orizzonte. Non si comportarono però così che dopo di essere stati pienamente rischiarati durante la giornata. Tuttavia i cotiledoni non potevano inclinarsi che debolmente, o non lo potevano affatto, verso una luce laterale, quantunque l'ipocotilo fosse fortemente eliotropico. Non sono muniti di pulvino, ma il loro accrescimento continua per un periodo assai lungo.

(1) Questa pianta, della terra di Dammara, nell'Africa meridionale, è degna di nota nel senso che è la sola non rampicante della famiglia. Essa è stata descritta nei *Transact. Linn. Soc.*, XXVII, p. 30.

Ipomœa purpurea (vel *Pharbitis hispida*). — I cotiledoni si comportano, a colpo d'occhio, come quelli di *I. cœrulea*. Una pianticella, i cui cotiledoni avevano 0,75 poll. di lunghezza (misurati come quelli della specie precedente) e 1,75 poll. di larghezza, e che portava una piccola vera foglia sviluppata, fu posta sopra un clinostato in una scatola annerita, di guisa che nè la gravità, nè il geotropismo potevano avere un'azione su di essa. A 10 ore di sera un cotiledone formava un angolo di 77°, e l'altro un angolo di 82° sotto all'orizzonte. Prima di essere collocati sul clinostato, erano inclinati da 15° a 29° sotto l'orizzonte. La posizione notturna dipende principalmente dall'incurvatura del picciuolo presso al lembo, ma il picciuolo tutto intiero s'incurva leggermente in basso. È bene aggiungere che delle pianticelle di questa specie e della precedente avevano germogliato alla fine di febbraio, un altro gruppo a metà di marzo, e che in nessuno di questi due casi i cotiledoni avevano mostrato dei movimenti nictitropici.

Ipomœa bona-nox. — I cotiledoni, dopo alcuni giorni, raggiungono una grandezzae norme; quelli di una pianticella misuravano 3 e 1/4 di poll. di larghezza. Essi erano a mezzodì distesi orizzontalmente, ed alle 10 di sera formavano sotto all'orizzonte un angolo di 63°. Cinque giorni dopo misuravano 4 1/2 poll. di larghezza, e venuta la notte, uno formava un angolo di 64° e l'altro un angolo di 48° sotto all'orizzonte. Quantunque i lembi fossero sottili, la loro grande dimensione e la lunghezza dei loro picciuoli ci fecero pensare, che la loro discesa notturna poteva essere determinata dalla gravità; ma, allorchè il vaso fu collocato orizzontalmente, s'incurvarono verso l'ipocotilo, movimento che non poteva punto essere determinato dalla gravità; essi in pari tempo giravano alcun poco sopra se stessi e verso l'alto, sotto l'influenza dell'apogeotropismo. Tuttavia, il peso dei cotiledoni esercita una tale influenza, che quando un'altra notte il vaso fu messo sossopra, essi si mostrarono incapaci di elevarsi e di prendere così la loro posizione notturna normale.

Ipomœa coccinea. — I cotiledoni ancora giovani non discendono durante la notte, ma quando sono un poco più vecchi, non misurando che 0,4 poll. in lunghezza (misurati come prima) e 0,82 poll. di larghezza, subiscono una forte depressione. In un caso erano orizzontali a mezzodì, ed uno era alle 10 di sera a 64°, e l'altro a 47° sotto l'orizzonte alla stessa ora. I lembi sono sottili, ed i picciuoli che s'incurvano di notte più fortemente verso il basso, sono brevi, di guisa che il loro peso può appena esercitare un'influenza sui loro movimenti. In tutte le altre specie di *Ipomœa*, quando i due cotiledoni della stessa pianticella subivano una depressione notturna ineguale, questo fenomeno pareva dipendere dalla posizione che avevano occupato nella giornata relativamente alla luce.

Solanum lycopersicum (Solaneæ). — I cotiledoni si elevano durante la notte fino a venire quasi a contatto. Quelli di *S. palinacanthum* erano orizzontali a mezzodì, ed alle 10 di sera non si erano elevati che a 27°30′; ma il dì successivo prima di giorno essi erano a circa 59° sopra l'orizzonte e dopo mezzodì dello stesso giorno erano ritornati orizzontali. Il modo di comportarsi dei cotiledoni di quest'ultima specie sembrava dunque anormale.

Mirabilis jalapa e *longiflora.* (Nictagineæ). — I cotiledoni, che sono di dimensioni diseguali, sono orizzontali a metà della giornata e si elevano verticalmente di notte per portarsi in intimo contatto. Ma questo movimento nella *M. longiflora* non persiste che per le tre prime notti.

Beta vulgaris (Poligoneæ). — In tre occasioni furono osservate moltissime pianticelle. Nel corso della giornata i cotiledoni erano talvolta quasi orizzontali, ma più di frequente essi formavano un angolo di 50° sopra l'orizzonte, e durante le due o tre prime notti si elevarono verticalmente fino a chiudersi affatto. Dopo ciò,

per una o due notti, non si elevarono che pochissimo, ed in seguito non si mossero che insensibilmente.

Amaranthus caudatus (Amaranthaceæ). — I cotiledoni di molte pianticelle, che avevano appena germogliato, erano a mezzodì a circa 45° sopra l'orizzonte, ed alle 10,15 pom. alcuni erano in parte, altri interamente chiusi. Il mattino successivo erano nuovamente bene espansi od aperti.

Cannabis sativa (Cannabineæ). — Siamo dubbiosi se questa pianta debba essere ricordata qui. I cotiledoni di un grande numero di pianticelle, dopo di essere stati fortemente rischiarati nella giornata, s'incurvavano di notte in basso, di guisa che le estremità di alcuni guardavano direttamente il suolo; però la parte basilare non appariva affatto depressa. Al mattino successivo, essi erano di nuovo orizzontali. I cotiledoni di numerose altre pianticelle, osservati nello stesso tempo, non erano stati punto impressionati. Questo caso, manifestamente distinto da quelli di sonno ordinario, devesi probabilmente collocare fra i fenomeni dovuti all'epinastia, come del resto, secondo Kraus, è già stato stabilito per le foglie della stessa pianta. I cotiledoni sono eliotropici, e l'ipocotilo lo è del pari in grado anche maggiore.

Oxalis. — Arriviamo ora ai cotiledoni provveduti di un pulvino, che sono notevoli per la persistenza dei loro movimenti notturni per molti giorni od anche settimane, e probabilmente dopo la cessazione dell'accrescimento. I cotiledoni di *O. rosea floribunda* ed *articulata* discendono verticalmente alla notte e coprono la parte superiore dell'ipocotilo. Quelli di *O. Valdiviana* e *sensitiva*, al contrario, si elevano verticalmente, di guisa che le loro faccie superiori vengono in intimo contatto, e dopo che le giovani foglie si sono sviluppate, esse sono protette dai cotiledoni. Questi ultimi organi essendo, nella giornata, orizzontali od anche un poco inclinati sotto l'orizzonte ne seguì, che il movimento vespertino fece loro percorrere un arco di almeno 90°. I loro movimenti complicati di circumnutazione durante la giornata sono stati descritti nel primo capitolo. L'esperienza riesciva superflua, ma però alcuni vasi di pianticelle di *O. rosea* e *floribunda* furono rovesciati appena che i cotiledoni incominciarono a mostrare qualche segnale di sonno, e questo fatto non provocò alcuna differenza nei loro movimenti.

Leguminosæ. — Si può vedere dalla nostra lista, che i movimenti nictitropici esistono in molte specie appartenenti a nove generi di questa famiglia molto discosti fra di loro. È probabile che sia la stessa cosa per molti altri. I cotiledoni di tutte queste specie sono provveduti di pulvino ed il movimento in tutte persiste per parecchi giorni o parecchie settimane. Nel genere *Cassia*, i cotiledoni di dieci specie notate nella nostra lista si elevano di notte verticalmente e vengono in intimo contatto. Abbiamo osservato che quelli di *C. florida* si aprivano al mattino un poco più tardi di quelli di *C. glauca* e *pubescens*. Il movimento è esattamente il medesimo nella *C. mimosoides* che nelle altre specie, benchè le foglie che si sviluppano più tardi dormano in modo diverso. I cotiledoni di una undicesima specie, *C. nodosa*, sono grossi e molli e non si elevano di notte. La circumnutazione diurna dei cotiledoni di *C. tora* è stata descritta nel primo capitolo. Quantunque i cotiledoni di *Smithia sensitiva* si elevino dalla posizione orizzontale che occupano nella giornata fino ad una posizione notturna verticale; quelli di *S. Pfundii*, che sono grossi e carnosi, non dormono. Quando la *Mimosa pudica* e *albida* sono state mantenute ad una temperatura abbastanza elevata nel corso del giorno, i cotiledoni vengono di notte in intimo contatto, altrimenti si elevano soltanto quasi verticali. La circumnutazione di quelli di *M. pudica* è stata descritta. I cotiledoni di una *Bacchinia* di Santa Caterina (Brasile) formavano nella giornata un angolo di circa 50° sopra l'orizzonte, e si elevavano di notte a 77°; è probabile però che si sarebbero completamente chiusi, se le pianticelle fossero state collocate in un luogo più caldo.

Lotus. — Abbiamo constatato il sonno dei cotiledoni in tre specie di *Lotus*. Quelli di *L. Jacobæus* presentano un fenomeno singolare: essi non si elevano alla notte in modo appariscente per i primi 5 o 6 giorni della loro vita, ed il pulvino in questo periodo non è ancora bene sviluppato; più tardi i movimenti di sonno sono bene pronunciati, sebbene in grado variabile, e continuano lungamente. Incontreremo più avanti un caso quasi parallelo per le foglie di *Sida rhombifolia*. I cotiledoni di *L. Gebelii* non si elevano alla notte che leggermente, e differiscono molto a questo riguardo da quelli delle tre specie portate sulla nostra lista.

Trifolium. — Abbiamo osservato la germinazione di 21 specie. Nella maggior parte di esse, i cotiledoni si innalzano appena, o assai leggermente, nel corso della notte; ma quelli di *T. glomeratum*, *striatum* ed *incarnatum* si elevano a 45° o 55° al disopra dell'orizzonte.

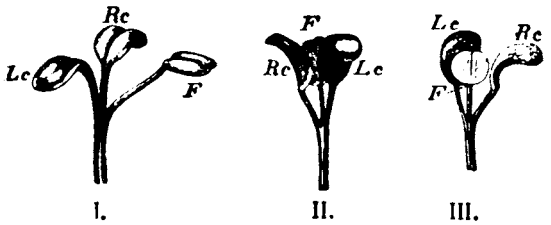
Nel *T. subterraneum*, *leucanthemum* e *strictum* sono verticali, e nel *T. strictum* il movimento di ascesa è accompagnato, come vedremo, da un altro movimento che ci fa credere che tale elevazione è realmente nictitropica. Non abbiamo esaminato con cura i cotiledoni di tutte le specie per sapere se erano provveduti d'un pulvino, ma quest'organo era distintamente visibile in quelli di *T. subterraneum* e *strictum*, mentre non vi era alcuna traccia di pulvino in alcune specie. p. es. *T. resupinatum*, i di cui cotiledoni non si elevano di notte.

Trifolium subterraneum. — I lembi dei cotiledoni, il primo giorno dopo la germinazione (li 21 novembre), non erano completamente distesi, ed erano inclinati di 35° al disopra dell'orizzonte. Alla notte raggiungevano una inclinazione di circa 75°. Due giorni dopo i lembi, a mezzodì, erano orizzontali, ed i picciuoli fortemente inclinati in alto; è notevole che il movimento notturno è quasi completamente localizzato nel lembo, essendo effettuato alla sua base dal pulvino, mentre che i picciuoli conservano, di notte come di giorno, press'a poco la medesima inclinazione. Quella notte (del 23 novembre) e le poche notti susseguenti i lembi passarono dalla posizione orizzontale alla verticale, e s'inclinarono allora verso l'interno descrivendo un angolo di circa 10°, così che avevano percorso un arco di 100°. A questo punto le loro estremità quasi si toccavano, mentre le loro basi erano un poco scostate. I due lembi formavano così un tetto fortemente inclinato sopra l'asse della pianticella. Il movimento è il medesimo di quello della fogliolina terminale delle foglie tripartite di molte specie di trifolio. Dopo un intervallo di 8 giorni (il 29 novembre) i lembi erano orizzontali nella giornata e verticali di notte; ma allora non s'inclinavano più verso l'interno. Continuarono a muoversi nella stessa maniera nei due mesi che seguirono, e durante questo tempo essi avevano fortemente aumentato di grandezza; i loro picciuoli misuravano non meno di 0,8 pollici di lunghezza, e nello stesso tempo si erano formate due vere foglie.

Trifolium strictum. — Il primo giorno dopo la germinazione i cotiledoni, provveduti di un pulvino, erano orizzontali a mezzogiorno e si elevavano alla notte di circa 45° sopra l'orizzonte. Quattro giorni dopo le pianticelle furono nuovamente osservate nella notte; i lembi erano allora verticali ed in contatto, ad eccezione delle estremità che si trovavano fortemente flesse e guardanti lo zenit. In questa età i picciuoli sono curvati in alto, ed alla notte, mentre le basi dei lembi si trovano in contatto, i due picciuoli formano assieme un anello verticale circondante la plumula. I cotiledoni continuarono a comportarsi press'a poco nella stessa maniera per 8 o 10 giorni a partire dal periodo di germinazione; ma i picciuoli durante questo tempo si erano raddrizzati ed allungati. Dopo 12 o 14 giorni si formò la prima vera foglia, e nei 15 giorni che seguirono potemmo osservare a diverse riprese un notevole movimento. In I (figura 125) abbiamo uno schizzo fatto a metà della giornata da una pianticella di circa 15 giorni. I due cotiledoni (*Rc* è quello di

destra, e *Lc* quello di sinistra) sono direttamente opposti, e la prima vera foglia (*F*) si proietta perpendicolarmente sopra di essi. Di notte (vedi II e III) il cotiledone destro (*Rc*) è fortemente elevato, ma non ha punto cambiato di posizione. Il cotiledone sinistro (*Lc*) si è pure elevato, ma esso ha anche girato su se stesso, di guisa che il suo lembo, in luogo di essere di fronte a quello del cotiledone opposto, si trova ora quasi ad angolo retto con esso. Questo movimento notturno di torsione si effettua non a mezzo del pulvino, ma per la torsione del picciuolo in tutta la sua lunghezza, come si può vederlo dalle linee curve della sua faccia superiore concava. Nello stesso tempo la vera foglia (*F*) si eleva in modo da trovarsi verticale ed anche da sorpassare tale posizione ed inclinarsi alquanto verso l'interno. Essa pure gira così un poco ed in questo modo la faccia superiore del suo lembo guarda la faccia superiore del cotiledone sinistro torto, e viene quasi in contatto con essa. Quest'ultimo fatto sembrava del resto essere lo scopo, al quale tendono questi singolari movimenti. Abbiamo osservato cumulativamente, per molte notti consecutive, 20 pianticelle, ed in 19 di esse era il solo cotiledone sinistro che subiva la torsione, mentre la vera foglia era sempre torta in modo che la faccia superiore del lembo guardava quella del cotiledone sinistro, alla quale si era molto avvicinata.

Fig. 125.



Trifolium strictum: Posizione diurna e notturna dei due cotiledoni e della prima vera foglia. — I. Pianticella vista obliquamente dall'alto, durante il giorno: *Rc*, cotiledone destro; *Lc*, cotiledone sinistro; *F*, prima vera foglia. — II. Pianticella un poco più giovane, vista di notte: *Rc*, cotiledone destro elevato, ma la di cui posizione non ha del resto cambiato; *Lc*, cotiledone sinistro elevato e torto lateralmente; *F*, prima foglia elevata e torta in guisa da guardare il cotiledone sinistro. — III. La medesima pianticella vista di notte dalla parte opposta. Questa figura mostra la faccia inferiore della prima foglia *F*, in luogo della faccia superiore, vista nella fig. II.

In un solo caso si fu il cotiledone destro che si curvò, avendo la vera foglia girato dalla sua parte. Ma questa pianticella si trovava in una condizione anormale, poichè il cotiledone sinistro non si elevò convenientemente durante la notte. Il fatto che abbiamo riferito è assai notevole, poichè in nessun'altra pianta abbiamo visto nei cotiledoni altri movimenti all'infuori dei verticali. Esso è tanto più degno di attenzione, inquantochè troveremo un caso analogo nelle foglie del genere vicino *Melilotus*, nel quale le foglioline terminali girano durante la notte in modo da presentare uno dei loro bordi allo zenit, e nello stesso tempo s'inclinano da un lato di guisa che la loro faccia superiore viene in contatto con quella di una delle due foglioline laterali ora divenute verticali.

Osservazioni finali sui movimenti nictitropici dei cotiledoni. — Il sonno dei cotiledoni (benchè sia questo un soggetto poco studiato) sembra essere un fenomeno molto più comune che quello delle foglie. Abbiamo osservato la posizione diurna e notturna dei cotiledoni in 153 generi distintamente ripartiti nella serie

delle piante dicotiledoni, ma per ogni altro riguardo scelti a caso. In 26 di questi generi, una o più specie portavano di notte i loro cotiledoni in una posizione verticale, o quasi, avendo descritto un angolo di almeno 60°. Se mettiamo da parte le Leguminose, nelle quali i cotiledoni si mostrano particolarmente disposti al sonno, ci restano 140 generi, dei quali 19 hanno una o più specie a cotiledoni soggetti al sonno. Se ora prendiamo a caso 140 generi, eccettuando le Leguminose, e ne osserviamo le foglie durante la notte, non ne troveremo certamente 19 che racchiudano delle specie a foglie che dormono. Ci riferiamo qui soltanto alle piante che abbiamo osservate noi stessi.

Nella nostra lista completa delle pianticelle contiamo 30 generi appartenenti a 16 famiglie, i di cui cotiledoni, in almeno una delle loro specie, si elevano o discendono nella sera, od al cominciar della notte, sino a portarsi a 60° almeno sopra o sotto l'orizzonte. Nella grande maggioranza dei generi, ossia 24, il movimento è ascendente, di guisa che prevale la stessa direzione, in questi movimenti nictitropici, come in quelli, meno periodici, che abbiamo descritti nel secondo capitolo. I cotiledoni si dirigono in basso nella prima parte della notte, in 6 generi soltanto; in uno di questi, *Cannabis*, l'incurvatura dell'estremità in basso è probabilmente dovuta all'epinastia, come lo ammette il Kraus per le foglie. Il movimento in basso sopra una percorrenza di 90° è ben men marcato nell'*Oxalis Valdiviana* e *sensitiva*, e nel *Geranium rotundifolium*. È un fatto notevole che nella *Anoda Wrightii*, in una specie di *Gossypium*, ed in 3 specie d'*Ipomœa* almeno, i cotiledoni ancora giovani non discendono che assai poco, od anche non discendono affatto; tale movimento però si manifesta nettamente allorchè sono divenuti grandi e forti. Sebbene il movimento in basso non si possa attribuire al peso dei cotiledoni nei diversi casi che abbiamo osservati, cioè a dire nell'*Anoda*, nella *Ipomœa purpurea* e *bona-nox*, ed anche nell'*Ipomœa coccinea*, tuttavia, se ricordiamo che i cotiledoni sono in continua circumnutazione, ammetteremo che una causa leggera possa avere in principio influito sulla direzione del grande movimento notturno in alto od in basso. Noi possiamo dunque ritenere, che in qualche membro primitivo del gruppo in questione il peso dei cotiledoni abbia in principio determinato la direzione verso il basso. Il fatto che in queste specie i cotiledoni discendono poco nella loro giovane età sembrava opporsi all'opinione che il movimento più esteso che si manifesta in età maggiore sia stato acquistato per procurar loro una protezione contro la radiazione notturna; ma noi dobbiamo ricordarci che vi sono molte piante, le cui foglie dormono mentre che i cotiledoni non lo fanno; e se in certi casi le foglie sono protette di notte contro il freddo, mentre i cotiledoni non lo sono, in altri casi può essere di grande importanza per la specie che i cotiledoni quasi completamente sviluppati possano essere meglio protetti dei più giovani.

In tutte le specie di *Oxalis* che abbiamo osservate, i cotiledoni sono provve-

duti di un pulvino; ma quest'organo s'è fatto più o meno rudimentale nell'*O. Corniculata*, e l'ampiezza del movimento di ascesa notturno dei suoi cotiledoni è maggiormente variabile; non è però mai tanto considerevole da poterlo chiamare sonno.

Non abbiamo osservato se i cotiledoni di *Geranium rotundifolium* sieno provveduti di un pulvino. Nelle Leguminose, tutti i cotiledoni che dormono, per quanto abbiamo potuto vedere, sono provveduti di quest'organo. Ma, nel *Lotus Jacobæus*, questi cuscinetti non sono affatto sviluppati durante i pochi primi giorni della vita della pianticella, ed i cotiledoni non possiedono allora un movimento di ascesa notturno ben distinto.

Nel *Trifolium strictum* i lembi dei cotiledoni si elevano di notte col mezzo del loro pulvino, mentre che il picciuolo del cotiledone descrive nel medesimo tempo un mezzo giro su se stesso, indipendentemente dal pulvino.

Come regola generale, i cotiledoni provveduti di pulvino continuano ad elevarsi od a discendere di notte per un periodo più lungo di quello che non facciano quelli sprovvisti di quest'organo. In quest'ultimo caso, il movimento dipende, senza dubbio, da un accrescimento alternativamente più forte sulla faccia superiore e sulla faccia inferiore del picciuolo o del lembo, o di queste due superficie contemporaneamente, cui precede probabilmente un aumento nella turgescenza delle cellule crescenti.

Tali movimenti non persistono che di solito per un periodo assai breve — per esempio, per la *Brassica* e *Githago* 4 o 5 notti, per la *Beta* 2 o 3 notti, infine per il *Raphanus* una sola notte. Vi sono però alcune eccezioni a questa regola, poichè i cotiledoni di *Gossypium*, *Anoda* ed *Ipomœa* non possedono pulvino, e continuano però lungamente a muoversi ed a crescere.

Ritenemmo in principio che quando il movimento non durava che 2 o 3 notti, non potesse essere per la pianta che di una utilità assai limitata, e si potesse appena darsi il nome di sonno; ma siccome molte foglie a crescimento rapido non dormono che alcune poche notti, ed i cotiledoni si sviluppano presto e completano bentosto il loro accrescimento, questo dubbio non ci sembrò fondato, sopratutto perchè questi movimenti sono assai pronunciati in molti casi.

Ricorderemo qui un altro punto di somiglianza fra il sonno delle foglie e quello dei cotiledoni, e si è che alcuni di questi ultimi (quelli per es. di *Cassia* e *Githago*) sono facilmente influenzati dalla mancanza di luce. Essi allora non si chiudono, o se sono chiusi non si aprono; altri al contrario (come i cotiledoni di *Oxalis*) non sono che assai poco impressionati dalla luce. Nel capitolo seguente dimostreremo che i movimenti nictitropici, sia delle foglie sia dei cotiledoni, non sono altro che una modificazione della circumnutazione.

Nelle Leguminose ed Ossalidee le foglie ed i cotiledoni della stessa specie essendo generalmente soggetti al sonno, ci venne dapprima naturalmente l'idea,

che il movimento nictitropico dei cotiledoni non fosse in special modo che uno sviluppo anticipato di un'abitudine propria ad un'età più avanzata della vita. Una tale spiegazione non può però essere ammessa, quantunque sembri esservi qualche connessione, come si poteva attendersi, fra queste due sorta di fenomeni. Le foglie di molte piante dormono, mentre che i loro cotiledoni non lo fanno, — di questo fatto ci offre un bellissimo esempio il *Desmodium gyrans*, come pure tre specie di *Nicotiana* da noi osservate; e la stessa cosa avviene per la *Sida rhombifolia*, *Abutilon Darwini* e *Chenopodium album*. D'altra parte i cotiledoni di alcune piante dormono, e non le foglie, è ciò che accade per le specie di *Beta*, *Brassica*, *Geranium*, *Apium*, *Solanum* e *Mirabilis*, indicate nella nostra lista. Ancor più notevole è il fatto che in un medesimo genere le foglie di molte specie od anche di tutte possono dormire, mentre che questo fenomeno non si presenta nei cotiledoni che in alcune di esse; è così per i generi *Trifolium*, *Lotus*, *Gossypium*, ed in parte per l'*Oxalis*. Di più, allorchè i cotiledoni e le foglie della stessa pianta dormono contemporaneamente, i loro movimenti possono essere di natura affatto differente; così nel genere *Cassia*, i cotiledoni si elevano di notte verticalmente, mentre le foglie discendono e girano sopra se stesse, di guisa che le loro faccie inferiori guardano infuori. In alcune pianticelle d'*Oxalis Valdiviana*, avente 2 o 3 foglie ben sviluppate, era strano il vedere, alla notte, ogni fogliolina girarsi verso l'interno e discendere verticalmente, mentre nello stesso tempo e sulla medesima pianta i cotiledoni erano verticali e rivolti in alto.

Questi diversi fatti che dimostrano l'indipendenza dei movimenti notturni nelle foglie e nei cotiledoni delle stesse piante, od in piante appartenenti ai medesimi generi, ci portano a ritenere che la potenza motrice dei cotiledoni sia stata acquistata ad uno scopo speciale. Altri fatti vengono ad appoggiare questa conclusione, come la presenza dei cuscinetti che permettano al movimento dei cotiledoni di continuare per molte settimane. Nell'*Oxalis* i cotiledoni di alcune specie si muovono durante la notte verticalmente in alto, ed in altre, al contrario, in basso; ma questa grande differenza, in piante del medesimo genere, non è tanto sorprendente, come può sembrare a prima vista, se si consideri che i cotiledoni d'ogni specie sono dotati, durante la giornata, di una continua oscillazione in alto e in basso, di guisa che una causa leggera può determinare la direzione del loro movimento notturno in alto oppure in basso. Il nostro asserto può ancora appoggiarsi al movimento notturno speciale del cotiledone sinistro di *Trifolium strictum*, in connessione con quello della prima vera foglia; finalmente alla distribuzione, in tutta la serie delle dicotiledoni, dei vegetali i cui cotiledoni sono soggetti al sonno. Se prendiamo in considerazione questi diversi fatti, ci crediamo autorizzati a concludere che i movimenti nictitropici dei cotiledoni, che portano i lembi in una posizione notturna verticale o quasi verticale in alto oppure in basso, sieno stati acquistati, almeno nella maggior parte dei casi, ad uno scopo speciale. Ci è del resto impossibile di mettere in dubbio che tale scopo non sia di proteggere la superficie superiore del lembo, e forse della gemma centrale o plumula contro l'irradiazione notturna.

CAPITOLO VII.

MODIFICAZIONI NELLA CIRCUMNUTAZIONE: MOVIMENTI DI SONNO O NICTITROPICI DELLE FOGLIE.

Condizioni necessarie per questi movimenti. — Lista dei generi e delle famiglie che comprendono delle piante a foglie soggette al sonno. — Descrizione dei movimenti nei diversi generi. — *Oxalis:* accartocciamento notturno delle foglioline — *Averroha:* rapidi movimenti delle foglioline. — *Porlieria:* chiude le sue foglioline se le piante sono asciutte. — *Tropæolum:* le sue foglie non dormono che dopo una piena luce diurna. — *Lupinus:* diversi modi di sonno. — *Melilotus:* singolari movimenti della fogliolina laterale. — *Trifolium.* — *Desmodium:* il movimento delle foglioline laterali rudimentali non esiste nella giovinezza del vegetale; stato del pulvino. — *Cassia:* movimenti complessi delle sue foglioline. — *Bauhinia:* accartocciamento notturno delle foglioline. — *Mimosa pudica:* movimenti composti delle foglie, effetti dell'oscurità. — *Mimosa albida:* le sue foglioline ridotte. — *Schrankia:* movimento di discesa delle pennule. — *Marsilea:* la sola crittogama che, per quanto ci consta, è soggetta al sonno. — Osservazioni finali e riassunto. — Il nictitropismo è una modificazione della circumnutazione, regolata dall'alternarsi della luce e dell'oscurità. — Forma delle prime vere foglie.

Noi arriviamo ora ai movimenti di sonno, o nictitropici, delle foglie. È mestieri ricordarsi che abbiamo stabilito di applicare questo termine soltanto alle foglie che portano di notte il loro lembo in una posizione sia verticale, sia discosta meno di 30° dalla verticale, cioè a dire di almeno 60° al disopra o al disotto dell'orizzonte. In alcuni casi questo effetto è ottenuto dalla sola rotazione del lembo, il picciuolo non elevandosi o non abbassandosi considerevolmente. Il limite fissato (30° dalla verticale) è puramente arbitrario, e l'abbiamo scelto per le ragioni più sopra esposte, cioè perchè quando il lembo si avvicina a questo punto dalla perpendicolare, la parte della sua superficie che rimane di notte verso lo zenit, e che soffre l'irradiazione, rappresenta tutt'al più la metà di quella che subirebbe gli stessi effetti se il lembo fosse orizzontale. Tuttavia, in alcuni casi, delle foglie che parevano impedite dalla loro struttura di percorrere un arco tanto considerevole (60°), sono state però comprese fra le piante soggette al sonno.

È necessario premettere che i movimenti nictitropici delle foglie sono facilmente influenzati dalle condizioni alle quali le piante sono sottomesse. Se la terra è troppo secca, questi movimenti sono fortemente attenuati o cessano affatto; secondo lo stesso Dassen (1), se l'aria è molto secca, le foglie d'*Impatiens* e di *Malva*

(1) DASSEN, *Tijsdschrift vor. Naturlijke Gesch. en Physiologie*, 1837, vol. IV, p. 106. Vedi pure Cl. ROYER, *Sull'importanza di uno stato speciale di turgescenza delle cellule* (*Annal. Sc. Nat.*, IX, 1868, p. 345.

divengono immobili. Carlo Kraus ha pure insistito (1), ultimamente, sul modo profondo in cui sono influenzati i movimenti periodici delle foglie dalla quantità di vapore d'acqua che assorbono questi organi: questo autore crede che sia necessario riferire a questa causa sopratutto l'ampiezza variabile del movimento di discesa delle foglie di *Polygonum convolvulus*.

Se è così, questi movimenti non sarebbero, a nostro avviso, strettamente nictitropici. Le piante per dormire devono essere state sottomesse ad una temperatura conveniente.

Erythrina crista-galli, in piena aria e fissata contro un muro, sembrava ricevere un calore sufficiente; però, le foglioline non dormivano, mentre che quelle di un'altra pianta conservata nella serra erano tutte dirette, nel corso della notte, verticalmente in basso. In un giardino di erbaggi le foglioline di *Phaseolus vulgaris* non dormivano punto durante l'ultima parte della state. A. Royer, parlando, come suppongo, delle piante originarie della Francia, disse che non dormono se la temperatura è inferiore a 5° C. Per molte piante soggette al sonno, cioè per le specie di *Tropæolum*, *Lupinus*, *Ipomœa*, *Abutilon*, *Siegesbeckia*, e probabilmente per molti altri generi ancora, è indispensabile che le foglie abbiano avuto nella giornata una buona luce, se si vuole vederle prendere di notte la loro posizione verticale.

Si è probabilmente per questo motivo che delle pianticelle di *Chenopodium album* e di *Siegesbeckia orientalis*, nate a metà inverno, non dormirono punto, benchè fossero mantenute ad una temperatura conveniente. Finalmente una violenta agitazione di alcuni minuti, determinata dal vento, impedì, alle foglie di *Maranta arundinacea* che non erano state prima disturbate nella serra, di dormire durante le due notti che seguirono.

Esporremo ora le nostre osservazioni fatte sulle piante che dormono seguendo il metodo descritto nell'introduzione. Il fusto della pianta fu sempre fissato (quando non vi sieno indicazioni contrarie) presso la base della foglia sottoposta all'osservazione, in modo da impedire i movimenti di circumnutazione del fusto. Le traccie essendo state rilevate sopra un vetro verticale posto di faccia alla pianta, fu evidentemente impossibile di indicare il cammino della foglia, appena essa cominciava nella sera ad inclinarsi fortemente verso l'alto o verso il basso; è quindi necessario ritenere per inteso che le linee spezzate dei nostri diagrammi, rappresentando il cammino delle foglioline nella sera e nella notte, debbano sempre essere prolungate coll'immaginazione ad una distanza assai maggiore in alto o in basso. In fine di questo capitolo daremo le conclusioni, alle quali saremo giunti in seguito a queste osservazioni.

(1) *Beiträge zur Kentniss der Bewegungen etc.* (*Flora*, 1879, pp. 42, 43, 67, etc.).

Indichiamo, nella lista seguente, tutti i generi che, a nostra conoscenza, comprendono piante soggette al sonno. È stato seguito un ordinamento precisamente identico a quello usato nei casi precedenti, vi abbiamo pure aggiunto i numeri d'ordine delle famiglie. Questa lista presenta un certo interesse, poichè dimostra che l'abitudine del sonno è comune a diverse piante ripartite in tutta la serie delle piante vascolari; il maggior numero di generi notati in questa lista venne osservato da noi medesimi con più o meno cura. Parecchi però sono stati indicati sull'autorità di altri autori, dei quali abbiamo citati i nomi, e su questo rapporto non abbiamo altro da aggiungere. Senza dubbio questa lista è assai imperfetta, e bisognerebbe aggiungervi molte piante notate da Linneo nel suo *Somnus plantarum;* ma non potevamo giudicare in molti casi riferiti da questo ossevatore, se i lembi occupavano di notte una posizione quasi verticale. Egli cita come soggette al sonno molte piante, per es. *Lathyrus odoratus* e *Vicia faba*, nelle quali non abbiamo potuto osservare alcun movimento di sonno, e siccome nessuno può dubitare della esattezza di Linneo, abbiamo lasciato questo caso in dubbio.

Lista dei generi che comprendono specie e foglie soggette al sonno.

CLASSE I — DICOTILEDONI.

Sotto classe I. - ANGIOSPERME.

Generi	*Famiglie*
Githago.	Caryofilleæ (26).
Stellaria (Batalin).	»
Portulaca (Ch. Royer).	Portulaceæ (27).
Sida.	Malvaceæ (36).
Abutilon.	»
Malva (Linn. e Pfeffer).	»
Hibiscus (Linneo).	»
Anoda.	»
Gossypium.	»
Ayenia (Linneo).	Sterculaceæ (37).
Triumfetta (Linneo).	Tiliaceæ (38).
Linum (Batalin).	Linaceæ (39).
Oxalis.	Oxalideæ (41).
Averrhoa.	»
Porlieria.	Zygophylleæ (45).
Guiacum.	»
Impatiens (Linn., Pfeffer, Batalin).	Balsamineæ (48).
Tropæolum.	Tropæoleæ (49).
Crotolaria (Thiselton Dyer).	Leguminosæ (75).
Lupinus.	» (Tribù II).
Cytisus.	» »
Trigonella.	» (Tribù III).
Medicago.	» »

Segue CLASSE I. — DICOTILEDONI.

Sotto classe I. - ANGIOSPERME.

Generi	*Famiglie*	
Melilotus.	Legum.	(Tribù III).
Trifolium.	»	»
Securigera.	»	(Tribù IV).
Lotus.	»	»
Psoralea.	»	(Tribù V).
Amorpha (Duchartre).	»	»
Dælea.	»	»
Indigofera.	»	»
Tephrosia.	»	»
Wistaria.	»	»
Robinia.	»	»
Sphærophysa.	»	»
Colutea.	»	»
Astragalus.	»	»
Glycyrrhiza.	»	»
Coronilla.	»	(Tribù VI).
Hedysarum.	»	»
Onobrychis,	»	»
Smithia.	»	»
Arachis.	»	»
Desmodium.	»	»
Urania.	»	»
Vicia.	»	(Tribù VII).
Centrosema.	»	(Tribù VIII).
Amphicarpæa.	»	»

Segue **Lista dei generi che comprendono specie e foglie soggette al sonno.**

Segue CLASSE I. — DICOTILEDONI.

Sottoclasse I. — ANGIOSPERME.

Generi.	*Famiglie.*
Glycine.	Legumin. (Tribù VIII).
Erythrina.	» »
Apios.	» »
Phaseolus.	» »
Sophora.	» (Tribù X).
Cæsalpinia.	» (Tribù XIII).
Hæmatoxylon.	» »
Gleditschia (Duchartre).	» »
Poinciana.	» »
Cassia.	» (Tribù XIV)
Bauhinia.	» (Tribù XV).
Tamarindus.	» (Tribù XVI).
Adenanthera.	» (Tribù XX).
Prosopis.	» »
Neptunia.	» »
Mimosa.	» »
Schrankia.	» »
Acacia.	» (Tr. XXII).
Albizzia.	» (Tr. XXIII).
Melaleuca (Bouché).	Myrtaceæ (94).
Ænothera (Linneo).	Onagrarieæ (100).
Passiflora.	Passifloraceæ (105).
Siegesheckia.	Compositæ (122).

Segue CLASSE I. — DICOTILEDONI.

Sottoclasse I. — ANGIOSPERME.

Generi.	*Famiglie.*
Ipomæa.	Convolvulaceæ (151).
Nicotiana.	Solaneæ (157).
Mirabilis	Nyctagineæ (177).
Polygonum (Batalin).	Polygoneæ (179).
Amaranthus.	Amaranthaceæ (180).
Chenopodium.	Chenopodiaceæ (181).
Pimelia (Bouché).	Thymeteæ (188).
Euphorbia.	Euphorbiaceæ (202).
Phyllanthus (Pfeffer).	» »

Sottoclasse II - GINNOSPERME.

Aies (Chatin).	

CLASSE II. — MONOCOTILEDONI.

Thalia.	Cannaceæ (21).
Maranta.	»
Colocasia.	Aroideæ (30).
Strephium.	Gramineæ (55).

CLASSE III. — ACOTILEDONI.

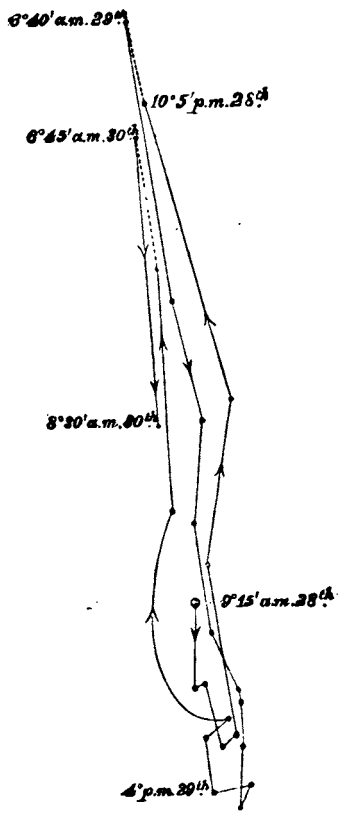
Marsilea.	Marsileaceæ (4).

Githago Segetum (Caryophylleæ). — Le prime foglie prodotte dalle nostre pianticelle si elevano e si chiudono colla notte. — Sopra una pianticella un poco più vecchia, due giovani formavano a mezzodì un angolo di 55° sopra l'orizzonte, e questo angolo si elevava, verso notte, a 86°, di guisa che ogni foglia aveva percorso 31°. L'angolo era però in certi casi minore. Ebbimo occasione di fare simili osservazioni sopra delle giovani foglie (le vecchie non hanno che un movimento assai leggero) prodotte da piante quasi completamente adulte. Batalin disse (*Flora*, 1° ottobre 1873, p. 437) che le giovani foglie di *Stellaria* si chiudono così completamente di notte, che formano insieme dei grandi bottoni.

Sida (Malvaceæ). — I movimenti nictitropici delle foglie di questo genere sono notevoli per più riguardi. Batalin c'informa (vedi pure *Flora*, 1° ottobre 1873, p. 437) che quelli di *S. napæa* discendono di notte, ma non si ricorda sotto quale angolo si operi questo movimento. D'altra parte le foglie di *S. rhombifolia* e *retusa* si elevano verticalmente premendosi contro il fusto. Abbiamo dunque qui, nello stesso genere, dei movimenti diametralmente opposti. Di più, le foglie di *S. rhombifolia* sono munite di un pulvino, formato di una massa di piccole cellule sprovvedute di clorofilla, i di cui grandi assi sono paralleli all'asse del picciuolo. Tali cellule, misurate secondo questo grande asse, non hanno che 1/5 della lunghezza di quelle del picciuolo; ma in luogo di essere nettamente separate (come è il caso per il pulvino della maggior parte delle piante), esse arrivano gradatamente alla lunghezza delle cellule ordinarie. D'altra parte la *S. napæa*, secondo

Batalin, non possiede pulvino; egli c'informa che si può trovare una gradazione, nelle diverse specie del genere, fra i due stati del picciuolo. La *Sida rhombifolia* presenta un'altra particolarità, di cui non abbiamo potuto constatare nessun altro caso nelle foglie soggette al sonno: abbiamo osservato, a molte riprese, che le foglie di ceppi giovanissimi di questa specie, benchè si elevino un poco nella sera, non dormono, mentre che i movimenti di sonno sono notevoli nelle foglie appartenenti a piante un poco più vecchie. Per es. una foglia lunga 0,85 poll., e portata sopra una pianticella assai giovane alta 2 poll., formava a mezzodì un angolo di 9° sopra l'orizzonte, ed alle 10 della sera a 28°, così che era salito di 19°; un'altra foglia, lunga 1,4 poll. e portata da una pianticella della stessa altezza, formava alle stesse ore degli angoli di 7° e 32°, essa aveva dunque percorso un arco di 25°. Queste foglie, i di cui movimenti erano così deboli, possedevano un pulvino assai poco sviluppato.

Fig. 126.



Sida rhombifolia: circumnutazione e movimenti nictitropici di una foglia presa sopra una giovane pianta alta 9 1/2 poll. Il filo è fissato sulla nervatura mediana di una foglia quasi completamente sviluppata, lunga 2 1/2 poll.' il movimento è rilevato sotto ad una invetriata. l'estremità della foglia è a 5 3/8 poll. dal vetro verticale, di guisa che il diagramma non è molto amplificato.

Dopo alcune settimane, quando queste stesse pianticelle ebbero raggiunto delle altezze di 2 1/2 e di 3 poll., alcune delle foglie prendevano una posizione notturna quasi verticale, ed altre erano assai fortemente inclinate; era la medesima cosa con piante intieramente sviluppate ed in istato di fioritura.

Rilevammo il movimento di una foglia dalle 9,15 di mattina del 28 maggio alle 8,30, pure di mattina, del giorno 30. Essendo la temperatura troppo bassa (15° a 16° C.), e la luce appena sufficiente, le foglie non s'inclinarono così fortemente, di notte, come l'avevano fatto prima, e come lo fecero più tardi sulla terra; i movimenti non si mostrarono però altrimenti turbati. Il primo giorno la foglia discese un poco fino alle 5,15 di sera, poi si elevò con rapidità e fortemente fino alle 10,5 di sera, e questo movimento non continuò che debolmente per il resto della notte (fig. 126). Il giorno successivo (29), per tempo ridiscese, descrivendo delle leggere linee a zig-zag fino alle 9 di mattina. A questo punto occupava press'a poco il medesimo posto che al mattino precedente. Nel resto della giornata essa discese leggermente, descrivendo delle deboli linee a zig-zag laterali. La sera, il movimento di ascesa cominciò dopo le 4 come prima, ed al mattino successivo discese ancora rapidamente. Le linee ascendenti e discendenti non coincidono, come si può vedere dal diagramma. Il giorno 30 facemmo una nuova traccia (che non diamo qui) sopra una scala alquanto maggiore, l'estremità della foglia era allora a 9 poll. dal vetro verticale. Per poter osservare con maggior cura il cammino seguito al momento in cui la discesa diurna

si trasforma in elevazione notturna, marcammo dei punti ogni mezz'ora, dalle 4 fino alle 10,30 di sera. Tale precauzione rese il movimento laterale a zig-zag più appariscente che nella nostra figura già data, ma la natura di questo movimento rimane sempre la medesima. L' impressione che lasciarono in noi tali esperienze fu che la foglia spendeva una quantità superflua di movimento, affinchè la grande elevazione notturna non si producesse in un'ora troppo precoce.

Abutilon Darwini (Malvaceæ). — In piante assai giovani le foglie erano quasi orizzontali di giorno e verticali alla notte. Dei soggetti piccolissimi, conservati in una grande sala, rischiarata soltanto dall'alto, non dormivano di notte; è necessario, perchè il movimento si produca, che le foglie abbiano goduto una buona luce nel corso della giornata. I cotiledoni non dormono. Linneo disse che le foglie di *Sida abutilon* discendono perpendicolarmente all'incominciar della notte, mentre che i loro picciuoli si elevano. Il prof. Pfeffer c'informa che le foglie d'una Malva, vicina alla *M. sylvestris*, si elevano fortemente di notte, e questo genere, come pure il genere *Hibiscus*, è compreso da Linneo nella sua lista delle piante che dormono.

Anoda Wrighti (Malvaceæ). — Le foglie delle piante giovanissime, appena sono pervenute ad una moderata grandezza, discendono di notte sia quasi verticalmente sia fino ad un angolo di 45° sotto all'orizzonte. Vi sono infatti delle considerevoli variazioni nell'intensità della loro discesa notturna, ed esse dipendono in parte dal grado di luce che le foglie hanno ricevuto nella giornata. Ma quelle ancora affatto giovani, cosa del tutto insolita, non discendono durante la notte. La sommità del picciuolo, al punto ove tocca il lembo, si sviluppa in un pulvino, che esiste già nelle giovani foglie che non dormono, ma che non è così bene sviluppato come nelle foglie più vecchie.

Gossypium (var. Cotone Nankin) (Malvaceæ). — Alcune giovani foglie lunghe 1 a 2 poll., portate da due pianticelle alte da 6 a 7 1/2 pollici, erano orizzontali o poco elevate sull'orizzonte i giorni 8 e 9 giugno a mezzodì; ma alle 10 di sera esse erano discese fino a 68° e 90° sotto all'orizzonte. Allorchè le stesse piante ebbero raggiunto un'altezza doppia, le loro foglie erano dirette di notte verticalmente, o quasi, in basso. Le foglie di alcuni grandi ceppi di *G. maritimum* e *Braziliense*, conservate in una serra assai rischiarata, non discendevano fortemente di notte che per caso, e appena si poteva dire che dormivano.

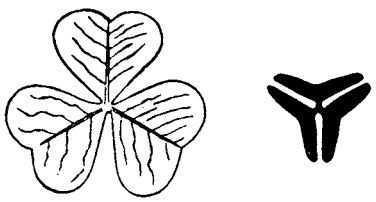
Oxalis (Ossalidaceæ). — Nella maggior parte delle specie di questo genere, le tre foglioline si dirigono durante la notte verticalmente in basso; ma essendo i loro picciuoli assai brevi, i lembi, per mancanza di posto, non potrebbero prendere la loro posizione notturna, se non si rendessero più stretti in maniera qualunque, ciò che raggiungono col pieghettarsi più o meno (fig. 127). L'angolo formato dalle due metà della stessa fogliolina si trovò variare, in diversi individui delle differenti specie, fra 92° e 150°; in tre delle foglie più piegate d'*O. fragrans* era di 76°, 74° e 54°. L'angolo differisce spesso molto per le tre foglioline della stessa foglia. Le foglioline discendendo e pieghettandosi di notte avvicinavano le loro faccie inferiori (ved. B) od anche le portavano in contatto; da questa circostanza si può concludere che lo scopo delle pieghe era la protezione della loro faccia inferiore. Se la cosa è così, ciò formerebbe un'eccezione considerevole alla regola che richiede che quando vi è qualche differenza nel grado di protezione delle due faccie contro l'irradiazione, è sempre la faccia superiore quella che è meglio protetta. Che per altro il piegarsi delle foglioline ed il mutuo avvicinamento delle loro faccie inferiori, che ne è la conseguenza, non abbia altro scopo che di permettere loro di discendere verticalmente, prova il fatto che quando le foglioline non escono a modo di raggi dalla sommità di un picciuolo comune od anche quando vi è uno spazio sufficiente, in causa di un minore raccorciamento dei picciuoletti, le foglioline

discendono senza piegarsi. Ciò accade per le foglioline di *O. sensitiva*, *Plumieri et bupleurifolia*.

Non è necessario di dare una lunga lista di numerose specie che dormono nel modo che abbiamo descritto. Sonno di questa natura si presenta nelle specie a foglioline abbastanza carnose, come *O. carnosa*, od in quelle che possedono delle larghe foglie, come *O. ortogenii*, od infine in quelle che hanno delle foglie composte di quattro foglioline, come *O. variabilis*. Vi sono però delle specie che non mostrano alcun segno di sonno, come *O. pentaphylla*, *enneaphylla*, *hirta* e *rubella*. Descriveremo la natura dei movimenti proprii ad alcune specie.

Oxalis acetosella. — Il diagramma seguente (fig. 128) mostra il movimento di una fogliolina e del picciuolo tutto intiero, rilevato dalle 11 del mattino del 4 ottobre alle 7,45, pure del mattino, del giorno 5. Il 4, dopo le 5,30 di sera, la fogliolina discese rapidamente ed era verticale alle 7 di sera. Qualche tempo prima di prendere quest'ultima posizione i movimenti non potevano naturalmente essere più oltre seguiti sul vetro verticale; bisogna dunque immaginare prolungata assai di più la linea punteggiata indicata nel diagramma. Alle 6,45 del mattino successivo la foglia si era elevata considerevolmente e continuò così durante l'ora che seguì. A giudicare però da altre osservazioni, essa avrebbe presto incominciato a ridiscendere. Dalle 11 del mattino alle 5,30 di sera, la fogliolina si mosse almeno quattro volte in alto ed altrettante in basso, prima che cominciasse il grande movimento notturno di discesa. Essa raggiunse a mezzodì il punto più elevato della sua percorrenza. Delle osservazioni simili su due altre foglioline condussero quasi ai medesimi risultati. Sachs e Pfeffer (1) hanno pure brevemente descritto i movimenti autonomi delle foglie di questa pianta.

Fig. 127.



Oxalis acetosella: A, foglia vista verticalmente dall'alto; B, diagramma di una foglia che dorme, vista pure verticalmente dall'alto.

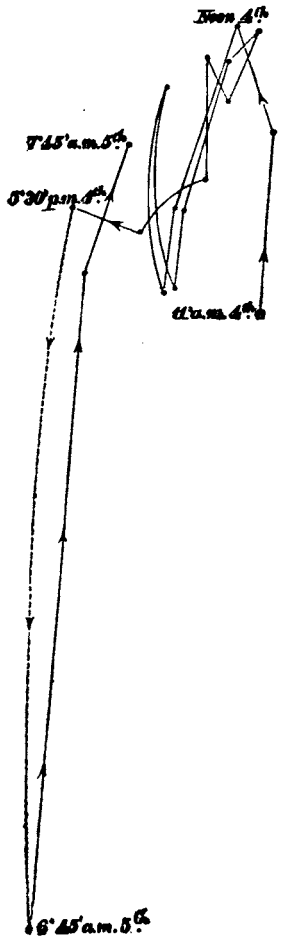
In un altro caso fissammo il picciuolo di una foglia ad un bastone in prossimità delle foglioline, e legammo alla nervatura mediana di una di esse un filo di vetro terminato da una goccia di cera e provveduto di un punto di riscontro. Alle 7 di sera, al momento in cui le foglioline dormivano, il filo pendeva verticalmente in basso, e tracciammo allora i movimenti della goccia di cera fino alle 10,40 di sera, come lo mostra il diagramma seguente (fig. 129). Vediamo qui che la fogliolina, mentre cadeva nel sonno, era agitata da un leggero movimento da destra a sinistra e dall'alto al basso.

Oxalis valdiviana. — Le foglie somigliano a quelle della specie precedente. Rilevammo per due giorni i movimenti di due foglioline, di cui erano stati fermati i picciuoli principali. Non diamo qui queste traccie, poichè somigliano a quelle d'*O. acetosella*, fatta però astrazione dalle oscillazioni verticali che non erano egualmente frequenti nel corso della giornata, e che il movimento laterale era un poco più forte, di guisa che le ellissi prescritte erano più larghe. Le foglie si aprono al mattino per tempo, poichè alle 6,45 del mattino del 12 giugno, ed il giorno 13 avevano non soltanto la loro piena altezza, ma avevano pure ormai incominciato a discedere; in una parola, circumnutavano. Abbiamo visto nel capitolo precedente che i cotiledoni, in luogo di discendere, salgono verticalmente durante la notte.

(1) SACHS, *Flora*, 1863, p. 470 ecc.; PFEFFER, *Die Period. Bewegungen*, 1875, p. 53.

Oxalis ortegesi. — Le larghe foglie di questa pianta dormono come quelle della specie precedente. I picciuoli sono lunghi, e quello di una giovane foglia si elevava di 20°, da mezzodì alle 10 di sera, mentre che quello di un foglia più vecchia non si elevava che di 13° nello stesso tempo. In grazia a questo movimento dei picciuoli ed alla discesa verticale delle larghe foglioline, le foglie si aggruppano e la pianta intera espone all'irradiazione una superficie assai più debole che nel corso della giornata.

Fig. 128.



Oxalis acetosella: circumnutazione e movimenti nictitropici di una foglia quasi completamente sviluppata; il filo è attaccato sulla nervatura mediana di una delle foglioline. Rilevato sopra un vetro verticale durante 20 ore e 45 minuti.

Oxalis plumieri. — In questa specie, le tre foglioline non circondano l'estremità del picciuolo, ma la fogliolina terminale protende sul suo prolungamento ed è provveduta, da ogni parte, di una fogliolina laterale. Tutte tre dormono inclinandosi verticalmente in basso, ma senza piegarsi. Il picciuolo è abbastanza lungo. Dopo di aver obbligato uno di essi ad un bastone, rilevammo per 48 ore, sopra un vetro disposto verticalmente, il movimento della fogliolina terminale. Esso era assai semplice; la foglio lina discendeva con prontezza dopo le 5 della sera, ed il giorno successivo per tempo si elevava pure rapidamente. A metà della giornata era agitata da un movimento laterale debole e lento. Per conseguenza le linee ascendenti e discendenti non coincidevano, ed ogni giorno veniva generata una sola grande ellisse. Non vi era altra traccia di circumnutazione, fatto che, come vedremo più avanti, è interessante.

Oxalis sensitiva. — Come nella specie precedente, le foglioline s'inclinano verticalmente in basso senza piegarsi. Il picciuolo, assai allungato, s'eleva molto nel corso della sera, ma in alcune giovani piante questo movimento non cominciava che ad un'ora avanzata della notte. Abbiamo visto che i cotiledoni, in luogo di discendere come le foglioline, si elevano di notte verticalmente.

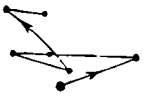
Oxalis bupleurifolia. — Questa specie è notevole per i suoi picciuoli fogliacei, come i fillodii di molte acacie. Le foglioline sono piccole, di un verde più pallido e di una consistenza più debole dei picciuoli fogliacei. La fogliolina che osservammo misurando 0,55 poll. di lunghezza, era portata da un picciuolo lungo 2 poll. e largo 0,3 poll.

Si può ritenere che le foglioline sieno in via di abortire, come avvenne in un'altra specie brasiliana, *O. rusciformis.* Tuttavia, nella specie in discorso i movimenti nictitropici si compiono perfettamente.

Il picciuolo fogliaceo fu osservato dapprima per 48 ore, e lo si trovò in circum nutazione continua, come lo mostra la fig. 130. Si alzava nella giornata e durante la prima parte della notte, per discendere nel resto della notte ed al cominciar della mattina; ma questo movimento non era abbastanza pronunciato per prendere il

nome di sonno. Le linee di ascesa e di discesa non coincidevano, di guisa che era generata una ellisse ogni giorno. Non vi era che un debole movimento a zig-zag. Se il filo fosse stato fissato longitudinalmente, avremmo visto con ogni probabilità che il movimento laterale è più forte di quello che lo indica il diagramma.

Fig. 129.



Oxalis acetosella: circumnutazione e movimento nictitropico di una fogliolina; rilevata sopra un vetro verticale durante 20 ore e 40 m.

Osservammo in seguito una fogliolina terminale sopra un'altra foglia, il cui picciuolo era stato fissato, e ne diamo i movimenti nella figura 131. Nel corso della giornata le foglioline sono distese orizzontalmente, e di notte pendono verticali. Siccome il picciuolo si eleva nel corso della giornata, le foglioline per poter prendere la loro posizione notturna verticale devono alla sera inclinarsi verso il basso descrivendo un arco superiore a 90°. Al primo giorno, la fogliolina si muoveva semplicemente secondo la verticale; al secondo, circumnutava pienamente dalle 8 del mattino alle 4,30 di sera. A questo punto cominciava la grande discesa notturna.

Fig. 130.

Oxalis bupleurifolia: circumnutazione di un picciuolo fogliaceo. Il filo è fissato obliquamente sull'estremità del picciuolo. Movimenti rilevati sopra un vetro verticale dalle 9 del mattino del 26 giugno alle 8,50 del mattino del 28, l'estremità della fogliolina è a 4 1/2 poll. dal vetro, di guisa che il movimento non è molto amplificato. Pianta alta 9 poll. rischiarata dall'alto. Temperatura 23° 1/2 — 24° 1/2 C.

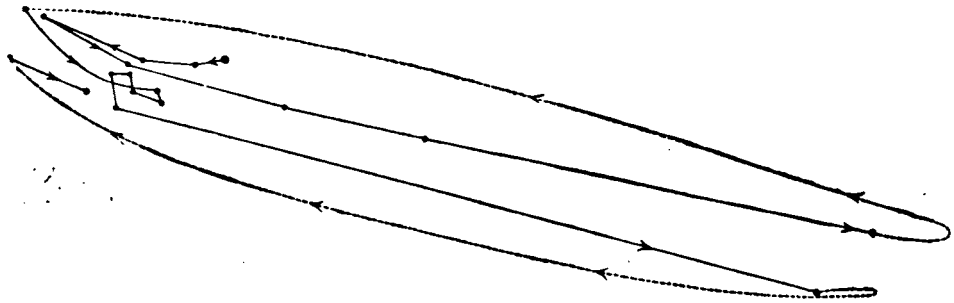
Averrhoa bilimbi (Ossalideæ). — Si sa da lungo tempo (1) che le foglioline di questo genere dormono, che inoltre si muovono spontaneamente di giorno, e che infine sono sensibili al contatto. Però da nessuno di questi punti di vista si distinguono essenzialmente dalle specie di *Oxalis*. Differiscono tuttavia, come R. J. Lynch (2) dimostrò, per l'ampiezza dei loro movimenti spontanei. Nell'*A. bilimbi* è maraviglioso di vedere in un giorno caldo e luminoso le foglioline cadere rapidamente l'una dopo l'altra per risalire di nuovo con lentezza. Tali movimenti uguagliano quelli del *Desmodium gyrans*. Verso notte le foglioline pendono in basso; esse sono allora immobili, ciò che è forse dovuto al fatto che le paia opposte sono compresse l'una contro l'altra. Il picciuolo principale durante la giornata è in movimento costante, ma non abbiamo fatto sopra quest'organo osservazioni accurate.

I diagrammi seguenti sono delle rappresentazioni grafiche delle variazioni dell'angolo che una data fogliolina forma colla verticale. Le osservazioni furono fatte nel modo seguente. La pianta, che cresceva in un vaso, era tenuta ad un'alta temperatura, ed il picciuolo della foglia da osservare era rivolto verso l'osservatore, dal quale era separato da un vetro verticale. Il picciuolo era fissato in modo che l'articolazione basilare, o pulvino, di una delle foglioline laterali venne collocata al centro di un arco graduato posto immediatamente dietro alla fogliolina. Un sottile filo di vetro era fissato sulla foglia in modo da proiettarsi come una continuazione della nervatura mediana. Questo filo faceva l'ufficio di indice, ed allorchè la foglia saliva o discendeva, girando

(1) Dr. Bruce, *Philosoph. Trans.*, 1875, p. 356.
(2) *Journ. Linn. Soc*, vol. XVI, 1877, p. 231.

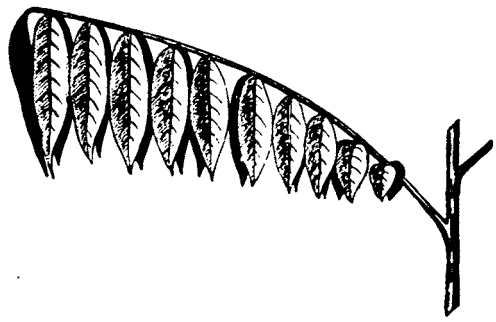
intorno al suo pulvino, il suo movimento angolare poteva essere desunto leggendo a brevi intervalli la posizione del filo di vetro sopra l'arco graduato. Allo scopo di evitare gli errori di parallasse, si fecero tutte le letture attraverso ad un

Fig. 131.



Oxalis bupleurifolia : circumnutazione e movimento nictitropico della fogliolina terminale, provveduta di un filo fissato sulla nervatura mediana. Rilevati sopra un vetro verticale dalle 9 del mattino del 26 giugno alle 8,45 ant. del 28. Condizioni identiche a quelle del caso precedente.

Fig. 132.

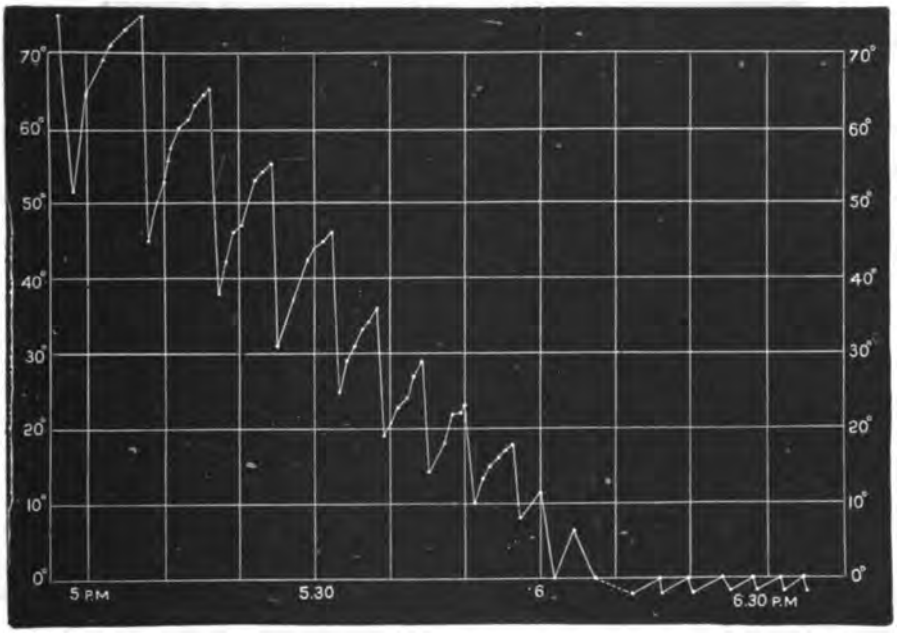


Averrhoa bilimbi: foglia durante il sonno, fig. ridotta.

piccolo disco tracciato sul vetro verticale, in linea retta col pulvino della fogliolina e col centro dell'arco graduato. Nei diagrammi che seguono, le ordinate rappresentano gli angoli formati dalla fogliolina colla verticale a dei momenti successivi (1). Ne segue che una discesa della curva rappresenta una discesa effettiva della foglia, e che la linea dello zero indica una posizione verticale pendente. La fig. 133 rappresenta il movimento che si produce nella sera, dopo che le foglioline hanno incominciato a prendere la loro posizione notturna. Alle 4,55 di sera la fogliolina formava con la verticale un angolo di 85°; essa non era dunque che di 5° al disopra dell'orizzonte. Ma, allo scopo di poter mantenere il diagramma nei limiti del nostro formato, abbiamo dovuto rappresentare la foglia come formante a questo punto un angolo di 75° in luogo di 85°. Poco dopo le 6 ore pom. essa pendeva verticalmente in basso ed aveva raggiunto la sua posizione notturna. Fra le 6,10 e le 6,35 di sera descrisse un certo numero di piccole oscillazioni di circa 2° ciascuna per dei periodi di 4 a 5 minuti. Lo stato di riposo che seguì non è indicato nel nostro diagramma. È manifesto che ogni oscillazione è formata da una graduale elevazione, seguìta da una caduta repentina. Ad ogni caduta della fogliolina, questa si avvicina un po' più alla sua posizione notturna. L'ampiezza delle oscillazioni diminuiva, mentre i periodi dell'oscillazione si facevano più brevi.

(1) In tutti i diagrammi, 1 mm., nella direzione orizzontale rappresenta un minuto di tempo. Ogni mm. nella posizione verticale rappresenta un grado di movimento angolare. Nelle figure 133 e 134 la temperatura è rappresentata (secondo le ordinate) in scala di 1 mm. per ogni 0°1 C. Nella fig. 135, ogni millimetro equivale a 0,2 F.

Fig. 133.



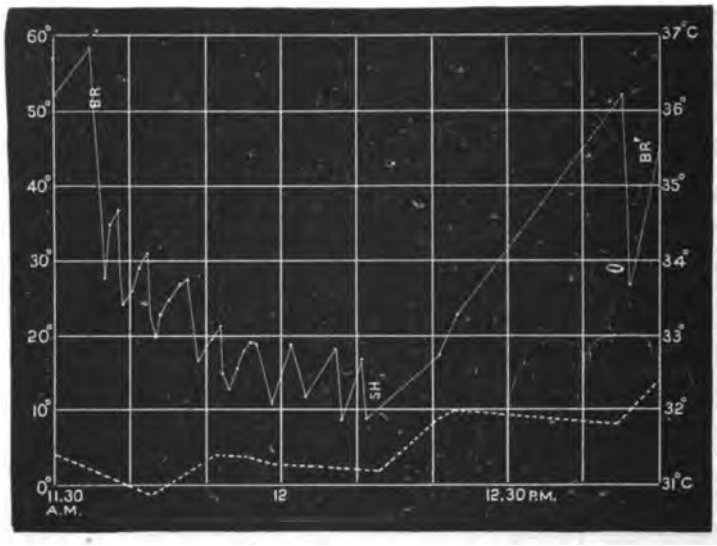
Averrhoa bilimbi: movimenti angolari di una fogliolina durante la sua discesa della sera, quando prende la sua posizione di sonno.

Una luce solare brillante fa prendere alle foglie una posizione fortemente inclinata in basso. Osservammo una fogliolina che, nella luce diffusa, si elevò per 25 m. Fu allontanata una tenda, di guisa che la pianta si trovò bene rischiarata (BR, fig. 134) ed in capo ad un minuto la fogliolina cominciò a discendere e cadde finalmente a 47°, come lo indica il diagramma. Tale discesa si effettuò col mezzo di sette oscillazioni precisamente simili a quelle che portano la discesa notturna. La pianta fu di nuovo protetta contro la luce (SH), e cominciò un lungo movimento di elevazione, fino a che si produsse un'altra serie di oscillazioni (BR′) quando fu nuovamente ammessa la luce. In questa esperienza, potendo l'aria fredda penetrare per la finestra aperta, allorchè le tende erano allontanate, ne risultò che la temperatura non era aumentata nemmeno quando il sole rischiarava la pianta.

L'effetto di un aumento di temperatura nella luce diffusa è indicato dalla fig. 135. La temperatura cominciò ad elevarsi alle 11,35 del mattino (il fuoco era stato appena acceso); ma alle 12,42 pom. si era prodotto un movimento di discesa ben marcato.

Si può vedere dal diagramma, che quando la temperatura era al suo massimo, si producevano delle rapide oscillazioni di debole ampiezza, la posizione media della fogliolina si avvicinava allora alla verticale. Quando la temperatura cominciava a discendere, le oscillazioni si facevano più ampie e più lente nello stesso tempo che la posizione media della fogliolina si avvicinava all'orizzonte. La celerità delle oscillazioni era forse un poco più grande di quella indicata dal diagramma. Così quando la temperatura oscillava fra 31° e 32° C., si producevano in 19 minuti 14 oscillazioni di alcuni pochi gradi. D'altra parte l'oscillazione può essere molto più lenta; così osservammo una fogliolina (temp. 25° C.) che si elevò per 40 m. prima di ridiscendere e di completare la sua oscillazione.

Fig 131

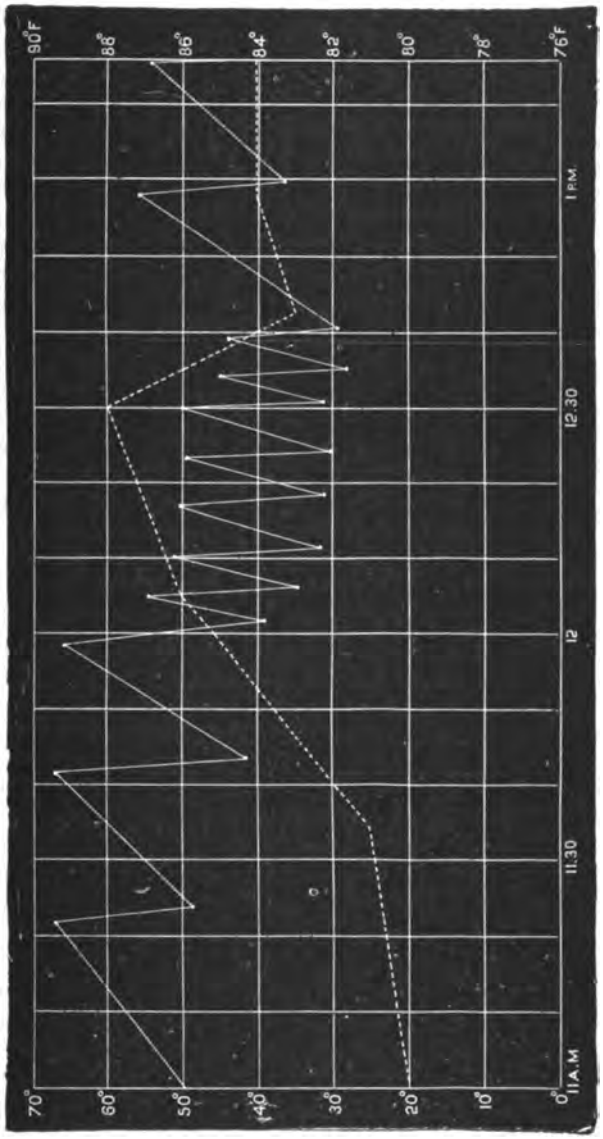


Averrhoa bilimbi: movimenti angolari di una fogliolina durante il passaggio da una brillante illuminazione alla luce diffusa debole. La temperatura, rappresentata dalla linea spezzata, rimane circa la stessa.

Porlieria hygrometrica (Zygophylleæ). — Le foglie di questa pianta (forma del Chilì) hanno una lunghezza di 1 a 1 1/2 poll. e portano da ogni parte del picciuolo comune fino a 16 o 17 piccole foglioline non perfettamente opposte. Esse sono articolate sul picciuolo, e questo lo è sul ramo col mezzo di un pulvino. Dobbiamo notare, che due forme sono state probabilmente confuse sotto lo stesso nome: in un arbusto del Chilì, che ricevemmo da Kew, le foglie portavano numerose foglioline; mentre quelle delle piante del Giardino botanico di Würzburg non ne portavano che 7 ad 8 paia; inoltre l'arbusto mostrava qualche differenza nel complesso dei suoi caratteri. Noi vedremo ancora che le due piante differiscono per una notevole particolarità fisiologica.

Nella pianta del Chilì i picciuoli delle foglie più giovani portati dai rami verticali erano orizzontali nel corso della giornata e discendevano verticalmente di notte fino a divenire paralleli, ed a toccare la parte inferiore del ramo. I picciuoli nelle foglie un poco più vecchie non giungevano di notte fino alla verticale ma si inclinavano fortemente. In un caso trovammo un ramo che era cresciuto perpendicolarmente in basso; i picciuoli ch'esso portava erano dotati, relativamente al ramo, di un movimento identico a quello che abbiamo descritto, e per conseguenza si dirigevano in alto. Sui rami orizzontali, i picciuoli più giovani sono pure in preda al medesimo movimento notturno che li attira verso il ramo, e per conseguenza diventano orizzontali; è però da notare che i picciuoli più vecchi sui medesimi rami, quantunque si muovano alquanto nella stessa direzione, s'inclinano in basso, e prendono in questa guisa, relativamente al centro della terra ed al ramo, una posizione qualche poco differente da quelle che prendono i picciuoli dei rami diretti verso l'alto. Le foglioline si muovono di notte verso l'estremità del picciuolo, fino a che le loro nervature mediane si trovano quasi parallele con questo sostegno; esse sono così collocate l'una sull'altra a modo di embrici. In questa guisa la metà della faccia superiore di ogni fogliolina è in intimo contatto colla metà della faccia inferiore

Fig. 135.



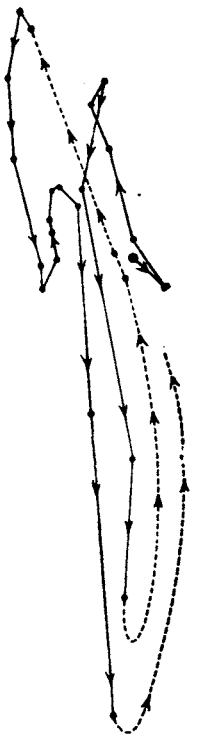
Averrhoa bilimbi: movimenti angolari di una fogliolina durante un cambiamento di temperatura.
La linea punteggiata indica questa temperatura.

della prossima fogliolina che la precede, ed in tutte le foglioline, eccettuata la basale, l'intera faccia superiore e la metà delle inferiori sono convenientemente protette. Le foglioline poste sulle due parti del medesimo picciuolo non arrivano di notte in intimo contatto, come lo fanno quelle di molte Leguminose, ma sono separate da un solco aperto, e non possono del resto coincidere esattamente poichè sono alternanti.

Abbiamo osservato per 36 ore la circumnutazione del picciuolo di una foglia lunga 3/4 di poll. (vedi fig. 136). Nella prima mattina la foglia discese un poco, poi salì fino ad un'ora di sera, ciò che era probabilmente dovuto al fatto che a questo momento era rischiarata dall'alto attraverso ad una invetriata. Circumnutò

allora intorno al medesimo punto e sopra uno spazio assai piccolo fino alle 4 di sera, momento in cui cominciò il grande movimento notturno di discesa. Nell'ultima parte della notte e di mattina assai per tempo, la foglia si elevò di nuovo. Al secondo giorno discese nel corso della mattina fino ad un'ora di sera, ciò che costituisce senza dubbio il suo movimento normale. Da 1 ora alle 4 di sera si elevò seguendo una linea a zig-zag, e poco dopo cominciò il suo grande movimento notturno di discesa. La foglia completò così in 24 ore una doppia oscillazione.

Fig. 136.



Porlieria hygrometrica: circumnutazione e movimenti nictitropici del picciuolo di una foglia, rilevati dalle 9,35 del 7 luglio alla mezzanotte circa del giorno 8. L'estremità della foglia è a 7 1/2 poll. dal vetro verticale Temp. 19°5-20°5 C.

Il nome specifico dato a questa pianta da Ruiz e Pavon indica, che nel suolo arido della sua patria essa risente qualche influenza dello stato igrometrico dell'atmosfera (1). Al Giardino botanico di Würzburg si aveva collocato in piena aria una pianta in vaso, che veniva inaffiata ogni giorno, ed un'altra in mezzo alla terra, che non si inaffiava mai. Dopo un tempo caldo e umido trovavasi una grande differenza nello stato delle foglioline di queste due piante; quelle dell'esemplare non inaffiato rimanevano a metà chiuse, od anche del tutto, nella giornata. Ma dei rami tagliati su questo arbusto aprivano le loro foglie anche se esposti ad una splendida luce solare, quando le loro estremità erano immerse nell'acqua, o se vi erano immersi totalmente, od anche quando si stavano sotto ad una campana nell'aria umida; mentre le foglie della pianta che trovavasi in terra rimanevano chiuse. Dopo un'abbondante pioggia esse rimanevano aperte per due giorni, e si chiudevano a metà nei due giorni successivi, e dopo un altro giorno erano chiuse del tutto. La pianta venne allora inaffiata abbondantemente, ed al mattino successivo le foglie erano perfettamente aperte. L'altra parte che cresceva in un vaso, dopo di essere stata esposta ad una forte pioggia, fu posta davanti ad una finestra nel laboratorio; essa aveva le sue foglioline aperte, e rimase in questo stato per 48 ore, ma dopo un altro giorno, le foglie erano semichiuse. La pianta fu allora inaffiata e nei due giorni che seguirono le foglioline rimasero aperte. Al terzo giorno erano ancora semichiuse, ma dopo un altro inaffiamento si aprirono per due giorni. Da questi diversi fatti possiamo concludere, che la pianta soffre rapidamente per la mancanza d'acqua, e che quando si trova in queste condizioni sfavorevoli chiude a metà o affatto le sue foglioline, per non esporre all'evaporazione che una debole superficie. È dunque probabile, che questi movimenti, simili a quelli del sonno, e che si producono soltanto quando la terra è secca, costituiscano un adattamento contro la dispersione dell'umidità.

Un arbusto alto circa 4 piedi, proveniente dal Chilì, e intieramente coperto di foglie, si comportava in modo assai diverso, poichè le sue foglioline non si chiude-

(1) *Systema Veg. Floræ Peruv. et Chil.*, tom. I, pag. 95, 1798. Non possiamo comprendere la descrizione che danno gli autori sul modo di comportarsi di questa pianta nel suo paese natale. Essi si estendono molto sul suo potere di predire i cambiamenti del tempo. Sembrerebbe che la chiarezza del sole esercitasse una grande influenza sull'apertura e chiusura delle foglioline.

vano mai nel corso della giornata. Al 6 luglio la terra del vaso dove vegetava appariva affatto asciutta, e le demmo dell'acqua. Dopo 21 e 22 giorni (il 27 e il 28), durante i quali la pianta non aveva ricevuto nemmeno una goccia d'acqua, le foglie cominciarono ad appassire, ma senza dare nella giornata alcun segnale di chiusura. Ci sembrava cosa quasi incredibile, che una pianta non carnosa potesse vivere in una terra così secca che somigliava alla fuliggine. Il giorno 29 scuotendo l'arbusto vedemmo cadere alcune foglie, quelle che restavano non potevano più chiudersi durante la notte. La pianta fu allora moderatamente inaffiata ed aspersa ad un'ora abbastanza avanzata della sera. Al mattino successivo (del 30) l'arbusto appariva in buonissime condizioni e mai, verso notte, le foglie presero la loro posizione di sonno. Possiamo aggiungere, che un piccolo ramo mentre cresceva ancora sull'arbusto fu chiuso durante tredici giorni col mezzo di un inviluppo di vescica in una larga bottiglia riempiuta a metà di calce viva che manteneva l'atmosfera in uno stato di completa siccità. Malgrado ciò, le foglie di questo ramo non soffrirono affatto e non si chiusero punto nei giorni più caldi. Sullo stesso arbusto venne fatta un'altra esperienza nei giorni 2 e 6 agosto (nell'epoca corrispondente a quest'ultima data il suolo appariva assai secco); esso venne esposto in piena aria ed al vento per tutta la giornata, ma le foglioline non diedero alcun segnale di chiusura. La forma del Chilì differisce dunque nettamente da quella di Würzburg e perchè non chiude le sue foglioline per la mancanza d'acqua, e perchè può vivere senza una goccia di acqua per uno spazio di tempo di una lunghezza sorprendente.

Tropæolum majus (?) (var. coltivata) (Tropæoleæ). — Molte piante si trovavano in vasi collocati nella serra; i lembi fogliari, che guardavano la luce, erano fortemente eretti nel corso della giornata, e si trovavano verticali di notte, mentre le foglie poste sul lato posteriore dei vasi, quantunque rischiarate dall'alto, non si facevano verticali nella notte. Credemmo in principio che tale differenza nella loro posizione dipendesse in qualche modo dall'eliotropismo, poichè le foglie sono fortemente eliotropiche. La vera causa di tale particolarità è, che se non sono fortemente rischiarate almeno per una parte del giorno, non prendono di notte la loro posizione di sonno, ed una debole differenza nella luce basta per decidere se esse saranno verticali o no nell'oscurità. Non abbiamo osservato nessun caso tanto rimarchevole quanto questo dell'influenza dell'illuminazione precedente sui movimenti nictitropici. Le foglie presentano ancora un'altra particolarità nella loro abitudine di elevarsi nella mattina, la quale è meglio fissata dall'eredità di quella di discendere o di dormire di notte. I movimenti sono causati dall'incurvatura di una porzione superiore del picciuolo della lunghezza da 1/2 a 1 pollice, ma la parte contigua al lembo sopra una lunghezza di circa 1/4 di pollice non s'incurva e rimane sempre perpendicolare al lembo. La porzione incurvata non presenta col resto del picciuolo nessuna differenza di struttura, nè esterna, nè interna. Daremo ora le esperienze sulle quali si appoggiano queste conclusioni.

Un gran vaso, contenente parecchie piante, fu collocato la mattina del 3 settembre fuori della serra davanti ad una finestra al N.-E., nella stessa posizione, per quanto possibile, che aveva occupata rispetto alla luce fino allora. Furono marcate con un filo ventiquattro foglie sulla parte delle piante che guardavano la finestra: alcune avevano i loro lembi orizzontali, il maggior numero era inclinato di circa 45° sotto all'orizzonte. Verso notte, tutte senza eccezione divennero verticali. Al mattino successivo (il 4) per tempo ripresero le loro posizioni precedenti ed alla notte ritornarono verticali. Li 5 furono aperte le imposte alle 6,15 della mattina ed alle 8,18 dopo 2 ore e 3 m. di luce e dopo di aver presa la loro posizione diurna furono collocate in un armadio scuro. Le osservammo due volte nella giornata e tre nella sera, l'ultima volta alle 10,30 di sera e nessuna aveva preso la posizione

verticale. Alle 8 del mattino successivo (del 6) conservavano ancora la stessa posizione diurna; e si posero allora davanti alla medesima finestra a N.-E. La notte tutte le foglie che erano rivolte verso la luce presentavano il loro picciuoli incurvati ed i loro lembi verticali, mentre le foglie al lato posteriore della pianta non presero la posizione verticale, quantunque fossero state moderatamente rischiarate dalla luce diffusa. Si posero allora le piante durante la notte nel medesimo armadio oscuro; alle 9 del mattino del giorno dopo (del 7) tutte quelle che avevano dormito avevano ripreso la loro posizione diurna. Il vaso fu poscia esposto per 3 ore al sole per stimolare le piante; a mezzodì fu riposto davanti alla stessa finestra al N -E., ed alla notte le foglie dormirono come al solito per aprirsi al mattino successivo. Quel giorno (dell'8) a mezzodì le piante, dopo di essere rimaste per 5 ore e 45 m. davanti alla medesima finestra ed essere state così illuminate (sebbene non fortemente, poichè il cielo rimase coperto per tutto questo tempo) furono riposte nell'armadio, ed alle 3 di sera la posizione delle foglie era assai poco cambiata, se pure lo era in qualche grado; esse non sono dunque rapidamente influenzate dall'oscurità; ma alle 10,15 di sera tutte le foglie che avevano guardato a N.-E. durante l'esposizione che aveva durato 5 ore e 45 m. rimanevano verticali, mentre che le altre del lato posteriore della pianta conservavano la loro posizione diurna. Al mattino successivo (del 9) esse si apersero nell'oscurità come le due altre volte, e le lasciammo così per tutta la giornata prive di luce; la notte alcune si fecero verticali, e questo fu il solo caso che potemmo osservare di una tendenza o di un'abitudine ereditaria della pianta a dormire al momento conveniente. Ciò che dimostra che si trattava di un vero sonno, si è che queste stesse foglie ripresero la loro posizione diurna al mattino successivo (il 10) mentre erano ancora tenute nell'oscurità.

Il vaso fu allora (alle 9,45 del mattino del 10) riposto davanti alla finestra a N.-E. dopo di essere rimasto 36 ore nell'oscurità. La notte i lembi di tutte le foglie, ad eccezione di alcune del lato posteriore delle piante, si trovavano verticali.

Alle 6,45 del mattino dell'11, dopo che le piante erano state rischiarate dalla stessa parte per 25 m. come prima, il vaso fu girato in modo che le foglie che erano state presentate alla luce fossero ora rivolte verso l'interno del locale: nessuna di esse dormì durante la notte, mentre che alcune, in piccolo numero, di quelle che prima guardavano l'interno del locale e che mai prima di questo giorno erano state rischiarate direttamente, e non avevano dormito, presero una posizione notturna verticale. Il giorno dopo (al 12) la pianta venne riposta nella sua posizione primitiva, di guisa che le stesse foglie di prima fossero rivolte verso la luce; queste dormirono allora come al solito. Aggiungeremo soltanto, che in alcune giovani pianticelle conservate nella serra, i lembi del primo pajo di vere foglie (i cotiledoni sono ipogei) erano quasi orizzontali di giorno e quasi verticali di notte.

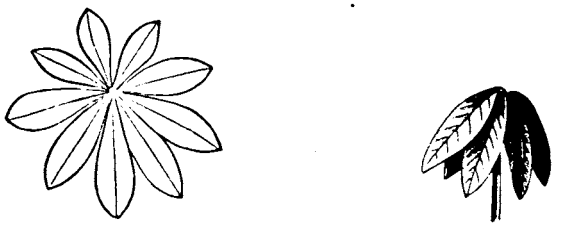
Facemmo in seguito alcune esperienze sulla circumnutazione delle 3 foglie rivolte verso la finestra; ma non diamo qui i diagrammi, poichè queste foglie erano agitate da un certo movimento verso la luce. Era però manifesto ch'esse si elevavano e discendevano più di una volta nel corso della giornata, essendo le linee ascendenti e discendenti in parte fortemente conformate a zig-zag. La discesa notturna cominciava verso le 7 di sera, e le foglie erano già considerevolmente elevate alle 6,45 del mattino successivo.

Leguminose. — Questa famiglia comprende generi molto più numerosi con specie che dormono che tutte le altre insieme. I numeri d'ordine delle tribù alle quali appartengono i diversi generi sono stati posti al lato dei loro nomi, seguendo la disposizione adottata da Bentham e Hooker.

Crotolaria (sp.?) (Tribù 2). — Questa pianta è monofilla, e T. Thiselton Dyer c'informa che le foglie elevandosi verticalmente di notte, vengono a premere contro il fusto.

Lupinus (Tribù 2). — Le foglie palmate o digitate delle numerose specie di questo genere dormono in tre maniere differenti. Una delle più semplici consiste in ciò, che tutte le foglioline s'inclinano fortemente in basso quando viene la notte dopo di essere state spiegate orizzontalmente nella giornata. È ciò che mostrano gli schizzi (fig. 137) di una foglia di *L. pilosus* vista verticalmente dall'alto nella giornata, e di un'altra foglia che dorme avente le sue foglioline inclinate in basso. In

Fig. 137.



A B

Lupinus pilosus : A, foglia veduta verticalmente dall'alto, di giorno; B, foglia che dorme, veduta lateralmente di notte.

questa posizione esse sono compresse le une contro le altre, e siccome non si piegano come quelle del genere *Oxalis*, non possono prendere una posizione pendente verticale; esse sono però spesso inclinate in basso sotto un angolo di 50° sotto l'orizzonte. In questa specie, mentre le foglioline s'inclinano in basso, i picciuoli si elevano per formare un angolo che si trovò, nei due casi in cui noi lo misurammo, di 23°. Le foglioline di *L. subcarnosus* ed *arboreus*, che erano orizzontali durante la giornata, discendevano di notte quasi nella stessa maniera, nella prima specie formando un angolo di 38° e nella seconda un angolo di 36° sotto all'orizzonte; ma i loro picciuoli non avevano movimento apprezzabile. È possibile, come vedremo, che in un gran numero delle tre specie precedenti e delle seguenti, esaminate in tutte le stagioni, si possono trovare alcune foglie che dormano in modo differente.

Nelle due specie seguenti le foglioline in luogo di discendere si alzano durante la notte. Nel *L. Hartwegii*, alcune formano a mezzodì un angolo di 36° sopra l'orizzonte, ed un angolo di 51° nella notte. Esse rappresentano così col loro insieme un cono cavo ad angoli moderatamente avvicinati. Il picciuolo di una foglia si elevava di notte a 14° e quello di un'altra a 11°. Nel *L. luteus* una fogliolina si alzava di 47° a mezzodì e 65° alla notte, ed un'altra, sopra una foglia separata di 45° a 69°. I picciuoli però si abbassavano di notte seguendo un arco poco esteso, ossia in tre casi di 2°, 6° e 9°30′. Avuto riguardo a questo movimento di picciuoli, le foglioline inferiori più lunghe devono inclinarsi verso l'alto un poco più che le foglioline superiori più corte per poter occupare una posizione notturna simmetrica. Vedremo che alcune foglie sui medesimi ceppi di *L. luteus* dormono in modo assai differente.

Noi arriviamo ora ad una posizione notturna molto singolare delle foglie che è comune a parecchie specie di Lupinus. Sulla stessa foglia le foglioline più brevi, che guardano generalmente il centro della pianta, discendono di notte, mentre che quelle più lunghe, collocate dalla parte opposta, si elevano; le foglioline intermedie e laterali girano leggermente sul loro asse. Vi è però una certa variabilità nell'ascesa e discesa delle foglioline. Come è da aspettarsi in presenza di movimenti sì diversi e complicati, la base di ogni fogliolina è sviluppata in un pulvino, ciò almeno nel *L. luteus*. Ne risulta che tutte le foglioline della stessa foglia hanno

Fig. 138.

Lupinus pubescens: A, foglia vista lateralmente nella giornata; B, la stessa foglia di notte; C, un'altra foglia di cui le foglioline formano, di notte, una stella verticale. — Figure ridotte.

una posizione notturna eretta, od anche perpendicolare; esse formano in quest'ultimo caso una stella verticale. Il medesimo fatto si produce nelle foglie di una specie comperata sotto il nome di *L. pubescens*. La fig. 138 mostra in A le foglie nella loro posizione diurna, in B è la stessa pianta durante la notte con le due foglie superiori a foglioline quasi verticali. Sono principalmente od esclusivamente le foglie più giovani che formano di notte delle stelle. Ma vi sono grandi variazioni nella posizione notturna delle diverse foglie della medesima pianta. Alcune conservano le loro foglioline quasi orizzontali, altre formano delle stelle più o meno erette o verticali, ed alcune infine hanno tutte le loro foglioline inclinate in basso, come nei primi casi che abbiamo citati. È anche singolare di vedere, che quantunque tutte le piante nate dal medesimo gruppo di semi fossero identiche in apparenza, certi esemplari avevano però durante la notte le foglioline delle loro foglie disposte in modo da formare delle stelle più o meno erette, mentre in altri pendevano tutte senza formare stelle, in altri ancora conservavano la loro posizione orizzontale, o si elevavano un poco.

Non abbiamo parlato finora che di differenti posizioni notturne delle foglioline di *L. pubescens;* ma i picciuoli differiscono pure nei loro movimenti. Quello di una giovane foglia che formava di notte una stella fortemente eretta era a mezzodì a 40° sopra l'orizzonte, e durante la notte a 72°; si era adunque elevato di 30°. Il picciuolo di un'altra foglia, le cui foglioline occupavano una posizione simile, non si elevava che di 6°. D'altra parte, il picciuolo di una foglia di cui tutte le foglioline si abbassavano durante la notte, discendeva nello stesso tempo di 4°. I picciuoli di due altre foglie un poco più vecchie furono osservati in seguito: tutti due formavano

nella giornata il medesimo angolo con l'orizzonte, ossia di 50°; uno di essi si elevò di notte da 7° ad 8°, e l'altro discese di 3° a 4°.

Noi troviamo in qualche altra specie dei casi simili a quelli di *L. pubescens*. Sopra una sola pianta di *L. mutabilis* alcune foglie orizzontali nella giornata, formavano di notte delle stelle fortemente erette, ed il picciuolo di una di esse si elevò di 7°. Altre foglie, che erano pure orizzontali nella giornata, avevano di notte tutte le loro foglioline inclinate di 46° sotto all'orizzonte, ma i loro picciuoli avevano appena cambiato di posizione. Inoltre, il *L. luteus* offriva ancora un caso più notevole, poichè in due foglie le foglioline, che erano a mezzodì a 50° sopra l'orizzonte, si elevavano di notte a 65° e 69°, in modo da formare un cono cavo. Quattro foglie della stessa pianta, di cui le foglioline erano orizzontali a mezzodì, formavano di notte delle stelle verticali; tre altre foglie, egualmente orizzontali a mezzodì, avevano di notte le loro foglioline inclinate in basso, di guisa che le foglie di questa stessa pianta prendevano tre posizioni notturne differenti. Sebbene noi siamo incapaci di spiegare questo fatto, crediamo tuttavia che un medesimo ceppo possa facilmente produrre delle specie aventi abitudini nictitropiche molto differenti.

Vi è poco da aggiungere sul sonno delle diverse specie di Lupinus. Parecchie, *L. polyphyllus*, *nanus*, *Menziesii*, *speciosus*, ed *albifrons*, quantunque osservate in piena aria e nella serra, non presentavano nelle loro foglie dei movimenti sufficienti, perchè si potesse dire che dormivano. Da certe osservazioni fatte sopra due specie che dormivano, risulta che, come nel *tropæolum majus*, le foglie hanno bisogno di essere fortemente rischiarate nella giornata per dormire di notte. Infatti molte piante conservate tutta la giornata in un ambiente, le cui finestre erano orientate a N.-E., di notte non dormirono; ma allorchè i vasi nel giorno successivo furono esposti in piena aria, e ritirati la notte, le foglie dormirono come al solito. L'esperienza ripetuta nel giorno e nella notte successivi diede i medesimi risultati.

Furono fatte alcune osservazioni sulla circumnutazione delle foglie di *L. luteus* ed *arboreus*. Basterà dire che le foglioline di quest'ultima specie mostravano una doppia oscillazione nel corso di 24 ore; esse discendevano infatti al mattino fino alle 10,15, poi risalivano descrivendo numerose linee a zig-zag fino alle 4 di sera, ed a questo punto cominciava la grande caduta notturna. Al mattino successivo alle 8, le foglioline si erano elevate alla loro altezza normale. Abbiamo visto nel 4° capitolo, che le foglie di *L. speciosus*, che non dormono, circumnutano sopra una estensione considerevole, descrivendo nella giornata molte ellissi.

Cytisus (Tribù 2), *Trigonella* e *Medicago* (Tribù 3). — Su questi tre generi non abbiamo fatto che poche osservazioni. I picciuoli di una giovane pianta di *Cytisus fragrans* alta un piede si elevavano di notte di 23° in un caso e di 33° in un altro. Le tre foglioline s'incurvavano pure in alto e si avvicinavano nello stesso tempo le une alle altre, di guisa che la base della fogliolina centrale veniva a coprire le basi di due foglioline laterali. La loro incurvatura è così forte ch'esse vengono compresse contro il fusto, di guisa che se si guarda verticalmente dall'alto una di queste giovani piante, non si vedono che le faccie inferiori delle foglie; le loro pagine superiori sono così, secondo la regola generale, protette nel miglior modo contro l'irradiazione. Mentre su queste giovani piante le foglie si comportavano in tal maniera, quelle di un arbusto più vecchio ed in piena fioritura non dormivano punto.

Trigonella Cretica gode di un movimento di sonno simile a quello di *Melilotus* che descriveremo. Secondo Royer (1) le foglie di *Medicago maculata* si elevano di

(1) *Ann. des Sc. Nat. Bot.* (5ª Serie), IX, 1868, p. 368.

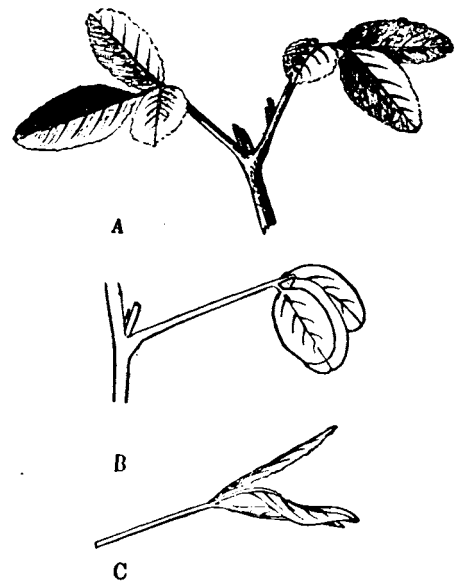
notte e si rovesciano un poco in modo da presentare obliquamente al cielo la loro faccia inferiore. Diamo una figura (fig. 139) delle foglie di *M. marina* allo stato di veglia e di sonno; essa potrebbe servire ad indicare gli stessi stati nel *Cytisus fragrans*.

Fig. 139.

A B

Medicago marina: A, foglie nella giornata; B, foglie di notte.

Fig. 140.



A B C

Melilotus officinalis: A, foglia nella giornata; B, foglia che dorme; C, altra foglia che dorme vista per disopra, ma, in questo caso, la fogliolina terminale non è venuta in intimo contatto, come di solito, con la fogliolina centrale.

Melilotus (Tribù 3). — Le specie di questo genere hanno un modo di dormire singolare. Le tre foglioline di ogni foglia possedono un movimento di rotazione su se stesse di 90°, di guisa che i loro lembi sono verticali di notte, e presentano al cielo uno dei loro bordi laterali (fig. 140). Comprenderemo meglio i loro altri movimenti più complicati, se immaginiamo collocata la foglia in modo che la punta della fogliolina terminale sia diretta verso il nord. Le foglioline, divenendo verticali alla notte, potrebbero naturalmente girarsi in modo, che le loro pagine superiori guardassero da una parte o dall'altra; ma le due foglioline laterali, nel loro movimento di rotazione, tendono a presentare questa faccia verso il nord, e siccome esse si avvicinano nello stesso tempo alla fogliolina terminale, la faccia superiore di una guarda press'a poco il nord-nord-ovest, e quella dell'altra il nord-nord-est. La fogliolina terminale si comporta in altro modo, poichè la sua rotazione si effettua indifferentemente, volgendosi la sua faccia superiore ora verso l'est, ora verso l'ovest, ma più spesso da quest'ultima parte. Questa fogliolina si muove nello stesso tempo in altra maniera assai significante, poichè mentre il suo lembo gira per divenire verticale, la fogliolina intera si piega da una parte, e invariabilmente dalla parte verso la quale si è diretta la sua faccia superiore. In questa guisa se la pagina superiore guarda l'ovest, la fogliolina intera s'inclina pure verso l'ovest, fino che viene in contatto con la superficie superiore verticale della foglio-

lina laterale occidentale. Tale movimento assicura un'eccellente protezione alla faccia superiore della fogliolina terminale e ad una delle foglioline laterali. Questo fatto, che la fogliolina terminale effettua la sua rotazione da una parte o dall'altra, e s'inclina in seguito verso la stessa parte, ci sembrò così singolare che procurammo di determinarne la causa. Avendo pensato che al principio del movimento la direzione poteva essere determinata dalla maggiore gravità dell'una delle metà della fogliolina, fissammo con la gomma dei pezzi di legno sopra un lato di parecchie foglioline terminali, ma senza ottenere alcun risultato; esse continuarono ad effettuare la loro rotazione nel medesimo senso di prima. Volendo sapere, se per una stessa fogliolina il movimento si effettuava sempre nello stesso senso, attaccammo dei pezzi di filo nero sopra 20 foglie, le cui foglioline terminali giravano la loro faccia superiore verso l'ovest, e dei pezzi di filo bianco sopra 14 altre foglie, le cui foglioline terminali giravano la loro faccia superiore verso l'est. Seguimmo per 14 giorni i movimenti di queste foglie, e questi si effettuarono costantemente nel medesimo senso: non ebbimo a constatare che una sola eccezione, poichè una delle foglioline, che dapprima si dirigeva verso l'est, girò nove giorni dopo verso l'ovest. La sede dei due movimenti di rotazione e d'inclinazione si trova posta nel pulvino dei picciuoli secondari.

Crediamo che le foglioline, sopratutto le laterali, nel compiere i movimenti complessi che abbiamo descritti, s'inclinino un poco verso il basso. Ma non ne siamo sicuri, poichè per ciò che concerne il picciuolo principale, il suo movimento notturno è in gran parte determinato dalla posizione che la foglia ha occupato a caso nella giornata. Così osservammo un picciuolo principale che si elevò di notte 59°, mentre che tre altri non si elevarono che 7° e 9°. I picciuoli principali e secondari, come vedremo, sono in circumnutazione continua per tutto il corso delle 24 ore.

Le foglie dormono press'a poco nello stesso modo nelle 15 specie seguenti: *M. officinalis*, *suaveolens*, *parviflora*, *alba*, *infesta*, *dentata*, *gracilis*, *sulcata*, *elegans*, *cærulea*, *Petitpierreana*, *macrorrhiza*, *Italica*, *secundiflora*, e *Taurica;* ma l'inclinazione verso una parte della fogliolina terminale, per poco che la pianta non abbia un accrescimento vigoroso, può anche venir meno. Nel *M. Petitpierreana* e *secundiflora* abbiamo raramente visto questa fogliolina inclinarsi verso un lato. Nei giovani ceppi di *M. Italica*, s'inclinava come il solito, ma sopra dei ceppi più vecchi, in piena fioritura, che germogliavano nel medesimo vaso e che osservammo nello stesso tempo, alle 8,30 di sera nessuna delle foglioline terminali, sopra molti gruppi di foglie, si era inclinata verso una parte, bench'esse fossero tutte verticali; e nemmeno le due foglioline laterali, che erano pure verticali, si erano dirette verso la terminale. Alle 10,30 di sera e ad 1 ora dopo mezzanotte, la fogliolina terminale si era un poco incurvata verso una parte, e le foglioline laterali avevano avuto egualmente un leggero movimento verso di essa, di guisa che la posizione delle foglioline, pure a quest'ultima ora, era lungi da quella che occupano di solito. Di più nel *M. Taurica* non vedemmo giammai la fogliolina terminale inclinarsi da una parte o dall'altra, benchè le due foglioline laterali prendendo la loro posizione verticale si dirigessero verso di essa. Il picciuolo secondario della fogliolina terminale è, in questa specie, di una lunghezza insolita, e se la fogliolina si fosse inclinata da una parte, la sua faccia superiore non sarebbe venuta in contatto che con l'estremità della fogliolina laterale; si è probabilmente in questo fatto che si deve ricercare la causa della mancanza del movimento laterale.

I cotiledoni sono mancanti di movimenti nictitropici. Le prime foglie non hanno che una sola fogliolina orbiculare, che gira sopra se stessa di notte per portare il suo lembo in una posizione verticale. È singolare il vedere che nel *M. Taurica* ed in grado un poco minore nel *M. macrorrhiza* e *Petipierreana*, tutte le foglie

ancora giovani e piccole, apparse al principio della primavera sui rami di molti ceppi che erano stati incisi nella serra, presentavano dei movimenti nictitropici affatto differenti dai movimenti normali: le tre foglioline, in luogo di girare sul loro asse, per presentare al cielo il loro bordo laterale, si dirigevano verso l'alto e prendevano una posizione verticale, mostrando allo zenit la loro estremità. Esse prendevano dunque una posizione analoga a quella delle foglie del genere vicino *Trifolium*. Secondo il principio, che i caratteri embriologici rivelano nel regno animale le linee di discendenza, può darsi che i movimenti delle giovani foglie, nelle tre specie di *Melilotus* che consideriamo, indichino che questo genere discende da una forma primitiva strettamente legata in parentela col genere *Trifolium*, e soggetta al sonno come esso. Di più esiste una specie, *M. messanensis*, le cui foglie, su piante in pieno accrescimento, alte da 2 a 3 piedi, dormono nello stesso modo delle giovani foglie, delle quali abbiamo parlato, e delle foglie di *Trifolium*. Fummo così sorpresi di quest'ultimo fatto, che fino dopo l'esame dei fiori e dei frutti credemmo di aver seminato, per errore, dei semi di un *Trifolium*, in luogo di quelli di un *Melilotus*. Sembra dunque probabile, che il *M. messanensis* abbia conservato o ripreso un'abitudine primitiva.

Tracciammo la circumnutazione di una foglia di *M. officinalis* lasciando il fusto libero. L'estremità della fogliolina terminale descrisse tre larghe ellissi dalle 8 del mattino alle 4 della sera; a questo punto cominciò il movimento notturno di torsione. Rilevammo più tardi che questo movimento era formato dalla circumnutazione poco estesa del fusto, da quella più forte del picciuolo principale, e da quella infine del picciuolo secondario della fogliolina terminale. Il picciuolo principale di una foglia è stato fissato sopra un bastone, presso la base del picciuolo secondario della fogliolina terminale, e quest'ultima descrisse due piccole ellissi dalle 10,30 del mattino alle 2 di sera. Alle 7,15 di sera dopo che questa stessa fogliolina (come pure un'altra) ebbe girato sopra se stessa per prendere la sua posizione notturna verticale, cominciò ad innalzarsi lentamente fino alle 10,35 della sera. Non continuammo l'osservazione più lungamente.

Siccome il *M. messanensis* dorme in modo anormale, differente da quello di tutte le altre specie del genere, rilevammo per due giorni la circumnutazione di una fogliolina terminale dopo di aver fissato il fusto. Ogni mattina la fogliolina discendeva fino a mezzodì, poi cominciava a salire assai lentamente; ma il primo giorno il movimento di ascesa fu interrotto dalle 1 alle 3 di sera dalla formazione di una ellisse estesa lateralmente, ed al secondo giorno, alla stessa ora, dalla formazione di due ellissi più piccole. Il movimento di elevazione ricominciò in seguito, e divenne rapido ad un'ora avanzata della sera, allorchè la fogliolina cominciò a prendere la sua posizione di sonno. Il movimento di discesa cominciò, nei due giorni, alle 6,45 del mattino.

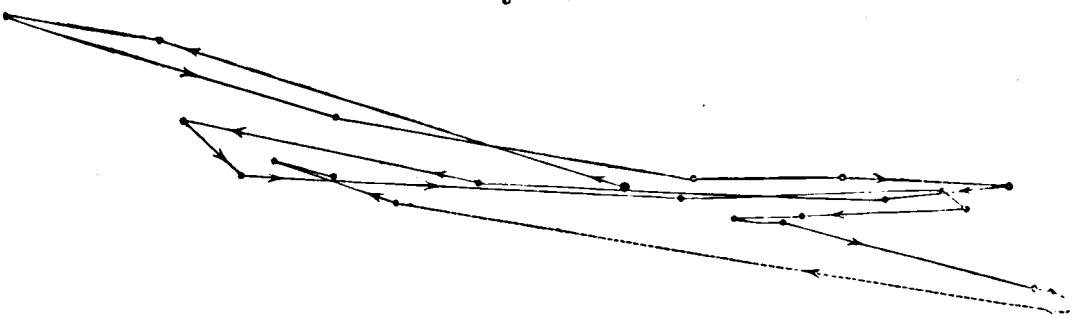
Trifolium (Tribù 3). — Osservammo i movimenti nictitropici di 11 specie, e li trovammo tutti strettamente simili. Se prendiamo una foglia di *T. repens* a picciuolo verticale, e di cui le tre foglioline siano estese orizzontalmente, vedremo, nella sera, le due foglioline laterali girare sul loro asse ed avvicinarsi l'una all'altra, finchè le loro faccie superiori vengano in contatto. Nello stesso tempo s'inclinano verso il basso in un piano perpendicolare a quello della loro posizione primitiva, finchè le loro nervature mediane formano un angolo di 45° colla parte superiore del picciuolo. Questo cambiamento tutto particolare di posizione esige una torsione considerevole del pulvino. La fogliolina terminale si eleva un poco senza alcuna torsione, e s'inclina sempre più fino a formare un tetto protettore sui bordi delle foglioline laterali, divenute esse stesse verticali. La fogliolina terminale percorre così un angolo di almeno 90°, generalmente di 130° e 140°, e abbastanza frequen-

temente (l'abbiamo spesso osservato nel *T. subterraneum*) di 180°. In quest'ultimo caso la fogliolina terminale ha una posizione notturna orizzontale (V. fig. 141) e presenta la sua faccia inferiore allo zenit. Questa differenza negli angoli che formano di notte le foglioline terminali in individui della stessa specie è sovente accompagnata da differenze nel grado di avvicinamento reciproco delle foglioline laterali.

Fig. 141.

Trifolium repens: A, foglia nella giornata; B, foglia che dorme.

Fig. 142.



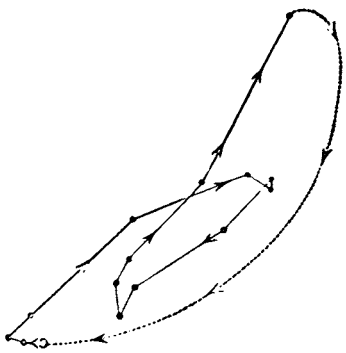
Trifolium subterraneum: circumnutazione e movimento nictitropico di una fogliolina terminale lunga 0,68 poll. rilevati dalle 6,45 del 4 luglio alle 9,15 ant. del 5. Estremità della foglia a 3 7/8 poll. dal vetro verticale. Movimento amplificato 5 volte e 1/4 e ridotto qui di metà. Pianta rischiarata dall'alto. Temp. 16°-17° C.

Noi abbiamo visto che i cotiledoni di certe specie si elevano verticalmente di notte, e che quelli di altre specie non hanno alcun movimento nictitropico. La prima vera foglia è generalmente unifogliolata ed orbicolare; essa si eleva sempre e prende una posizione verticale, o più spesso s'inclina un poco più in modo che presenta obliquamente allo zenit la sua superficie inferiore, come lo fa la fogliolina terminale della foglia ordinaria. Ma essa non gira su se stessa come la prima foglia semplice di *Melilotus*. Nel *T. Pannonicum*, la prima vera foglia era generalmente unifogliolata, ma talvolta trifogliolata od anche di nuovo parzialmente lobata, ed in uno stato intermediario.

Circumnutazione. — Sachs ha descritto (1) nel 1863 i movimenti verticali spontanei delle foglioline di *T. incarnatum*, allorchè sono poste nell'oscurità. Pfeffer ha fatto numerose osservazioni sui movimenti similari di *T. pratense* (2). Egli stabilì che la fogliolina terminale in questa specie, osservata a differenti momenti, percorreva angoli di 30° a 120° nello spazio di 1 ora 1/2 a 4 ore. Noi abbiamo osservato i movimenti di *T. subterraneum*, *resupinatum* e *repens*.

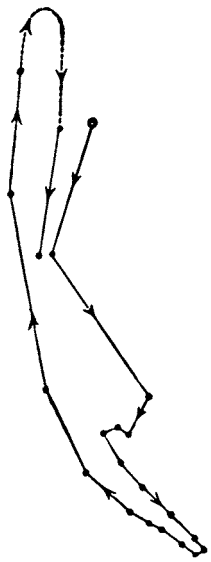
(1) *Flora*, p. 497.
(2) *Die Period. Bewegungen*, 1875, pp. 35, 52.

Fig. 143.



Trifolium resupinatum : circumnutazione e movimenti nictitropici della fogliolina terminale durante 24 ore.

Fig. 144.



Trifolium repens : circumnutazione e movimenti nictitropici di una fogliolina terminale quasi completamente sviluppata; rilevati sopra un vetro verticale dalle 7 del mattino del 30 settembre alle 8 del mattino del 1° ottobre. Corsa notturna rappresentata dalla linea curva punteggiata, fortemente ridotta.

Trifolium subterraneum. — Essendo stato fissato un picciuolo alla base di tre foglioline, fu rilevato il movimento della fogliolina terminale per 26 ore 1/2 (fig. 142).

Dalle 6,45 del mattino alle 6 di sera, l'estremità si mosse tre volte in alto e tre volte in basso, completando così 3 ellissi in 11 ore 15 m. Le linee ascendenti e discendenti erano più avvicinate le une alle altre che nella maggior parte delle piante, benchè vi fosse un certo movimento laterale. Alle 6 di sera incominciò il grande movimento notturno di elevazione, ed al mattino successivo il movimento di discesa continuò fino alle 8,30. A quest'ultimo momento, la fogliolina si rimise a circumnutare nel modo sopra descritto. Nella figura, il grande movimento notturno di elevazione ed il movimento di discesa della mattina, assai accorciati per mancanza di posto, non sono rappresentati che da una breve linea curva. La fogliolina era orizzontale mentre si trovava ad un punto un po' al disotto del mezzo del diagramma; così, nel corso della giornata oscillava quasi egualmente al disopra ed al disotto della posizione orizzontale. Alle 8,30 del mattino era a 48° al disotto dell'orizzonte, e tre ore dopo si era elevata a 50° al disopra; essa aveva dunque percorso 98° in tre ore. Coll'aiuto della traccia determinammo che la distanza percorsa in queste tre ore dall'estremità della fogliolina era di 1,03 pollici. Se consideriamo la figura, ed immaginiamo prolungata verso l'alto la linea curva che rappresenta il movimento notturno, vediamo che quest'ultimo movimento non è che un'amplificazione od un prolungamento di una delle ellissi diurne. La stessa fogliolina era stata osservata alla vigilia, ed il cammino che seguì in quel giorno fu quasi identico a quello che abbiamo ora descritto.

Trifolium resupinatum. — Una pianta lasciata intieramente libera venne posta davanti ad una finestra orientata al N.-E., in modo che una fogliolina terminale si proiettava perpendicolarmente alla sorgente di luce. Il cielo rimase tutto il giorno uniformemente coperto. I movimenti di questa fogliolina rilevati per due giorni, si trovarono in questo periodo di tempo uniformi. La fig. 143 mostra quelli che furono eseguiti il secondo giorno. L'obliquità delle diverse linee è dovuta in parte al modo con cui era vista la fogliolina, ed in parte al fatto che aveva subìto un leggero movimento verso la luce. Dalle 7,50 alle 8,40 del mattino la fogliolina discese, ossia continuò il movimento di risveglio. Si elevò quindi presentando un debole movimento laterale verso la luce. Alle 12,30 rifece il cammino, ed alle 2,30 riprese la sua direzione primitiva avendo così completato una piccola ellisse a metà della giornata. Nella sera si elevò rapidamente ed alle 8 del mattino successivo occupava esattamente lo stesso punto che alla vigilia. La linea che rappresenta il movimento notturno dovrebbe estendersi molto più in alto, ed è stata qui accorciata al punto da essere indicata soltanto da una linea breve, curva e punteggiata. La fogliolina terminale di questa specie descriveva dunque nella giornata una sola ellisse addizionale in luogo di due come si trovano nel *T. subterraneum*. Ma dobbiamo ricordarci di aver visto, nel quarto capitolo, che il fusto circumnuta; i picciuoli principali e secondari si comportano certamente nello stesso modo, di guisa che il movimento rappresentato dalla fig. 143 è composto. Tentammo di osservare i movimenti di una foglia conservata durante il giorno nell'oscurità, ma essa cominciò a dormire dopo le 2,15 e questo movimento era ben pronunciato dopo le 4,30.

Trifolium repens. — Fu legato un fusto presso alla base di una foglia abbastanza vecchia, ed osservammo per due giorni il movimento della fogliolina terminale. Questo caso è interessante in causa della semplicità dei movimenti che contrastano con quelli delle specie precedenti. Il primo giorno la fogliolina discese dalle 8 del mattino alle 3 di sera, ed al secondo giorno dalle 7 del mattino ad 1 ora di sera. Nei due giorni il cammino di discesa era un poco a zig-zag, e rappresentava evidentemente il movimento circumnutante diurno delle due specie precedenti. Al 1° ottobre dopo 1 ora della sera (fig. 144) la fogliolina cominciò ad elevarsi, ma nei due giorni, sia prima sia dopo questo istante, il movimento era rallentato fino alle 4 della sera. Cominciò quindi la rapida elevazione vespertina e notturna. Così, in questa specie il cammino per 24 ore consiste in una sola grande ellisse; nel *T. resupinatum* ve ne sono due, di cui una fortemente allungata comprende il movimento notturno; e nel *T. subterraneum* tre, di cui una, quella della notte, è pure molto più lunga.

Securigera coronilla (Tribù 4). — Le foglioline che sono opposte e numerose si alzano di notte, vengono in intimo contatto, e s'inclinano verso il basso seguendo un angolo poco considerevole che si dirige verso la base del picciuolo.

Lotus (Tribù 4). — Abbiamo osservato i movimenti nictitropici in 10 specie di questo genere, e li abbiamo trovati tutti simili. Il picciuolo principale si alza un poco alla notte; le tre foglioline si elevano pure fino a divenir verticali ed in pari tempo si avvicinano. Tale movimento era molto visibile nel *L. Jacobæus*, le cui foglioline sono quasi lineari. Nella maggior parte delle specie, le foglioline si alzano fino a premere contro il fusto, e spesso s'inclinano un poco verso l'interno in modo da presentare obliquamente al cielo le loro pagine inferiori. Quest'ultimo fatto era sopratutto chiaramente visibile nel *L. major*, poichè i picciuoli di questa specie hanno una lunghezza eccezionale, ciò che permette alle foglioline di inclinarsi più fortemente verso l'interno. Le giovani foglie, alla sommità dei fusti, si chiudono di notte abbastanza fortemente per prendere l'aspetto di larghi bottoni. Le foglioline stipuliformi, che sono sempre di dimensioni considerevoli, si elevano

come le altre foglioline (fig. 145). Tutte le foglioline di *L. Gebelii*, e probabilmente quelle di altre specie, sono provvedute alla loro base di pulvini distinti, di colore giallastro, formati di cellule assai piccole. Tracciammo per due giorni la circumnutazione di una fogliolina terminale di *L. peregrinus* il cui fusto era stato fissato. Ma questo movimento aveva una tale semplicità, che non abbiamo creduto di riprodurne il diagramma. La fogliolina discendeva lentamente dalla mattina fino ad 1 ora di sera circa. Allora si elevava dapprincipio gradatamente, poi rapidamente alla fine della sera. Restava talvolta stazionaria per circa 20 m. nel corso della giornata, e qualche volta descriveva dei leggieri zig-zag. Rilevammo pure nella stessa maniera e nello stesso tempo, il movimento di una delle foglioline basilari in forma di stipule: il suo cammino era intieramente simile a quello della fogliolina terminale.

Fig. 145.

Lotus creticus: A, ramo durante la giornata; B, lo stesso di notte; *ss*, foglioline in forma di stipule.

Nella tribù 5 di Bentham e Hooker i movimenti nictitropici delle specie proprie a 12 generi sono stati esaminati da noi e da altri osservatori; ma non lo furono con una certa cura che nel genere Robinia. La *Psoralea acaulis* alza di notte le sue tre foglioline; al contrario l'*Amorpha fruticosa* (1), la *Dalea alopecuroides* e l'*Indigofera tinctoria* abbassano le loro.

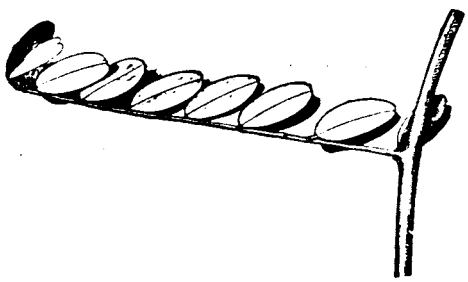
Duchartre (2) disse che la *Tephrosia caribæa* presenta il solo esempio di « foglioline coricate lungo il picciuolo e verso il basso », ma un movimento simile si presenta in altri casi, come spesso l'abbiamo osservato. *Wistaria sinensis*, secondo Royer (3), abbassa le sue foglioline che per una disposizione bizzarra sono inclinate nella stessa foglia, le superiori verso la sommità, le inferiori verso la base del picciuolo comune; ma al contrario le foglioline di una giovane pianta che abbiamo osservata nella serra discendevano di notte verticalmente verso il basso. Le foglioline si elevano nella *Spærophysa salsola*, *Colutea arborea* e *Astragalus uliginosus*, ma si abbassano, secondo Linneo, nella *Glycyrrhiza*. Le foglioline di *Robinia pseudo-acacia* discendono pure la notte verticalmente verso il basso, mentre i picciuoli si elevano un poco, di 3° in un caso, e di 4° in un altro. Rilevammo per due giorni i movimenti di circumnutazione di una fogliolina terminale sopra una foglia abbastanza vecchia; questi movimenti erano semplicissimi. La fogliolina discendeva lentamente, seguendo dei leggeri zig-zag dalle 8 del mattino alle 5 di sera; poscia il

(1) DUCHARTRE, *Eléments de Botanique*, 1867, p. 349.
(2) *Ibid.*, p. 347.
(3) *Ann. des Sc. Nat. Bot.*, 5ª serie, IX, 1868.

movimento si faceva più rapido; ma al mattino successivo alle 7, aveva ripreso la sua posizione diurna. Non vi era in questo movimento che una sola particolarità, e si è che in questi due giorni vi fu, benchè debole, una oscillazione distinta fra le 8,30 e le 10 del mattino; essa sarebbe stata probabilmente meglio pronunciata in una foglia più giovane.

Coronilla rosea (Tribù 6). — Le foglie portano 9 o 10 paia di foglioline opposte, che sono orizzontali nella giornata, formando le loro nervature mediane degli angoli retti col picciuolo. La notte si elevano in guisa che le foglioline opposte vengono in contatto il quale è assai intimo per le foglioline delle foglie giovanissime. Nello stesso tempo s'inclinano verso la base del picciuolo finchè le loro nervature mediane formano con quest'organo degli angoli di 40° a 50° sopra un piano verticale (fig. 146). Le foglioline però s'inclinano qualche volta a tal punto che le loro nervature mediane, divenute parallele al picciuolo, riposano sopra di esso.

Fig. 146.



Coronilla rosea; foglia che dorme.

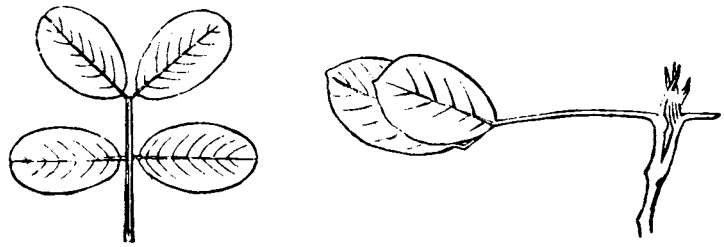
Così esse occupano una posizione opposta a quella che si trova in molte Leguminose, per es., nella *Mimosa pudica*. Ma siccome sono allontanate l'una dall'altra, così non si ricoprono completamente come in quest'ultima pianta. Il picciuolo principale è curvato leggermente verso il basso nel corso della giornata; ma si raddrizza di notte. In tre casi si elevò da 3° sopra l'orizzonte a mezzodì, fino a 9° alle 10 pom., poscia da 11° a 33°, e da 5° a 33°, così che il movimento angolare in quest'ultimo caso era di 28°. In molte altre specie di Coronilla, le foglioline non mostravano che un debole movimento di questa natura.

Hedysarum coronarium (Tribù 6). — Le piccole foglioline laterali, su piante che crescevano in piena aria, si elevavano verticalmente di notte, ma la larga fogliolina terminale non s'inclinava che in modo insensibile. I picciuoli non mostravano di elevarsi affatto.

Smithia Pfundii (Tribù 6). — Le foglioline si elevano verticalmente ed il picciuolo principale ha pure un movimento considerevole di elevazione.

Arachis hypogæa (Tribù 6). — In A (fig. 147), è rappresentato lo schizzo di una foglia con le sue due paia di foglioline; ed in B, quello di una foglia che dorme, tracciato con una fotografia mediante la luce dell'alluminio. Le due foglioline terminali girano di notte su se stesse per portare i loro lembi in una posizione verticale, e si avvicinano l'una all'altra fino a toccarsi; hanno nello stesso tempo un leggero movimento verso l'alto ed indietro. Le due foglioline laterali si incontrano nello stesso modo, ma si muovono nello stesso tempo in avanti, cioè a dire in una direzione opposta a quella delle due foglioline terminali che ricoprono in parte. Le quattro foglioline avendo i loro bordi diretti verso lo zenit, e le loro faccie inferiori rivolte in fuori, formano così nel loro insieme un sol gruppo. Sopra una pianta di cui l'accrescimento non era vigoroso, le foglioline chiuse apparivano troppo pesanti perchè i picciuoli potessero sorreggerle nella loro posizione verticale, ed ogni notte il picciuolo principale girava su se stesso in modo da dare ad ogni gruppo di foglioline una posizione orizzontale; la faccia inferiore delle foglioline di una parte guardava allora lo zenit in modo assai anormale. Non citiamo questo fatto che con riserva, poichè ci sorprese molto fino al momento in cui riconoscemmo che

Fig 147.

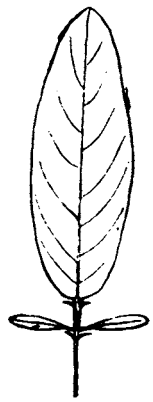


A B

Arachis hypogæa : A, foglia durante la giornata, vista verticalmente dall'alto; B, vista laterale di una foglia nel corso della notte, tolta da fotografia; figure molto ridotte.

era anormale. I picciuoli s'inclinano verso l'alto nel corso della giornata, ma discendono di notte fino a formare quasi un angolo retto col fusto. Non misurammo che in un caso l'arco percorso in questo movimento di discesa: fu di 39°. Essendosi fissato ad un bastone un picciuolo, alla base delle due foglioline terminali, tracciammo la circumnutazione di una di queste foglioline dalle 6,40 del mattino alle 10,40 di sera; la pianta era rischiarata dall'alto. La temperatura oscillò fra 17° e 17°5 C., fu per conseguenza un po' troppo bassa. In queste 16 ore, la fogliolina si mosse 3 volte verso l'alto e 3 volte verso il basso, e siccome le linee di ascesa e di discesa non coincidevano, vennero descritte 3 ellissi.

Fig. 148.



Desmodium gyrans: foglia vista dall'alto, ridotta di metà. Le piccole stipule hanno una grandezza eccezionale.

Desmodium gyrans (Tribù 6). — Rappresentiamo qui (fig. 148) una grande foglia, bene sviluppata, di questa pianta tanto conosciuta per i movimenti spontanei delle sue due foglioline laterali. La grande fogliolina terminale dorme inclinandosi verticalmente verso il basso, mentre che il picciuolo si eleva. I cotiledoni non dormono, ma le prime foglie si comportano come le più vecchie. Diamo in A ed in B (fig. 149), l'aspetto che presenta un ramo allo stato di sonno ed un altro nella giornata; queste figure sono copiate da fotografie; vediamo che la notte le foglie sono raggruppate assieme in causa dell'elevazione dei picciuoli, ciò che loro assicura una grande protezione. I picciuoli delle foglie più giovani, presso alla sommità dei rami, si elevano di notte fino a divenire verticali e paralleli al fusto; quelli dei lati, al contrario, si trovarono in quattro casi, elevati rispettivamente di 46°,5, 36°, 20°, e 19°,5 al disopra delle loro posizioni diurne. Per esempio, nel primo di questi quattro casi il picciuolo nella giornata era a 23°, e la notte a 69°,5 al disopra dell'orizzonte. Nella sera l'elevazione dei picciuoli è quasi completa, prima che le foglioline abbiano presa la loro posizione perpendicolare.

Circumnutazione. — Osservammo per 5 ore e 15 m. i movimenti circumnutanti di quattro giovani rami. In questo spazio di tempo, ciascuno aveva completato una piccola figura ovale. Il picciuolo principale circumnutò pure con rapidità, perchè in 31 m. cambiò di direzione rettangolarmente sei volte, descrivendo così una figura che mostrava rappresentare due ellissi. Il movimento della fogliolina terminale, realizzato col mezzo del suo picciuolo secondario o del suo pulvino, è

Fig. 149.

A B

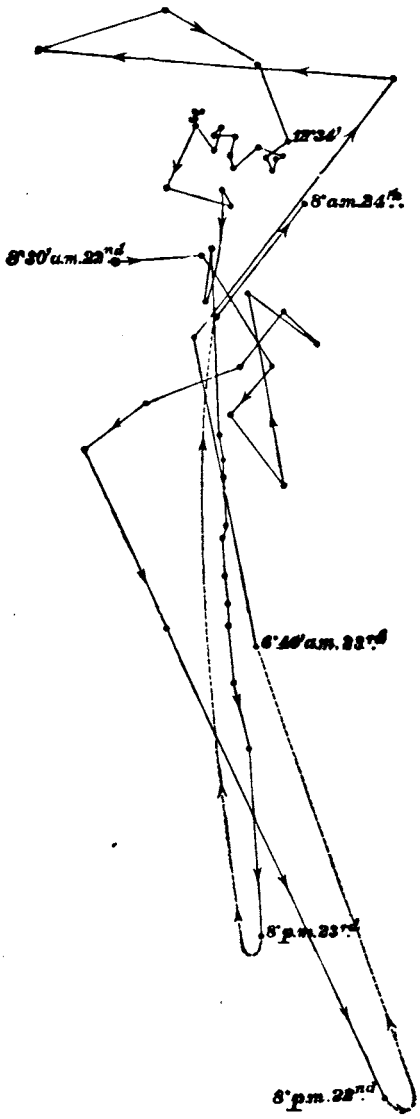
Desmodium gyrans: A, ramo nel corso della giornata; B, ramo durante la notte, tolti da fotografie; figure ridotte.

sì rapido, od anche più di quello del picciuolo principale, ed ha un'ampiezza molto maggiore. Pfeffer (1) ha visto queste foglioline percorrere un angolo di 8° in 10 a 30 secondi.

Una bella foglia quasi intieramente sviluppata, portata da una giovane pianta, alta 8 poll., fu osservata dalle 8,30 del mattino del 22 giugno alle 8, pure del mattino, del 24. Il fusto era stato fissato. Nel diagramma che noi diamo (fig. 150), le due linee curve punteggiate poste al basso della figura, e che rappresentano il movimento notturno, dovrebbero essere prolungate molto più verso il basso. Nel primo giorno la fogliolina si mosse tre volte verso il suolo e tre volte verso il cielo, con un movimento laterale considerevole; il movimento era pure assai fortemente sinuoso. Tracciammo generalmente i nostri punti ogni ora; se li avessimo rilevati soltanto a qualche minuto d'intervallo, tutte le linee avrebbero presentato dei zig-zag numerosissimi, con qua e là dei cirri. Possiamo dire che sarebbe stato così, poichè rilevammo 5 punti in 31 minuti (dalle 12,34 alle 1,5 della sera), e vediamo, nella parte superiore del diagramma, quali zig-zag si siano formati. Se fossero stati rilevati soltanto il primo e l'ultimo punto, avremmo dovuto riunirli con una linea retta. Si può constatare lo stesso fatto nelle linee che rappresentano il cammino dalle 2,24 alle 3 di sera; erano stati rilevati sei punti intermediari; egualmente dalle 4,46 alle 4,50. Ma il risultato era assai differente dopo le sei, cioè a dire dopo il cominciamento del grande movimento notturno di discesa. Quantunque si fossero rilevati nove punti in 32 m., la linea formata dalla loro riunione (vedi la figura) era quasi dritta. Le foglioline cominciano dunque a discendere nella sera descrivendo delle linee a zig-zag, ma appena che la discesa si fa rapida, tutta la loro energia è impiegata per questo movimento, ed il loro cammino

(1) *Die Period. Bewegungen*, p. 35.

Fig 150.



Desmodium gyrans: circumnutazione e movimento nictitropico di una foglia (lunga 3 3/4 di poll , compreso il picciuol o), rilevati per 48 ore. Filo fissato sulla nervatura mediana della foglioline terminale, di cui l'estremità è a 6 poll. dal vetro verticale. Diagramma ridotto ad un terzo. Pianta rischiarata dall'alto: temperatura 19°-20° C.

diviene così rettilineo. Allorchè le foglioline hanno preso la loro posizione di sonno, il loro movimento diviene assai debole o nullo.

Se la pianta predetta fosse stata assoggettata ad una temperatura più elevata di 19° a 21° C., i movimenti della fogliolina terminale sarebbero stati probabilmente ancora più rapidi e più estesi di quelli indicati dal diagramma. Conservammo per un certo tempo una pianta nella serra ad una temperatura di 33° a 34° C., ed in 35 m. l'estremità di una fogliolina discese due volte e salì una, percorrendo uno spazio di 30 mm., seguendo la verticale, e di 20 mm. 5, seguendo l'orizzontale. Durante questo movimento, la fogliolina girava ancora sul suo asse (è questo un punto che non aveva prima attirata la nostra attenzione), poichè il piano del lembo aveva cambiato di 41° dopo qualche minuto soltanto. Talvolta la fogliolina rimaneva immobile per un certo tempo. Non avvennero dei movimenti per salti che sono così caratteristici nelle piccole foglioline laterali. Un abbassamento repentino e considerevole di temperatura determina la discesa della fogliolina terminale; così immergemmo una foglia tagliata nell'acqua a 25° C., che fu lentamente riscaldata fino a 39° C., e che lasciammo raffreddare fino a 21°; il picciuolo secondario della fogliolina terminale s'incurvò allora verso il basso. L'acqua fu in seguito riscaldata fino a 48°, ed il picciuolo secondario si raddrizzò. Ripetemmo due volte delle esperienze simili sopra delle foglie immerse nell'acqua, ed ottenemmo press' a poco il medesimo risultato. Si può aggiungere che l'acqua scaldata a 49° o 50° C. non brucia la foglia. Collocammo una pianta nell'oscurità alle 8,37 del mattino ed alle 2 di sera (cioè dopo 5 ore e 23 m.), benchè le foglioline si fossero considerevolmente abbassate, non avevano punto preso la loro posizione di sonno. Pfeffer d'altra parte disse (1) che questo fatto si produceva nelle sue esperienze in capo a 3/4 d'ora a 2 ore; forse

(1) *Die Period. Bewegungen*, p. 39.

questa differenza nei risultati è dovuta al fatto che la pianta sulla quale portammo le nostre esperienze era assai giovane e vigorosa.

Movimenti delle piccole foglioline laterali. — Questi movimenti sono stati descritti tante volte, per cui procureremo di essere più brevi che è possibile, esponendo alcuni nuovi fatti e le conclusioni che ne derivano. Le foglioline hanno qualche volta dei cambiamenti considerevoli di posizione che possono raggiungere circa 180°; si può vedere allora i loro picciuoli secondari prendere una incurvatura considerevole. Essi girano sul loro asse per presentare successivamente la loro faccia superiore verso tutti i punti dell'orizzonte. La figura descritta dalla loro estremità è un'ellisse od un ovale irregolare. Esse rimangono qualche volta stazionarie per un certo tempo. Da questi diversi punti di vista non vi è alcuna differenza, se si eccettui la rapidità e l'ampiezza, fra i loro movimenti e quelli meno considerevoli che compì la grande fogliolina terminale descrivendo le sue grandi oscillazioni. I movimenti delle piccole foglioline sono, per quanto ci consta, fortemente influenzati dalla temperatura. È ciò che dimostrano bene le esperienze seguenti. Delle foglie a foglioline immobili furono immerse nell'acqua fredda la cui temperatura fu poco a poco elevata fino a 39°,5 C.; le foglioline presero allora un movimento rapido, descrivendo in 40 m. circa una dozzina di piccoli cerchi irregolari. In capo a questo tempo l'acqua si era raffreddata; così i movimenti divennero più lenti e cessarono quasi completamente; l'acqua fu di nuovo riscaldata a 37°,8 C., e le foglioline cominciarono a muoversi con rapidità. In un altro caso, essendo stato immerso nell'acqua ad 11°,6 C. un mazzo di piccole foglie, le foglioline furono rese immobili. Essendo stata portata l'acqua a 37°,2 C., le foglioline cominciarono subito a muoversi; a 40°,5 i movimenti divennero molto più rapidi; ogni piccolo cerchio di ogni ovale era completo in 1 m. 30 a 1 m. 45 S. Non vi erano però sbalzi; ciò che si deve probabilmente attribuire alla resistenza dell'acqua.

Sachs disse che le foglioline rimangono immobili finchè l'aria ambiente non abbia raggiunto una temperatura di 71-72° F., ciò che concorda colle nostre esperienze fatte sopra piante pienamente, o quasi pienamente, sviluppate. Ma delle foglioline più giovani mostrano dei movimenti saltuari a delle temperature molto più basse. Una pianticella fu posta per una mezza giornata (li 16 aprile) in un ambiente dove la temperatura era stazionaria a 64° F., una delle foglioline aveva delle scosse continue, ma meno rapide che nella serra. La sera il vaso fu trasportato in una camera da letto, dove la temperatura si mantenne tutta la notte a 62° F. alle 10 ed alle 11 di sera, e ad un'ora del mattino, la fogliolina era ancora agitata da rapidi scosse; alle 3,30 del mattino non vedemmo più niente, ma la nostra osservazione non durò allora che poco tempo. Essa era pertanto a questo momento meno fortemente inclinata che ad 1 ora del mattino. Alle 6,30 del mattino (temper. 61° F.) la sua inclinazione era ancora più debole ed aveva di nuovo diminuito alle 6,45; alle 7,40 del mattino si era elevata ed alle 8,30 vedemmo ricomincare i salti. Questa fogliolina era dunque stata tutta la notte in movimento, ed i salti avevano cessato ad 1 ora del mattino (e forse più tardi) per ricominciare al mattino alle 8,30; la temperatura non era però che di 61 a 62° F. Possiamo dunque concludere che le foglioline laterali prodotte dalle giovani piante differiscono un poco nella costituzione da quelle che producono delle piante più vecchie.

Nel ricco genere *Desmodium*, la grande maggioranza delle specie sono trifogliolate; alcune però sono unifogliolate, e la stessa pianta può pure portare delle foglie uni e trifogliolate. Nella maggior parte delle specie, le foglioline laterali sono soltanto un poco più piccole della terminale. Si può dunque considerare come quasi rudimentali le foglioline laterali di *D. gyrans* (vedi più sopra fig. 148). Le loro funzioni sono pure rudimentali, se questo termine può essere usato, poichè

certamente non dormono come le foglioline laterali di grandezza normale. È però possibile che il movimento di discesa delle foglioline da noi descritto, fra 1 ora e le 6,40 del mattino, rappresenti il loro sonno. Si sa che le foglioline sono agitate da sbalzi durante la prima parte della notte; ma il nostro giardiniere osservò (il 13 ottobre) nella serra, una pianta di cui tutte le foglioline erano inclinate dalle 5 alle 5,30 del mattino, e non potè vedere alcun salto fino alle 6,55; la temperatura era di 82° F. Due giorni dopo, al 15, osservò la stessa pianta alle 4,47 del mattino, e vide che le grandi foglioline terminali erano in stato di veglia, benchè non fossero completamente orizzontali; il termometro segnava 77° F. La sola causa che potemmo assegnare a questa mancanza anormale di sonno è la seguente: la pianta era stata esposta, in una delle nostre esperienze, durante la giornata precedente, ad una temperatura eccezionalmente elevata. Alla stessa ora, le piccole foglioline laterali descrivevano dei salti, ma ignoriamo se esista una connessione qualsiasi fra quest'ultimo fatto e la posizione quasi orizzontale della fogliolina terminale. Comunque sia, è certo che le foglioline laterali non dormono come la terminale, tanto che si possono considerare come funzionalmente rudimentali. Per quanto concerne l'irritabilità sono press'a poco nelle medesime condizioni; se infatti una pianta è picchiata, o se riceve un filo d'acqua mediante una siringa, le foglioline terminali si abbassano fino a 45° al disotto dell'orizzonte; ma non potemmo constatare in nessun caso un simile movimento nelle foglioline laterali. Non possiamo però affermare con piena conoscenza di causa, che non si possa ottenere alcun effetto battendo o punzecchiando il pulvino.

Come la maggior parte degli organi rudimentali, le foglioline sono di dimensioni variabili; esse abbandonano spesso la loro posizione normale, e non si trovano più opposte, e sovente manca una delle due. Questa mancanza pareva dovuta, in qualche caso, ma non in tutti, al fatto che la fogliolina si confondeva completamente col picciuolo principale, ciò che si desumeva dalla presenza di un leggero rialzo lungo il suo margine superiore, e dalla disposizione dei vasi. In un caso esisteva un vestigio della fogliolina, sotto forma di una piccola punta all'estremità del rialzo. La scomparsa frequente, repentina e completa di una delle foglioline rudimentali, od anche di tutte due, è un fatto abbastanza singolare; ma la cosa è ancora più sorprendente, quando si constati, che le prime foglie sviluppate sulle pianticelle ne sono sprovviste. Così, sopra una giovane pianta, la 7ª foglia al disopra dei cotiledoni era la prima provveduta di foglioline laterali, e non ne portava che una. Sopra un'altra pianticella, la 11ª foglia soltanto portava una fogliolina; sulle nove foglie seguenti, cinque non erano provvedute che di una fogliolina laterale, e quattro non ne avevano affatto; infine una foglia, la 21ª sopra ai cotiledoni, mostrava due foglioline laterali rudimentali. Per analogia con ciò che accade nel regno animale si potrebbe sospettare che queste foglioline rudimentali fossero meglio sviluppate, e più regolari, su piante assai giovani. Ma è necessario ricordarsi che caratteri perduti da molto tempo possono talvolta riapparire in un'età più avanzata, è così che le specie di *Desmodium* sono generalmente trifogliolate, ma che alcune sono unifogliolate: fatti che portano a pensare che il *D. gyrans* discenda da una specie unifogliolata, che proveniva essa pure da una forma trifogliolata; in questo caso infatti si potrebbe attribuire alla regressione verso progenitori più o meno lontani, tanto la mancanza delle piccole foglioline laterali sulle pianticelle molto giovani come la loro susseguente apparsa (1).

(1) *Desmodium vespertilionis* è strettamente legato al *D. gyrans*, e questa specie non sembrava portare che occasionalmente delle foglioline rudimentali (DUCHARTRE, *Elém. de Bot.*, 1867, p. 353).

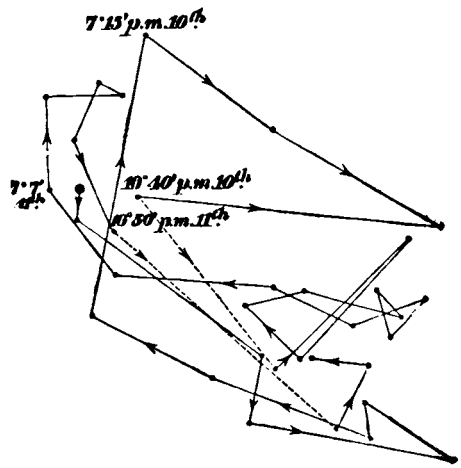
Nessuno può supporre che i rapidi movimenti delle foglioline laterali di *D. gyrans* sieno per la pianta di una qualsiasi utilità: si ignora affatto il perchè esse si comportino in questa guisa. Avendo pensato che tale facoltà motrice doveva essere in relazione col loro stato rudimentale, osservammo le foglioline quasi rudimentali di *Mimosa albida* vel *sensitiva* (di cui più avanti presenteremo lo schizzo, fig. 159); ma esse non mostrarono alcun movimento straordinario, di più, la notte prendevano la loro posizione di sonno come le foglioline sviluppate affatto. Esiste però fra questi due casi una notevole differenza. Il pulvino delle foglioline rudimentali non ha subìto, nel *Desmodium*, una diminuzione di lunghezza (in concordanza con la debolezza del lembo) così notevole come il pulvino delle foglioline di *Mimosa*, e si è dalla lunghezza e dal grado d'incurvatura del pulvino che dipendono l'ampiezza e la rapidità dei movimenti del lembo. Così la lunghezza media del pulvino delle grandi foglioline terminali di *Desmodium* è di 3 mm., mentre che quella delle foglioline rudimentali raggiunge appena mm. 2,86; è questa una piccolissima differenza che è del resto molto più accentuata per il diametro, non essendo quello del pulvino delle piccole foglioline che di mm. 0,3 a mm. 0,4, mentre che il pulvino delle foglioline terminali misura mm. 1,33. Se passiamo ora alla *Mimosa albida*, troviamo che la lunghezza media del pulvino delle foglioline quasi rudimentali non è che di mm. 0,466, cioè a dire un po' meno del quarto della lunghezza del pulvino delle foglie normali, che è di mm. 1,66. Questa debole diminuzione della lunghezza del pulvino delle foglioline rudimentali di *Desmodium* è la causa probabile del loro movimento di circumnutazione sì rapido e considerevole, in contrasto colla lunghezza delle foglioline quasi rudimentali di *Mimosa*. La piccola statura ed il debole peso del lembo, come la poca resistenza che oppone l'aria al suo movimento vi contribuiscono pure senza alcun dubbio; abbiamo visto infatti che se queste foglioline vengono tuffate nell'acqua, la cui resistenza è assai più notevole, i loro movimenti per balzi sono completamente interrotti. Per quale ragione nel *Desmodium* durante la riduzione delle foglioline laterali o nella loro riapparsa — se questa era dovuta ad atavismo — il pulvino sia stato assai meno influenzato del lembo, mentre nella *Mimosa* il pulvino fu assai ridotto, non lo sappiamo. Tuttavia è utile notare, che in questi due generi la riduzione delle foglioline sembrava essere stata effettuata con un processo differente ed a scopi distinti. Nella *Mimosa* infatti la riduzione delle foglioline basilari interne era necessaria per la mancanza di posto; ma una tale necessità non si trova nel *Desmodium*, e la riduzione delle sue foglioline laterali mi sembrava essere piuttosto il risultato del principio di compensazione, e perciò la conseguenza dello sviluppo considerevole della fogliolina terminale.

Uraria (Tribù 6) e *Centrosema* (Tribù 8). — Le foglioline di *Uraria lagopus*, e le foglie di una *Centrosema* del Brasile, discendono verticalmente durante la notte. Nella prima pianta, il picciuolo si eleva contemporaneamente di 16°,5.

Amphicarpæa monoica (Tribù 8). — Le foglioline discendono verticalmente di notte ed i picciuoli si abbassano pure considerevolmente. Un picciuolo che osservammo con cura era nella giornata a 25° al disopra dell'orizzonte, e la notte a 32° al disotto. Discendeva dunque di 57°. Fu fissato un filo trasversalmente sulla fogliolina terminale di una giovane foglia (lunga 2 1/4 poll., compreso il picciuolo) e rilevammo sopra un vetro verticale il movimento dell'intera foglia. Il piano era svantaggioso sotto molti rapporti, avuto riguardo alla rotazione della foglia che indipendentemente dai suoi movimenti verticali determinava l'innalzamento o l'abbassamento del filo. Ma esso conveniva meglio di ogni altro per lo scopo che ci proponemmo, cioè a dire per constatare se il movimento era più rilevante dopo che la foglia aveva preso la sua posizione di sonno. La pianta era stata fissata

solidamente ad un bastone, in modo da prevenire la circumnutazione del fusto. Rilevammo i movimenti della foglia per 48 ore dalle 9 del mattino del 10 luglio alla stessa ora del giorno 12. Si può vedere (fig. 151) quale fosse la complicazione del cammino seguìto in queste due giornate: al secondo giorno la direzione cambiò 13 volte. Le foglioline cominciavano a dormire un poco dopo le 6 di sera; alle 7,15 erano verticali e dormivano completamente. Ma durante le due notti continuarono a muoversi dalle 7,11 di sera alle 10,40 e 10,50 quasi come nella giornata; ciò era quanto desideravamo di sapere. Vediamo dalla figura che il gran movimento di discesa nella sera non differisce essenzialmente dalla circumnutazione diurna.

Fig. 151.



Amphicarpæa monoica: circumnutazione e movimenti nictitropici osservati per 48 ore sopra una foglia, la cui estremità è a 9 pollici dal vetro verticale. Figura ridotta al terzo. Pianta rischiarata dall'alto. Temperatura 17°,5-18°,5 C.

Glycina hispida (Tribù 8). — Le tre foglioline discendono verticalmente durante la notte.

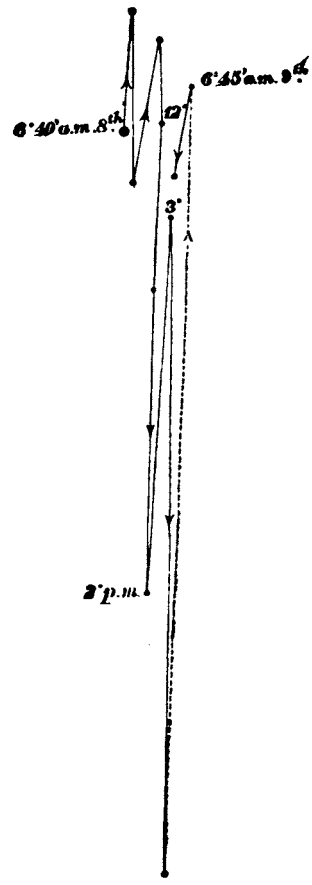
Erythrina (Tribù 8). — Ne osservammo cinque specie e tutte presentarono le loro foglioline che discendevano verticalmente di notte. Nell'*E. Caffra* ed in un'altra specie innominata, i picciuoli si elevarono di qualche poco nello stesso tempo. Rilevammo questi movimenti in una fogliolina terminale d'*E. crista-galli* (essendo fissato il picciuolo principale) dalle 6,40 del mattino dell'8 giugno alle 8, pure del mattino, del 10. Per poter osservare i movimenti nictitropici di questa pianta, è necessario ch'essa abbia germogliato in una serra, poichè in piena aria, nel nostro clima, non dorme. Noi vediamo dal diagramma (fig. 152), che la fogliolina dal mattino inoltrato fino a mezzodì oscillava due volte verticalmente; poi si elevava fino alle 3 pom. A questo momento cominciava la grande discesa notturna. Il secondo giorno (di questo non diamo il diagramma) constatammo la stessa doppia oscillazione prima di mezzodì, ma dopo ne produsse una sola oscillazione assai debole. Al terzo mattino la fogliolina aveva un movimento laterale, ciò che dipendeva dal fatto che incominciava a prendere una posizione obliqua; tale fatto sembra prodursi invariabilmente nelle foglioline di questa specie a misura che invecchiano. Durante le due notti seguenti, le foglioline dormivano verticalmente e continuavano a mostrare un certo movimento verticale e laterale.

Erythrina caffra. — Essendosi fissato un filo trasversalmente sopra una fogliolina terminale, di cui desideravamo osservare i movimenti nictitropici, la pianta fu posta, al mattino del 10 giugno, sotto ad una invetriata che non lasciava penetrare molta luce. Non sappiamo se fu per questo o per altro motivo che la fogliolina conservò tutta la giornata una posizione verticale; tuttavia circumnutava in questa posizione descrivendo una figura che rappresentava due ellissi irregolari. Il giorno dopo circumnutava più fortemente, descrivendo quattro ellissi irregolari, ed alle 3 di sera aveva ripreso la sua posizione orizzontale. Alle 7,15 di sera dormiva, ma continuò a circumnutare fino alle 11, ora nella quale cessò l'osservazione.

Erythrina corallodendron. — Rilevammo i movimenti di una fogliolina termi-

nale. Durante il giorno oscillò quattro volte verso l'alto e quattro volte verso il basso dalle 8 del mattino alle 4 di sera; a questo momento cominciava il grande movimento notturno. Al terzo giorno, il movimento aveva la medesima ampiezza, ma era semplicissimo, poichè la fogliolina si elevava seguendo una linea perfettamente retta dalle 6,50 del mattino alle 3 di sera, poi discendeva sopra una linea pure retta, fino alla sua posizione notturna verticale.

Fig. 152.



Erythrina crista-galli: circumnutazione e movimento nictitropico della fogliolina terminale, lunga 3 3/4 poll., rilevati per 25 ore. Estremità della foglia a 3 1/2 poll. dal vetro verticale; figura ridotta a metà. Pianta rischiarata dall'alto. Temp. 17°,5-18°,5 C.

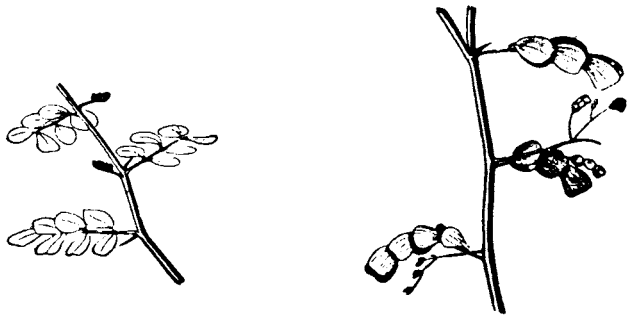
Apios tuberosa (Tribù 8). — Le foglioline discendono verticalmente durante la notte.

Phaseolus vulgaris (Tribù 8). — Le foglioline discendono pure verticalmente di notte. Nella serra il picciuolo di una giovane foglia si elevava di 16° e quello di una foglia più vecchia di 10°. In piante viventi in piena aria le foglioline non mostravano di dormire finchè la stagione non era abbastanza avanzata, poichè nelle notti degli 11 e 12 luglio nessuna aveva la sua posizione di sonno. Nel *P. caracalla* ed *Hernandesii* le prime foglie unifogliolate e le foglioline delle foglie secondarie trifogliolate discendevano verticalmente di notte. Questo movimento è assai pronunciato nelle foglie secondarie trifogliolate di *P. Roxburghii*, ma è da notare che le foglie primarie unifogliolate, più allungate, si elevano di notte di 20° a circa 60° al disopra dell'orizzonte. In pianticelle più vecchie però, le cui foglie secondarie erano appena sviluppate, le foglie primarie erano orizzontali a metà della giornata od un poco inclinate al disotto dell'orizzonte. In un caso simile, le foglie primarie che a mezzodì erano a 26° sotto all'orizzonte, si trovavano alle 10 di sera, a 20° al disopra. Alla stessa ora però le foglioline delle foglie secondarie erano verticali. Abbiamo dunque qui il caso raro di foglie secondarie e primarie che possedono sulla stessa pianta, e nel medesimo tempo, dei movimenti direttamente opposti. Abbiamo visto che le foglioline nei sei generi delle *Phaseoleæ* che abbiamo osservate (ad eccezione delle foglie primarie di *Ph. Roxburghii*) dormono tutte nello stesso modo, discendendo verticalmente. Non osservammo che in tre di questi generi i movimenti dei picciuoli; essi si elevavano nel *Phaseolus* e *Centrosema*, e discendevano nell'*Amphicarpæa*.

Sophora crysophylla (Tribù 10). — Le foglioline si elevano di notte, e si dirigono nello stesso tempo verso l'estremità della foglia, come nella *Mimosa pudica*.

Cæsalpinia, *Hæmatoxylon*, *Gleditschia*, *Poinciana*. — Le foglioline di due specie di *Cæsalpinia*, (Tribù 13) si elevano di notte. Nell'*Hæmatoxylon campechianum* (Tribù 13) le foglioline si muovono in avanti in guisa che le loro nervature mediane divengono parallele al picciuolo, e le loro faccie inferiori, divenute verticali, guardano all'esterno (fig. 153). Il picciuolo discende un poco. Nella *Gleditschia*, se comprendemmo bene la descrizione di Duchartre, e nella *Poinciana Gilliesii* (appartenenti entrambe alla tribù 13), le foglioline si comportano nella stessa maniera.

Fig. 153.



A B

Hæmatoxylon campechianum : A, ramo durante la giornata ; B, ramo che dorme. Ridotti ai due terzi.

Cassia (Tribù 14). — In numerose specie di questo genere, i movimenti nictitropici, affatto simili, sono assai complicati. Linneo per il primo ne ha dato una breve descrizione; poi sono stati descritti di nuovo da Duchartre. Le nostre osservazioni furono portate sopratutto sulla *C. floribunda* (1) e *corymbosa*, ed occasionalmente su qualche altra specie. Le foglioline distese orizzontalmente discendono di notte fino ad una posizione verticale; ma questo movimento non è semplice, come in molti altri generi, poichè ogni fogliolina gira sul suo asse per presentare all'esterno la sua faccia inferiore. Le faccie superiori delle foglioline opposte vengono così in contatto al disotto del picciuolo, ciò che assicura loro una eccellente protezione (fig. 154). La rotazione e gli altri movimenti si effettuarono col mezzo di un pulvino ben sviluppato alla base di ogni fogliolina; si può facilmente verificare questo fatto tracciando nella giornata, lungo quest'organo, una stretta linea nera. Le due foglioline terminali formano insieme, nella giornata, un angolo un po' inferiore ad un retto; ma la loro divergenza cresce fortemente durante la loro rotazione ed il loro movimento di discesa, di guisa che la loro posizione notturna è laterale, come lo indica la figura. Esse hanno di più un leggero movimento verso l'interno e si dirigono così un poco verso la base del picciolo.

In un caso trovammo che la nervatura mediana di una fogliolina terminale formava di notte un angolo di 36° con una linea condotta perpendicolarmente alla estremità del picciuolo. Il secondo paio di foglioline ha pure un leggero movimento nel medesimo senso, ma meno forte di quello del primo paio. Il terzo paio si mosse

(1) Da quanto mi disse Dyer, Bentham crede che la *C. floribunda* (arbusto molto comune nelle serre) sia un ibrido proveniente dalla Francia, e che si avvicini molto alla *C. lævigata*. È fuori di dubbio che questa specie è la stessa che Lindley ha descritto (*Bot. Reg.*, Tab. 1422) come *C. Hebertiana*.

verticalmente verso il basso oppure un po' in avanti. Così tutte le foglioline, in queste specie che non ne portano che 3 o 4 paia, tendono a formare un solo gruppo, con le loro faccie superiori in contatto, e le pagine inferiori rivolte verso l'esterno. Finalmente il picciuolo principale si eleva di notte, a gradi assai differenti secondo l'età delle foglie: alcuni non percorrono che un angolo di 12°, mentre che altri vanno fino a 41°.

Fig. 154.

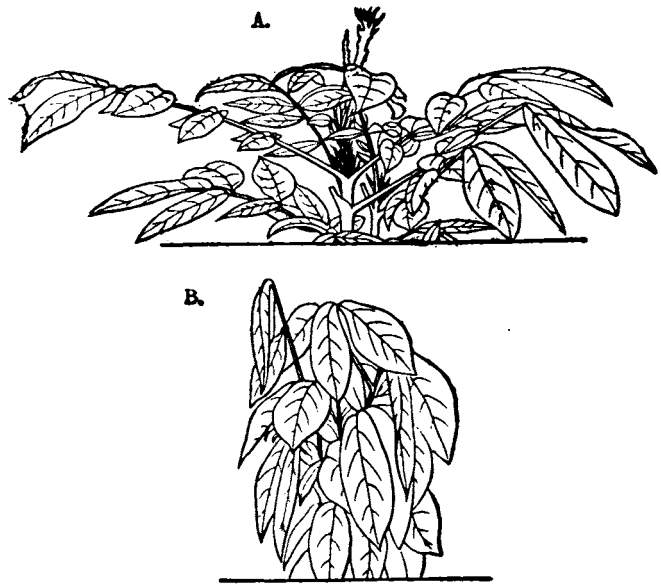
Cassia corymbosa: A, pianta durante il giorno; B, la stessa di notte.
Tolte da fotografie.

Cassia calliantha. — Le foglie portano un gran numero di foglioline, che si muovono di notte, quasi nella stessa guisa di quelle che abbiamo ora descritte. Ma i picciuoli non mostrano di elevarsi; uno di essi, che osservammo attentamente, discese di 3°.

Cassia pubescens. — La principale differenza che esiste fra i movimenti nicti tropici di questa specie e quelli delle specie precedenti, consiste in ciò che le foglioline non hanno un movimento di rotazione così pronunciato; di più, le loro faccie inferiori non guardano che imperfettamente all'esterno durante la notte. I picciuoli leggermente inclinati sull'orizzonte durante la giornata, sono dotati di un notevole movimento notturno di ascesa, motivo per cui le foglie prendono una posizione verticale o quasi. Questo movimento, unito alla posizione notturna perpendicolare

delle foglioline, fa sì che la pianta tutta intiera sia strettamente chiusa durante la notte. Nelle due figure seguenti (fig. 155) copiate da fotografie, la pianta è riprodotta nelle sue due posizioni, e si può vedere quale differenza d'aspetto essa presenti.

Fig. 155.



Cassia pubescens: A, parte superiore della pianta durante il giorno; B, la stessa di notte. Tolte da fotografie.

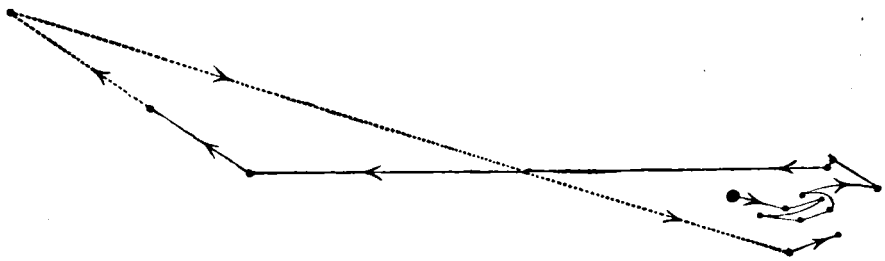
Cassia mimosoides. — La notte le numerose foglioline di ogni foglia girano sul loro asse, e le loro estremità si dirigono verso la punta della foglia; in questo modo si dispongono ad embrici, e la loro faccia inferiore è rivolta in alto, e la loro nervatura mediana è quasi parallela col picciuolo. Per conseguenza questa specie differisce da tutte le altre che abbiamo osservate ad eccezione della seguente per il fatto, che le foglioline non si dirigono in basso di notte. Un picciuolo di cui misurammo il movimento, si elevava la notte ad 8°.

Cassia Barclayana. — Le foglioline di questa specie australese sono numerose, assai strette, e quasi lineari. La notte si elevano un poco e si muovono simultaneamente verso l'etremità della foglia. Per es., due foglioline opposte che formavano insieme, nella giornata, un angolo di 104° non si allontanavano di notte che di 72°; ciascuna si era dunque elevata di 16° al di sopra della sua posizione diurna. Il picciuolo di una giovane foglia si elevava di notte a 34° e quello di una foglia più vecchia a 19°. Avuto riguardo al debole movimento delle foglioline ed al movimento considerevole del picciuolo, l'arbusto presenta di notte un aspetto affatto differente da quello della giornata; le foglie dormono appena.

Osservammo i movimenti di circumnutazione delle foglie di *C. floribunda*, *calliantha*, e *pubescens*, per tre o quattro giorni per ogni specie; essi erano essenzialmente simili, quantunque più semplici nell'ultima specie. Il picciuolo di *C. floribunda* era fissato ad un bastone alla base delle due foglioline terminali, ed un filo venne legato alla nervatura mediana di una di queste ultime. I movimenti furono rilevati dall'1 di sera del 13 agosto, alle 8,30 di mattina del 17, ma non diamo, nella fig. 156, che quelli delle 24 ultime ore. Ogni giorno, dopo le 8 del mattino

(momento in cui la foglia prendeva la sua posizione diurna) fino alle 2 od alle 3 di sera, descriveva dei zig-zag, e circumnutava sopra una piccola estensione. Tra le 2 e le 3 di sera cominciava il grande movimento notturno. Le linee che rappresentano questo movimento e l'elevazione del mattino sono oblique, in causa del modo particolare, già descritto, con cui le foglie dormono.

Fig. 156.



Cassia floribunda: circumnutazione e movimento nictitropico di una fogliolina terminale, lunga 1 5/6 poll., rilevati dalle 8 del mattino al giorno successivo alla stessa ora. Estremità della fogliolina a 5 1/2 poll. dal vetro verticale. Temp. 16°-17°,5 C. Figura ridotta alla metà.

Avendo preso la fogliolina la sua posizione notturna alle 6 di sera, mentre il filo si dirigeva perpendicolarmente verso il basso, rilevammo il movimento fino alle 10,30 di sera; durante questo tempo, esso oscillava da destra a sinistra, completando un poco più di una ellisse.

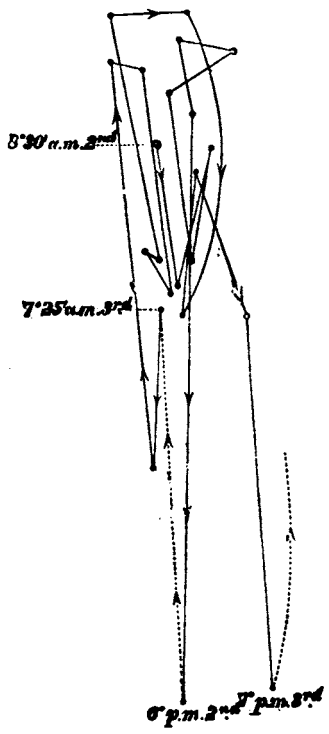
Bauhinia (Tribù 15). — In quattro specie i movimenti nictitropici erano eguali ed affatto particolari. Una pianta, nata da semi che Fritz Müller ci aveva spediti dal sud del Brasile, fu osservata con cura speciale. Le foglie sono larghe ed incise profondamente a mezza luna all'apice. Di notte le due metà si elevano e si applicano con forza l'una contro l'altra, come le foglie opposte di molte leguminose. In piante giovanissime i picciuoli si elevano assai e simultaneamente. Un picciuolo inclinato a mezzodì di 45° sopra l'orizzonte, era di notte a 75°; l'elevazione era dunque di 30°; un altro raggiungeva i 34°. Mentre le due metà della foglia si chiudono, la nervatura mediana discende in principio verticalmente, poi s'inclina indietro, in modo che si muove radendo una delle faccie del proprio picciuolo inclinato in alto; la nervatura mediana si dirige così verso il fusto, cioè a dire verso l'asse della pianta. L'angolo formato dalla nervatura mediana coll'orizzonte fu misurato, in un caso, ad ore differenti; nel corso della sera tale nervatura era verticale, ed alle 10,15 non era che a 27° sotto all'orizzonte, dirigendosi così verso il fusto; aveva dunque percorso un arco di 153°. In causa di questo movimento — ossia di questo pieghettarsi delle foglie — e della elevazione del picciuolo, la pianta intera è molto più raccolta di notte che di giorno, e questi due aspetti differiscono tanto l'uno dall'altro quanto un pioppo piramidale di Lombardia differisce da un'altra specie di pioppo. È singolare che appena le nostre piante furono alquanto più vecchie, cioè a dire ebbero raggiunta un'altezza di 2 o 3 piedi, i picciuoli non si elevarono di notte, e le nervature mediane delle foglie piegate non venivano più curvate indietro lungo un lato del peduncolo fogliare. Abbiamo già notato, in altri generi, che i picciuoli delle piante assai giovani si elevano molto più di quelli delle piante più vecchie.

Tamarindus Indica (Tribù 16). — Le foglioline si avvicinano di notte fino ad incontrarsi, e si dirigono tutte verso l'estremità della foglia. Esse appariscono allora embricate, e le loro nervature mediane divengono parallele al picciuolo. Il movi-

mento è affatto simile a quello di *Hæmatoxylon* (vedi più sopra la fig. 153), ma più spiccato in causa del gran numero di foglioline.

Adenanthera, *Prosopis* e *Neptunia* (Tribù 20). — Nell'*Adenanthera pavonia*, le foglioline si girano sul fianco e discendono di notte. Nella *Prosopis* si dirigono in alto. Nella *Neptunia oleracea*, le foglioline, sulle parti opposte della stessa foglia, vengono in contatto di notte e si dirigono in avanti. Le foglie secondarie si muovono verso il basso, e nel medesimo tempo indietro, o verso il fusto. Il picciuolo principale si eleva.

Fig. 157.



Mimosa pudica: circumnutazione e movimento nictitropico del picciuolo principale, rilevati per 34 ore e 30 minuti.

Mimosa pudica (Tribù 20). — Questa pianta è stata l'oggetto di moltissime osservazioni; ma vi esistono certi fenomeni relativi al nostro soggetto, ai quali non si è posta una sufficiente attenzione. Di notte, lo si sa, le foglioline opposte vengono in contatto e si dirigono verso l'estremità della foglia, ed assumono una forma affatto embricata, proteggendo così le loro faccie superiori. Le quattro foglie secondarie si avvicinano in tal guisa l'una all'altra, e l'intera foglia diviene molto più compatta. Il picciuolo principale discende durante la giornata, fino ad un'ora abbastanza avanzata della sera, poi si eleva fino al mattino di buon'ora. Il fusto è agitato da un movimento di circumnutazione continuo e rapido, quantunque esercitantesi sopra una debole estensione. Osservammo per due giorni alcune piante giovanissime conservate nell'oscurità: quantunque esse fossero assoggettate ad una temperatura un poco troppo bassa (14°-15° C.), il fusto di una di esse descrisse in dodici ore quattro piccole ellissi. Vedremo che il picciuolo principale è egualmente in circumnutazione continua, come ogni foglia secondaria ed ogni singola fogliolina. Se si rilevasse dunque il movimento dell'estremità di una fogliolina, il cammino seguìto sarebbe la risultante del movimento delle quattro parti separate.

La sera antecedente era stato fissato un filo longitudinalmente sul picciuolo principale di una foglia quasi del tutto svilppata, e dotata di una grande sensibilità, che misurava 4 poll. di lunghezza; il fusto era stato fissato sopra un bastone presso alla base del picciuolo. La traccia venne rilevata nella sera sopra un vetro verticale, e ad un'alta temperatura. Il primo punto indicato (fig 157) fu rilevato alle 8,30 del mattino del 2 agosto, e l'ultimo alle 7 di sera del 3. Per 12 ore, nel primo giorno il picciuolo si mosse tre volte in basso e due volte in alto. Nello stesso tempo, al secondo giorno si mosse cinque volte in basso e quattro volte in alto. Le linee ascendenti e discendenti non coincidevano, di guisa che il movimento di circumnutazione del picciuolo era manifesto. La grande discesa della sera, ed il grande movimento notturno di ascesa non rappresentano che una esagerazione di una circumnutazione. È d'uopo però osservare, che il picciuolo discendeva alla sera molto più basso, di quello che si poteva vedere sul vetro verticale, e che si è potuto indicare sul diagramma. Dopo le 7 di sera del 3 (cioè a dire dopo che

ebbimo rilevato l'ultimo punto della fig. 157), il vaso fu trasportato in una camera e trovammo alle 12,50 del mattino (cioè dopo mezzanotte) che il picciuolo era quasi eretto e molto più elevato che alle 10,40 di sera. Allorchè l'osservammo di nuovo alle 4 del mattino, aveva incominciato a discendere, e questo movimento continuò fino alle 6,15 del mattino; poi il picciuolo descrisse delle linee a zig-zag, e si rimise a circumnutare. Facemmo sopra un altro picciuolo delle osservazioni analoghe che ci condussero press'a poco al medesimo risultato.

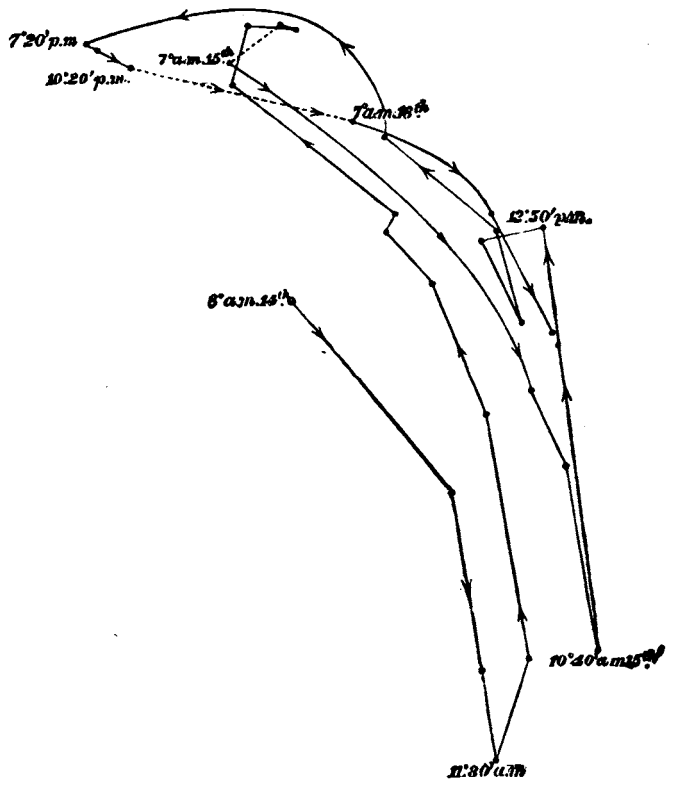
In due altre occasioni osservammo i movimenti del picciuolo principale a degli intervalli di due o tre minuti; le piante erano assoggettate ad una temperatura abbastanza elevata (nel primo caso 25°-27° C.), ed il filo descriveva 2 1/2 ellissi in 69 minuti. La seconda volta con una temperatura di 27°-29° C., descrisse un poco più di 3 ellissi in 67 minuti. Per conseguenza la fig. 157 non è abbastanza complessa, e lo sarebbe stato di più, se i punti fossero stati rilevati sul vetro a degli intervalli di 2 o 3 minuti, in luogo di un'ora o di mezz'ora. Il picciuolo principale descrisse, nel corso della giornata, delle piccole ellissi con un movimento rapido e continuo; ma dopo che aveva incominciato il grande movimento notturno di elevazione, se si avessero rilevati i punti ogni 2 o 3 minuti (come l'abbiamo fatto dalle 9,30 alle 10,30 della sera con una temperatura di 28°,5 C.), la linea che li avesse uniti sarebbe stata quasi affatto retta.

Il movimento del picciuolo è, secondo ogni probabilità, dovuto alle variazioni nella turgescenza del pulvino, e non (secondo le conclusioni di Pfeffer) all'accrescimento. Per dimostrarlo, scegliemmo una foglia assai vecchia, sulla quale alcune foglioline erano già avvizzite, e che aveva quasi completamente perduto la sua sensibilità; la pianta era assoggettata alla temperatura più favorevole di 80° F. Il picciuolo discese dalle 8 alle 10,15 del mattino, poi si elevò un poco descrivendo delle leggere linee a zig-zag, rimanendo spesso stazionario, fino alle 5 di sera, momento in cui cominciò la grande discesa notturna, che continuò almeno fino alle 10 di sera. Alle 7 del mattino successivo si era elevato allo stesso livello che alla vigilia, poi discese descrivendo delle linee a zig-zag. Ma dalle 10,30 del mattino alle 4,15 di sera rimase quasi immobile, avendo allora perduta ogni facoltà di movimento. Dunque il picciuolo di questa vecchia foglia, che aveva da molto tempo terminato il suo accrescimento, era agitato da un movimento periodico; ma in luogo di circumnutare molte volte nella giornata, non vi erano che due movimenti di ascensione e due di discesa in 24 ore; le linee ascendenti e discendenti non coincidevano.

Abbiamo già detto che le foglie secondarie hanno un movimento indipendente da quello del picciuolo principale. Venne fissato il picciuolo di una foglia sopra un sostegno di sughero, presso al punto di divergenza delle foglie secondarie, e si attaccò longitudinalmente, sopra una delle due foglie secondarie terminali, un breve e sottile filo di vetro; dietro a questo filo ed in sua prossimità, era disposto un semicerchio graduato. Guardando verticalmente dall'alto i suoi movimenti angolari e laterali, questi potevano essere misurati con esattezza. Da mezzodì alle 4,15 di sera la foglia secondaria non cambiò di posizione che con un movimento angolare di 7°; ma la direzione di tale movimento non era sempre la stessa, poichè si mosse, in un caso, quattro volte verso una parte, e tre volte nel senso opposto, e sopra un'estensione di 16°. Questa foglia secondaria dunque circumnutava. Ad un'ora più avanzata della sera, le quattro foglie secondarie si avvicinarono l'una all'altra e quella che osservammo percorse verso l'interno un arco di 59° da mezzodì alle 6,45 di sera. Facemmo dieci osservazioni in un intervallo di 2 ore 20 m. (a distanze medie di 14 m.) dalle 4,25 alle 6,45 di sera. Non vi era allora, al momento in cui la foglia prendeva la sua posizione di sonno, oscillazione alcuna da

una parte all'altra, ma bensì un movimento continuo verso l'interno. Si produsse dunque in questo caso nella sera la medesima trasformazione di un moto circumnutante in un moto continuo nella stessa direzione, come avviene nel picciuolo principale.

Fig. 158.



Mimosa pudica: circumnutazione e movimento nictitropico di una fogliolina (la foglia secondaria fissata) dalle 8 del mattino del 14 settembre, alle 9, pure del mattino, del 16.

Abbiamo detto pure che ogni fogliolina separata circumnuta. Una foglia secondaria fu fissata col mezzo della gomma lacca alla sommità di un piccolo bastone, fortemente piantato nel terreno, immediatamente al disotto di un paio di foglioline le cui nervature mediane furono ambedue munite di sottili fili di vetro. Tale trattamento non fece punto soffrire le foglioline, le quali s'addormentarono nel solito modo e conservarono tutta la loro sensibilità. Rilevammo per 49 ore i movimenti di una di esse, come lo mostra la fig. 158. Al primo giorno, la fogliolina discese fino alle 11,30 del mattino, poi si elevò fino ad un'ora abbastanza avanzata della sera descrivendo delle linee a zig-zag che rivelavano lo stato di circumnutazione. Al secondo giorno la fogliolina era più abituata al suo nuovo stato: oscillò due volte in alto e due volte in basso in 24 ore. Questa pianta era assoggettata ad una temperatura abbastanza bassa (16°-17° C.); se fosse stata scaldata un poco di più, senza dubbio il movimento della fogliolina sarebbe stato molto più rapido e più complicato. Si può vedere dal diagramma, che le linee di ascensione non coincidevano con quelle di discesa; ma l'ampiezza considerevole del movimento laterale

della sera proviene dal fatto che le foglioline s'inclinano verso l'estremità della foglia per prendere la loro posizione di sonno. Ebbimo occasione di osservare un'altra fogliolina, e la trovammo in continua circumnutazione durante il medesimo spazio di tempo.

La circumnutazione non è annullata nelle foglie poste nell'oscurità per un tempo moderatamente lungo; ma si perde la periodicità caratteristica dei loro movimenti. Alcune pianticelle assai giovani furono conservate due giorni nell'oscurità (temperatura 14°-15° C.), eccettuati i momenti in cui osservammo la circumnutazione dei fusti. Nella sera del secondo giorno, le foglioline non presero completamente la loro posizione caratteristica di sonno. Il vaso fu allora collocato per tre giorni in un armadio oscuro che aveva press'a poco la stessa temperatura, ed alla fine di questo periodo, le foglioline non davano alcun segno di sonno; esse non erano sensibili al contatto che poco. Il giorno seguente il fusto fu fissato ad un bastone, e rilevammo per mezz'ora, sopra un vetro verticale, i movimenti di due foglie. Le piante furono ancora mantenute nell'oscurità, eccettuato il momento di ogni osservazione che durava 3 o 4 minuti; esse erano allora rischiarate da due candele. Al terzo giorno, le foglioline mostravano ancora delle traccie di sensibilità, allorchè si premevano fortemente, ma nella sera, non davano alcun segno di sonno. Tuttavia i loro picciuoli continuavano a circumnutare distintamente, quantunque avessero perduto l'ordine caratteristico dei loro movimenti, in relazione col giorno e colla notte. Così una foglia, durante le due prime notti (cioè dalle 10 di sera alle 7 del mattino) discese in luogo di salire, e la terza notte il suo movimento principale aveva una direzione laterale. La seconda foglia si comportava pure in modo affatto anormale, poichè ebbe un movimento laterale durante la prima notte, discese fortemente nel corso della seconda, e risalì nella terza ad un'altezza insolita.

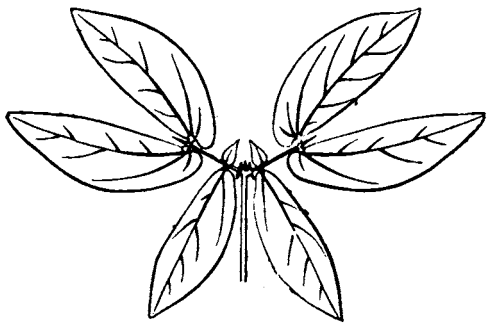
Con piante conservate ad un'alta temperatura ed esposte alla luce, il movimento circumnutante più rapido dell'estremità di una foglia che abbiamo osservato, era di 1/500 di pollice per secondo; esso avrebbe raggiunto 1/8 di pollice per minuto, se la foglia non avesse avuto dei momenti di arresto. La distanza percorsa dall'estremità (determinata col mezzo di una misura posta presso alla foglia) fu in un caso di circa 3/4 di poll. nella direzione verticale in 15 m., ed in un'altra occasione di 5/8 di poll. in 60 m., ma si produceva nello stesso tempo un certo movimento laterale.

Mimosa albida (1). — Le foglie di questa pianta, di cui una è rappresentata dalla fig. 159, ridotta ai 2/3 della grandezza naturale, offrono alcune particolarità interessanti. Esse sono formate da un lungo picciuolo portante due sole foglie secondarie (rappresentate qui un poco più scostate di quello che non lo siano di solito); ciascuna porta due paia di foglioline. Ma le foglioline basilari interne sono fortemente ridotte nella loro grandezza, ciò che è probabilmente dovuto al fatto che è loro mancato lo spazio per svilupparsi; si possono perciò considerare come quasi rudimentali. La loro grandezza varia un poco, e tutte due, od una soltanto, possono talvolta scomparire. Tuttavia non sono punto rudimentali rispetto alle loro funzioni, poichè sono sensibili, estremamente eliotropiche, e circumnutano con quasi la medesima celerità delle foglioline ben sviluppate, e prendono sotto l'azione del sonno, esattamente la stessa posizione. Nella *M. pudica*, le foglioline interne della base delle foglie secondarie sono pure fortemente ridotte e troncate obliqua-

(1) THISELTON DYER c'informa che questa pianta peruviana (che ci era stata spedita da Kew) è considerata da Bentham (*Trans. Linn. Soc.*, vol. XXX, p. 390) come « la specie o la varietà che rappresenta più comunemente la *M. sensitiva* dei nostri giardini ».

mente. Questo fatto era assai visibile sopra pianticelle di *M. pudica* di cui la terza foglia al disopra dei cotiledoni non portava che due foglie secondarie, provvedute ciascuna di 3 o 4 paia di foglioline; la fogliolina basilare interna era almeno di metà più corta delle altre, di guisa che la foglia intiera rassomigliava abbastanza da vicino a quella di *M. albida*. In quest'ultima specie il picciuolo principale termina con una piccola punta, da ogni parte della quale si trova un paio di piccole escrescenze carnose, in forma di lancette, provvedute di peli sui loro bordi, che cadono e scompaiono poco dopo il completo sviluppo della foglia. Si può appena dubitare che queste piccole escrescenze sieno almeno i rappresentanti temporanei di un paio addizionale di foglioline per ogni foglia secondaria; infatti, l'esterna è due volte sì larga dell'interna, ed un poco più lunga; essa misura 7/100 di poll. in lunghezza, mentre che l'altra non ha che 5-6/100 di poll. Se il paio basilare delle foglioline nelle foglie esistenti divenisse rudimentale, dovremmo attenderci che i rudimenti mostrassero ancora una traccia della loro attuale notevole ineguaglianza nella grandezza. La struttura della prima vera foglia viene pure ad appoggiare la nostra conclusione, e dimostra che le foglie secondarie della forma genitrice di *M. albida* possedevano almeno tre paia di foglioline, in luogo di due come esistono attualmente. Questa prima foglia consiste in un semplice picciuolo, portante spesso tre paia di foglioline. Quest'ultimo fatto, come pure la presenza dei rudimenti, ci portano a concludere che la *M. albida* discende da una forma le cui foglie portavano più di due paia di foglioline. La seconda foglia al disopra dei cotiledoni somiglia, a prima vista, alle foglie delle piante bene sviluppate. Quando le foglie prendono la loro posizione di sonno, ogni fogliolina eseguisce una mezza rivoluzione sul suo asse, in modo da presentare uno dei suo bordi allo zenit, e viene in contatto con la fogliolina opposta. Le foglie si avvicinano pure fortemente l'una all'altra, in guisa che le quattro foglioline terminali si trovano riunite. Le grandi foglioline basilari (in contatto con quelle interne rudimentali) si muovono in alto ed avanti, per abbracciare la faccia esterna delle foglioline terminali riunite; così le otto foglioline (comprendendovi le due rudimentali) formano insieme un solo gruppo verticale. Le due foglie secondarie discendono nello stesso tempo che si avvicinano reciprocamente, e così, in luogo di estendersi orizzontalmente sul prolungamento del picciuolo principale, come durante il giorno, s'inclinano di notte di circa 45°, od anche di un angolo maggiore, al disotto dell'orizzonte. Il movimento del picciuolo principale sembrava essere variabile; noi l'abbiamo visto di sera 27° più basso che di giorno; ma talvolta conserva press'a poco la stessa posizione. Però, il suo cammino normale è probabilmente un movimento di discesa nella sera e di ascesa nel corso della notte; tale movimento è infatti ben marcato nel picciuolo della prima foglia apparsa.

Fig. 159.



Mimosa albida : Foglia vista verticalmente dall'alto.

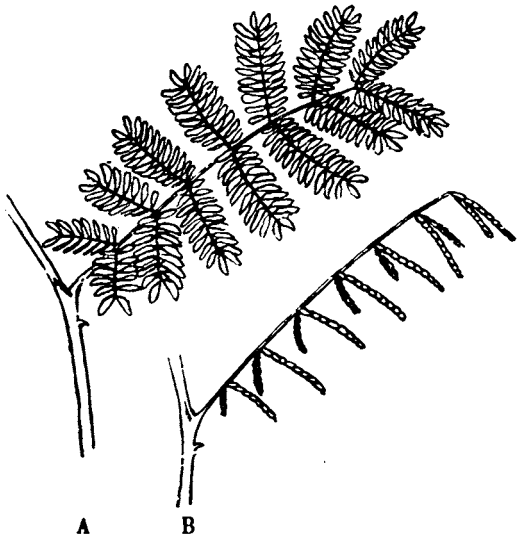
Abbiamo tracciato per 2 giorni e 3/4 la circumnutazione del picciuolo principale di una giovane foglia; essa era assai estesa, ma meno complessa di quella di *M. pudica*. Il movimento laterale era molto più forte di quello che si constata

ordinariamente nelle giovani foglie in circumnutazione; era questa del resto la sola particolarità da notarsi. L'estremità di una delle foglioline terminali, vista sotto al microscopio, percorreva 1/50 di poll. in 3 minuti.

Mimosa marginata. — Le foglioline opposte si elevano e si avvicinano l'una all'altra durante la notte, ma non vengono in contatto che quando si tratta di foglie giovanissime portate da rami vigorosi. Le foglioline il cui accrescimento è completo, circumnutano durante la giornata, ma lentamente, ed in grado debole.

Schrankia uncinata (Tribù 20). — Una foglia si compone di due o tre paia di foglie secondarie, portanti ciascuna numerose piccole foglioline. Queste ultime, allorchè la pianta dorme, si dirigono in avanti, e divengono embricate. L'angolo compreso fra le due foglie secondarie terminali diminuisce di notte; questa diminuzione era, in un caso, di 15°; esse discendono nello stesso tempo fino a divenire quasi verticali. Le paia seguenti delle foglie secondarie discendono pure, ma senza convergere, cioè a dire senza dirigersi verso l'estremità della foglia. Il picciuolo principale non subì alcuna depressione, almeno nella sera. A quest'ultimo riguardo, come pure per i movimenti di discesa delle foglie secondarie, vi ha una differenza spiccata fra i movimenti nictitropici di questa specie e quelli di *Mimosa pudica.* Bisogna però aggiungere che il nostro esemplare non era molto vigoroso. Le foglie secondarie di *Schrankia aculeata* discendono di notte.

Fig. 160.



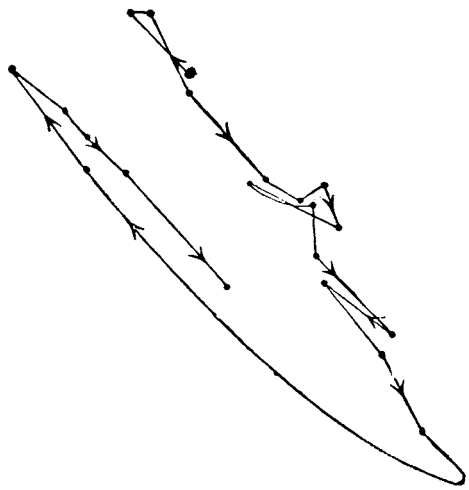
Acacia Farnesiana: A, foglia nella giornata; B, la stessa di notte.

Acacia Farnesiana (Tribù 22). — Esiste una ammirevole differenza nell'aspetto che presenta questa pianta quando dorme e durante la veglia. La stessa foglia in questi due stati è rappresentata dalla fig. 160. Le foglioline si dirigono verso l'estremità della foglia secondaria, sono embricate, e le foglie secondarie somigliano allora a dei fili pendenti. Le osservazioni e le misure seguenti non si applicano completamente alla piccola foglia qui figurata. Le foglie secondarie si muovono in avanti, e nello stesso tempo discendono; mentre il picciuolo principale ha un movimento considerevole di ascesa. Per ciò che concerne l'ampiezza del movimento, le due foglie secondarie terminali d'un esemplare formavano insieme nella giornata un angolo di 100°, e di soli 38° nella notte; ognuna si era dunque spostata di 31° in avanti. Le penultime foglie secondarie formavano nel corso della giornata un angolo di 180°, ossia erano opposte l'una all'altra in linea retta; la notte ciascuna aveva percorso 65° in avanti. Le due foglie secondarie della base formavano ciascuna nella giornata un angolo di 21° rivolto indietro e di notte un angolo di 38° in avanti; ciascuna aveva dunque percorso 59° in avanti. Ma le foglie secondarie discendevano fortemente nello stesso tempo, e qualchevolta pendevano perpendicolarmente. Il picciuolo principale, d'altra parte, si eleva molto;

alle 8,30 di sera, uno di questi organi era di 34° più alto che a mezzodì, ed alle 6,40 del mattino successivo, si era ancora elevato di 10°; poco dopo cominciò il movimento diurno di discesa. Rilevammo per 14 ore il cammino di una foglia quasi completamente sviluppata; essa presentava delle forti linee a zig-zag, e sembrava formare cinque ellissi, i cui grandi assi avevano direzioni differenti.

Albizzia lophanta (Tribù 23). — Le foglioline di notte vengono in contatto l'una con l'altra, e si dirigono verso l'estremità della foglia secondaria. Le foglioline secondarie si avvicinano l'una all'altra, ma restano nello stesso piano che nella giornata; sotto questo aspetto esse differiscono molto da quelle di *Schrankia* e di *Acacia*. Il picciuolo principale non si eleva che poco. La prima foglia formata al disopra dei cotiledoni porta 11 foglioline da ogni parte, e queste dormono come quelle delle foglie che sono formate più tardi; ma il picciuolo di questa prima foglia era nella giornata inclinato in basso e di notte si raddrizzava, di guisa che la corda dell'arco da esso formato era allora di 16° più elevata che nella giornata.

Fig. 161.



Passiflora gracilis: circumnutazione e movimento nictitropico di una foglia, rilevati sopra un vetro verticale dalle 8,20 della mattina del 13 ottobre alle 10, pure di mattina, del giorno 14. Figura ridotta ai due terzi.

Melaleuca ericæfolia (Myrtaceæ). — Secondo Bouché (*Bot. Zeitung*, 1874 p. 359), le foglie dormono di notte press'a poco nello stesso modo di quelle di certe specie di *Pimelia*.

Œnothera mollissima (Anagrarieæ). — Secondo Linneo (*Somnus plantarum*) le foglioline si elevano di notte verticalmente.

Passiflora gracilis (Passifloraceæ). — Le giovani foglie dormono in modo che i loro lembi pendono verticalmente in basso, poscia il picciuolo si curva in basso in tutta la sua lunghezza. Il picciuolo della foglia più elevata di un giovane ramo era alle 10,45 del mattino a 33° al disopra dell'orizzonte, ed alle 10,30 di sera, quando il lembo pendeva verticalmente, non si trovava che a 15°; era dunque disceso di 18°. Quello della foglia seguente in ordine di età si abbassò di soli 7°. Per una causa sconosciuta le foglie non dormono sempre in maniera regolare. Il fusto di una pianta che era rimasta qualche tempo davanti ad una finestra al N.-E., fu fissato sopra un bastone alla base di una giovane foglia, il cui lembo era inclinato di 40° sotto all'orizzonte. In causa di questa posizione, la foglia era vista obliquamente, ed i movimenti verticali apparivano obliqui sulla traccia. Il primo giorno (12 ottobre), la foglia discese fino ad un'ora avanzata della sera descrivendo una linea a zig-zag. Alle 8,15 del mattino del giorno 13 aveva riguadagnato press'a poco il livello che occupava al mattino precedente. Cominciammo allora una nuova traccia (fig. 161). La foglia continuò ad elevarsi fino alle 8,50 del mattino, poi si diresse un poco verso la destra ed in seguito discese. Dalle 11 del mattino alle 5 di sera, circumnutò, e dopo questo momento cominciò la grande discesa notturna. Alle 7,15 della sera era verticale. La linea punteggiata dovrebbe essere prolungata

molto più in basso nella figura. Il mattino successivo (14) alle 6,50, la foglia si era fortemente elevata, e continuò fino alle 7,50 del mattino, per discendere in seguito. Bisogna osservare che le linee tracciate in questa seconda mattina si sarebbero confuse coincidendo colle precedenti, se il vaso non fosse stato un po' spostato verso sinistra. Nella sera (del 14) collocammo un punto di riscontro dietro al filo fissato all'estremità della foglia, e rilevammo con cura il suo movimento dalle 5 alle 10,15 della sera. Dalle 5 alle 7,15 la foglia discese seguendo una linea retta ed a quest'ultimo momento appariva verticale. Ma dalle 7,15 alle 10,15 pom. la linea fu formata da una successione di scosse, di cui non ne potemmo riconoscere la causa; era peraltro manifesto che il fenomeno non era più un semplice movimento di discesa.

Siegesbeckia orientalis (Compositæ). — Alcune pianticelle nacquero durante l'inverno, e furono conservate nella serra; esse fiorirono, ma il loro accrescimento era stato cattivo, e le loro foglie non davano alcun segnale di sonno. Le foglie di altre pianticelle nate in maggio erano orizzontali a mezzodì (al 22 giugno), e formavano alle 10 di sera, un angolo considerevole al disotto dell'orizzonte. Per quattro giovani foglie lunghe da 2 a 2 1/2 poll. questi angoli si trovavano di 50°, 56°, 60° e 65°. Alla fine d'agosto le piante avevano raggiunto un'altezza di 10 a 11 poll.; le foglie più giovani erano di notte inclinate in basso così fortemente, che si potevano a ragione dire dormenti. Questa specie appartiene a quelle che per dormire hanno bisogno di essere ben rischiarate durante la giornata, poichè in due occasioni, nelle piante che erano rimaste tutto il giorno davanti a finestre poste al N.-E., tali foglie di notte non dormirono. La stessa causa spiega probabilmente il perchè le foglie nate alla fine dell'inverno non dormivano. Il professore Pfeffer c'informa che le foglie di un'altra specie (*S. Jorullensis ?*) pendono verticali durante la notte.

Ipomœa cœrulea et *purpurea* (Convolvulaceæ).— Le foglie di piante assai giovani, alte da uno a due piedi s'inclinano di notte a 68° ed 80° sotto all'orizzonte; alcune pendono verticalmente. Al mattino successivo si elevano fino alla posizione orizzontale. I picciuoli s'incurvano di notte in basso, sia su tutta la lunghezza, sia nella loro parte superiore soltanto; è probabilmente ciò che determina il movimento del lembo. Sembrava necessario che, per dormire, le foglie fossero state ben rischiarate nel corso della giornata, poichè quelle che si trovavano alla parte posteriore di una pianta posta davanti ad una finestra al N.-E., non dormivano.

Nicotiana tabacum (varietà della Virginia) e *glauca* (Solaneæ). — Le giovani foglie di queste due specie dormono dirigendosi verticalmente in alto. Diamo (fig. 162) il disegno di due rami di *N. glauca*, nella giornata e nella notte; uno dei rami di cui prendemmo la fotografia era accidentalmente inclinato sopra un lato.

Alla base del picciuolo di *N. tabacum*, alla faccia esterna, si trova una massa di cellule un poco più piccole delle altre, e di cui gli assi maggiori hanno un'altra direzione di quelli delle cellule ordinarie del parenchima; esse possono essere considerate come formanti una specie di pulvino. Fu scelta per l'osservazione una giovane pianta di *N. tabacum*, e seguimmo per tre giorni la circumnutazione della quinta foglia al disopra dei cotiledoni. Nella prima mattina (del 10 luglio) la foglia discese dalle 9 alle 10, essendo questo il suo cammino normale, ma si elevò durante il resto della giornata; ciò era dovuto senza dubbio al fatto ch'essa era rischiarata soltanto dall'alto; invero l'ascesa ordinaria della sera non cominciò prima delle 3 o delle 4. Essendo stato marcato alle 3 di sera il primo punto della fig. 163, la traccia fu continuata per le 65 ore che seguirono. Allorchè la foglia si trovò di faccia al punto che viene dopo quello delle 3 di sera, era orizzontale.

Il diagramma non ha di notevole che la sua semplicità, le linee si avvicinano alla retta. La foglia descriveva ogni giorno una sola grande ellisse, poichè bisogna

osservare che le linee ascendenti e discendenti non coincidevano. Nella sera dell'11, la foglia non discese così bassa del solito, e descrisse una leggera linea a zig-zag. Il movimento diurno di ascesa cominciava sempre alle 7 del mattino. Le linee punteggiate, che stanno in alto della figura e che rappresentano la posizione notturna verticale della foglia, dovrebbero prolungarsi molto più in alto.

Fig. 162.

Nicotiana glauca: rami con foglie distese di giorno e che dormono di notte. Figure ridotte, tolte da fotografie.

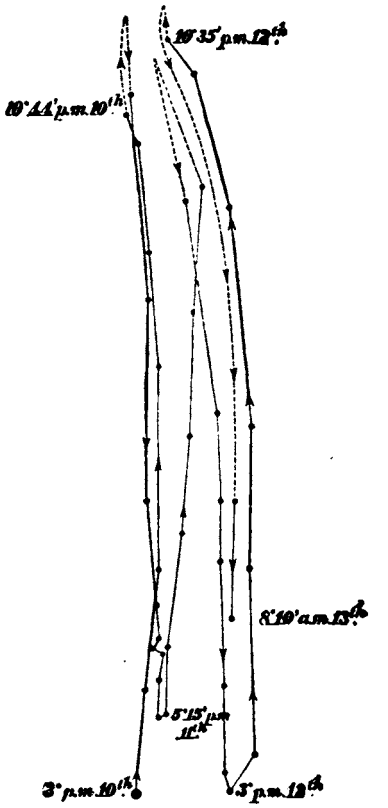
Mirabilis longiflora e ***jalapa*** (Nictagineæ). Il primo paio di foglie (al disopra dei cotiledoni) prodotto da pianticelle di queste due specie era molto divergente durante il giorno e trovavasi eretto di notte in modo che una foglia era in stretto contatto coll'altra. Le due foglie superiori di una pianticella più vecchia erano quasi orizzontali nella giornata, e verticali di notte, ma senza venire in contatto, in causa della resistenza che offriva la gemma centrale.

Polygonum aviculare (Poligoneæ). — Il professore Batalin c'informa che le giovani foglie si alzano verticalmente di notte. Ciò avvenne pure, secondo Linneo, in molte specie d'***Amaranthus*** (Amaranthaceæ); noi stessi abbiamo osservato un movimento di tale natura in un membro di questo genere. Di più, nel ***Chenopodium album*** (Chenopodieæ) le giovani foglie superiori di alcune pianticelle alte circa 4 poll. erano, nella giornata, orizzontali o suborizzontali, ed alle 10 di sera del 7 marzo, affatto, o quasi affatto, verticali. Altre pianticelle nate nella serra durante l'inverno (al 28 gennaio), furono osservate notte e giorno, e non potemmo constatare alcuna differenza nella posizione delle loro foglie. Secondo Bouché (*Bot. Zeitung*, 1874, p. 359) le foglie di ***Pimelia linoides*** e ***spectabilis*** (Timeleacee), dormono durante la notte.

Euphorbia jacquiniæflora (Euforbiaceæ). — Il sig. Lynch richiama la nostra attenzione sopra il fatto, che le foglie giovani di questa pianta, nella loro posizione di sonno, pendono verticalmente. La terza foglia a partire dalla sommità (l'11 marzo) era inclinata durante il giorno di 30° al disotto dell'orizzonte, e di notte pendeva verticalmente, avvenne la stessa cosa per alcune foglie ancora più giovani. Il mattino successivo, ritornava allo stesso livello di prima. La quarta e la quinta foglia a partire dalla sommità erano orizzontali nella giornata, e non discendevano di notte che di 38°. La sesta, non cambiò sensibilmente di posizione. Il movimento di discesa è dovuto all'incurvatura del picciuolo in basso, nessuna parte di quest'ultimo mostra una struttura analoga a quella di un pulvino. Il 7 giugno di mattina per tempo, fu fissato un filo di vetro longitudinalmente sopra una giovane foglia (la terza a partire dall'estremità), lunga 2 5/8 di poll., ed i suoi movimenti furono rilevati per 72 ore sopra un vetro verticale; la pianta era rischia-

rata dall'alto attraverso ad un'invetriata. Ogni giorno, la foglia discendeva seguendo una linea quasi retta dalle 7 del mattino alle 5 di sera; a questo punto era così fortemente inclinata in basso, che i suoi movimenti non potevano essere più oltre rilevati; nella seconda metà della notte, od al mattino di buon'ora, la foglia risaliva. Circumnutava dunque in modo semplicissimo descrivendo in 24 ore una sola grande ellisse, poichè le linee ascendenti e discendenti non coincidevano. Ogni mattina occupava un'altezza un po' minore di quella della vigilia, ciò che era probabilmente dovuto in parte all'invecchiare della foglia, ed in parte all'insufficienza della luce. Infatti, quantunque le foglie non sieno che assai poco eliotropiche, la loro inclinazione diurna è però determinata, secondo le osservazioni di Lynch, e nostre, dall'intensità della luce ch'esse ricevono. Al terzo giorno, l'ampiezza del movimento di discesa era molto diminuita, e la linea tracciata correva assai più a zig-zag che nei giorni precedenti; sembra che la foglia impiegasse così una parte della sua capacità di movimento. Il 7 giugno alle 10 della sera, essendo la foglia verticale, osservammo i suoi movimenti col mezzo di un punto di riscontro posto dietro di essa, e vedemmo l'estremità del filo di vetro oscillare in modo lento ed appena sensibile da destra a sinistra e verticalmente.

Fig. 163.



Nicotiana tabacum: circumnutazione e movimento nictitropico di una foglia lunga 5 3/8 di pollice. Rilevati su vetro verticale dalle 3 di sera del 10 luglio alle 8,10 di mattina del 13. Temper. 17°,5-18°,5 C. Figura ridotta a metà.

Phyllanthus Niruri (Euforbiaceæ). — Le foglioline di questa pianta dormono, secondo Pfeffer (1) in modo notevole e come quelle di *Cassia;* esse discendono di notte e girano sul loro asse, in guisa che le loro faccie inferiori guardano verso l'esterno. Esse sono provvedute di pulvino, cosa che si doveva attendere vedendo la complicazione dei loro movimenti.

GIMNOSPERME.

Pinus Nordmanniana (Coniferæ). — Il Chatin disse (2) che le foglie che sono orizzontali nella giornata, si elevano di notte in modo da prendere una posizione quasi perpendicolare sul ramo che le porta; riteniamo che ciò si riferisca ad un ramo orizzontale. Egli aggiunse: « Nello stesso tempo, questo movimento di ascesa è accompagnato da un movimento di torsione impresso alla parte basilare dalla

(1) *Die Period. Beweg.*, p. 159.
(2) *Comptes rend.*, gennaio 1876. p. 171.

foglia, che può spesso percorrere un arco di 90 gradi ». Le faccie inferiori delle foglie essendo bianche, mentre le superiori sono di un verde scuro, l'albero ha di giorno un aspetto diverso da quello che ha di notte. Le foglie di un piccolo albero posto in un vaso non ci mostrarono alcun movimento nictitropico. Abbiamo visto in uno dei capitoli precedenti, che le foglie di *Pinus pinaster* ed *Austriaca* sono in continua circumnutazione.

MONOCOTILEDONI.

Thalia dealbata (Cannaceæ). — Le foglie di questa pianta dormono girandosi verticalmente in alto. Esse sono provvedute di pulvini ben sviluppati. È questo il solo caso di sonno che conosciamo in una foglia assai grande. Il lembo di una giovane foglia che non misurava ancora che 13 1/4 poll. di lunghezza e 6 1/2 poll. di larghezza, formava a mezzodì un angolo di 121° col suo lungo picciuolo; di notte si era posto verticalmente sul prolungamento di esso, e si era per conseguenza elevato di 59°. La distanza che percorreva allora l'estremità di una grande foglia (misurata col mezzo di una traccia ortogonale) dalle 7,30 del mattino alle 10 di sera, era di 10 1/2 poll. Rilevammo per due giorni, sopra un vetro verticale, la circumnutazione di due giovani foglie, poste fra le foglie più grandi della base della pianta. Il primo giorno, l'estremità di una di esse, ed al secondo giorno, l'estremità dell'altra, descrissero dalle 6,40 del mattino alle 4 di sera due ellissi, i cui assi maggiori si estendevano in direzioni assai differenti dalle linee che rappresentavano la grande discesa diurna e la elevazione notturna.

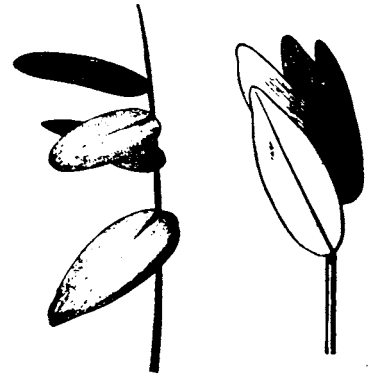
Maranta arundinacea (Cannaceæ). — I lembi delle foglie, che sono provveduti di pulvino, sono orizzontali di giorno, od inclinati di 10° a 20° sull'orizzonte, e verticali di notte. Essi dunque si elevano nell'oscurità di 70° a 90°. La pianta fu collocata a mezzodì in un luogo oscuro nella serra, ed il giorno successivo rilevammo i movimenti delle foglie. Dalle 8,40 alle 10,30 del mattino si elevarono, poi discesero fortemente fino ad 1 ora 37 della sera. Ma alle 3 si erano di nuovo alquanto alzate, e continuarono per il resto della sera e durante la notte. L'oscurità prolungata per un giorno e mezzo non è sufficiente per alterare la periodicità dei loro movimenti. In una sera calda ma umida la pianta, mentre la si trasportava nella casa, fu scossa violentemente, e di notte nessuna foglia prese la sua posizione di sonno. Al mattino successivo fu rimessa nella serra, ma ancora nella notte le foglie non dormirono; e finalmente nella successiva il sistema fogliare si elevò come al solito, di 70° ed 80°. Questo fatto è analogo a quello che abbiamo osservato nelle piante rampicanti, dove una forte agitazione toglie per qualche tempo alla foglia la facoltà di circumnutare; ma in questo caso l'effetto prodotto era molto più sensibile e più prolungato.

Colocasia antiquorum (*Caladium esculentum*, Hort.) (Aroideæ). — Le foglie di questa pianta dormono abbassando la sera i loro lembi, in modo che sieno fortemente inclinati, oppure verticali, mentre le loro estremità guardano il suolo. Non sono provvedute di pulvino. Il lembo di una di tali foglie era a mezzodì ad 1° al disotto dell'orizzonte, alle 4,20 di sera a 20°, alle 6 a 43°, alle 7,20 a 69°, ed alle 8,30 a 68°; a questo punto dunque aveva incominciato ad elevarsi; alle 10,15 di sera era a 65°, ed al mattino successivo per tempo ad 11° sotto all'orizzonte. Rilevammo per 48 ore sopra un vetro verticale la circumnutazione di un'altra giovane foglia, il cui picciuolo misurava 3 1/4 poll. ed il lembo 4 poll. di lunghezza. Essa era debolmente rischiarata attraverso ad un'invetriata, ciò che sembrava turbare la regolarità dei suoi movimenti. Nondimeno la foglia discese fortemente nel corso

delle due sere fino alle 7,10 o fino alle 9, poscia si elevò un poco e si mosse lateralmente. Nelle due mattine di buon'ora riprese la sua posizione diurna. I movimenti laterali ben marcati per un certo tempo al cominciare della notte, costituivano il solo fatto interessante, poichè essi erano la causa che le linee ascendenti e discendenti non coincidevano in accordo colla regola generale che governa gli organi circumnutanti. I movimenti delle foglie di questa pianta sono dunque della massima semplicità, e non abbiamo creduto necessario di riportare qui il diagramma. Abbiamo visto che in un altro genere d'Aroidee, *Pistia*, le foglie hanno un movimento notturno di ascesa così esteso, che si può dire che dormono.

Strephium floribundum (1) (Gramineæ). — Le foglie ovali provvedute di un pulvino stanno, nel corso della giornata, sia distese orizzontalmente, sia un poco inclinate al disotto dell'orizzonte. Quelle che sono portate sopra steli verticali, non fanno che elevarsi perpendicolarmente durante la notte, di guisa che le loro estremità si dirigono verso lo zenit (fig. 164). Le foglie orizzontali portate sopra sostegni fortemente inclinati o quasi orizzontali dirigono di notte la loro punta verso l'estremità dello stelo, uno dei loro margini laterali dirigendosi verso lo zenit, e per poter prendere questa posizione, le foglie devono girare sul loro asse seguendo un angolo di circa 90°. La superficie del lembo è così sempre verticale, qualunque possa essere la posizione della nervatura mediana o dell'intera foglia.

Fig. 164.



Strephium floribundum: steli con foglie nella loro posizione di veglia e di sonno. Figure ridotte.

Rilevammo per 48 ore la circumnutazione di una giovane foglia lunga 2, 3 poll. (fig. 165). Il movimento era semplicissimo; la foglia cominciò a discendere prima delle 6,40 del mattino, e continuò fino alle 2 o 2,50 dopo mezzodì, poi si alzò fino alla verticale alle 6 della sera circa, poscia discese di nuovo nell'ultima parte della notte, od al mattino per tempo. Al secondo giorno la linea discendente era fortemente a zig-zag. Come al solito le linee ascendenti e discendenti non coincidevano. In un altro caso, con una temperatura un poco elevata, di 24°-26°,5 C., osservammo 17 volte una foglia fra le 8,50 del mattino e le 12,16 della sera; essa cambiò di cammino sei volte in questo intervallo di 3 ore 26 m. fino a formare un angolo retto, e descrisse due triangoli irregolari, ed un semitriangolo. Dunque la foglia, in questo caso, aveva un movimento rapido e complicato di circumnutazione.

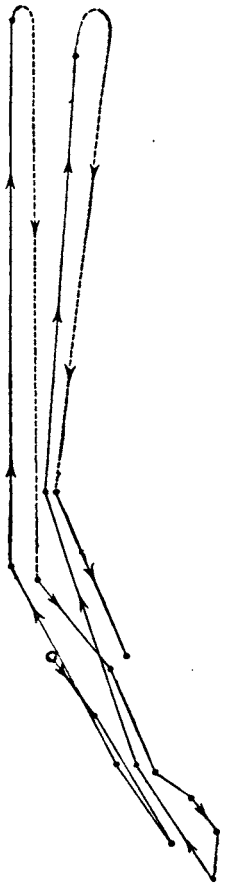
ACOTILEDONI.

Marsilea quadrifoliata (Marsileaceæ). — Si vede in A (fig. 166) lo schema di una foglia distesa orizzontalmente durante la giornata. Ogni fogliolina è provveduta di un pulvino ben sviluppato. Quando le foglie dormono, le due foglioline terminali si alzano, con un mezzo movimento di torsione, e vengono in contatto l'una con l'altra (B), e sono più tardi coperte dalle due altre foglioline (C), in guisa che

(1) A. BRONGNIART ha osservato per il primo che le foglie di questa pianta e quelle di Marsilea dormono: vedi *Bulletin de la Soc. Bot. de France*, t. VII, 1860, p. 470.

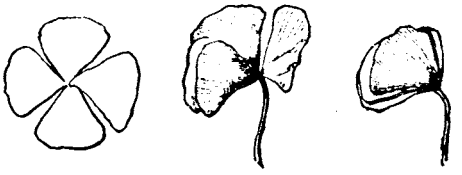
le quattro foglioline formano insieme un gruppo verticale, con le loro superficie inferiori rivolte verso l'esterno. È per un semplice accidente che la foglia rappresentata durante il sonno ha l'estremità del suo picciuolo incurvata. La pianta fu posta in una camera dove la temperatura non era che poco superiore a 15° C.; rilevammo per 24 ore il movimento di una delle foglioline, essendo stato precedentemente fissato il picciuolo (fig. 167). La foglia discese dalla mattina per tempo fino ad 1,50 della sera, poi si elevò fino alle 6 di sera, e prese la sua posizione di sonno. Un filo di vetro pendente verticalmente fu allora fissato sopra una delle foglioline terminali superiori; una parte della traccia ottenuta (fig. 167) mostra che essa continuò a discendere descrivendo una linea a zig-zag fino alle 10,40

Fig. 165.



Strephium floribundum: circumnutazione e movimento nictitropico di una foglia, rilevati dalle 9 del mattino del 26 alle 8,45 antim del 27 giugno. Filo fissato sulla nervatura mediana. Estremità della foglia a 8 1/4 poll. dal vetro verticale. Pianta rischiarata dall'alto. Temperatura 23°,5-24°,5 C.

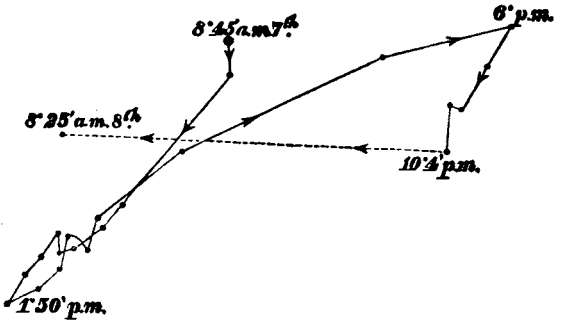
Fig. 166.



A B C

Marsilea quadrifoliata: A, foglia durante la giornata, vista verticalmente dall'alto; B, foglia che incomincia a dormire, vista lateralmente; C, la stessa che dorme. Figure ridotte di metà.

Fig. 167.



Marsilea quadrifoliata: circumnutazione e movimento nictitropico di una fogliolina, rilevati sopra un vetro verticale per circa 24 ore. Figura ridotta ai due terzi. Pianta soggetta ad una temperatura forse un poco troppo bassa.

di sera. Alle 6,45 del mattino successivo, la foglia era distesa, ed il filo si dirigeva al disopra del vetro verticale; ma alle 8,25 del mattino occupava la posizione indicata sulla figura. Il diagramma differisce molto nel suo aspetto da quelli che abbiamo ormai dati; ciò è dovuto al fatto che la fogliolina girava sopra se stessa

e si muoveva lateralmente per avvicinarsi alla fogliolina opposta e venire in contatto con essa. Rilevammo dalle 6 di sera alle 10,35 i movimenti di un'altra fogliolina che dormiva; essa circumnutava chiaramente, poichè continuò a discendere per due ore, poi si alzò per ridiscendere ancora più basso del punto che occupava alle 6 di sera. Si può vedere, nella fig. 167, che la fogliolina, quando la pianta era soggetta, nella casa, ad una temperatura abbastanza bassa, discendeva e risaliva a metà della giornata seguendo una linea a zig-zag; ma quando venne collocata nella serra dalle 9 del mattino alle 3 di sera ad una temperatura elevata ma variabile (fra 22° e 28° C.), una fogliolina, il cui picciuolo era fissato, circumnutò rapidamente, poichè descrisse tre grandi ellissi verticali in 6 ore. Secondo Brongniart la *Marsilea pubescens* dorme come la specie di cui ci occupiamo. Queste piante sono, per quanto ci consta, le sole crittogame che dormano.

Riassunto e osservazioni finali sui movimenti nictitropici, o di sonno delle foglie. — Che questi movimenti sieno in qualche modo di alta importanza per le piante che li presentano, non dovrebbe essere discusso da quelli che hanno osservato quale complicazione essi possano raggiungere. Così, nella *Cassia*, le foglioline orizzontali nella giornata, non si limitano ad inclinarsi di notte verticalmente in basso ed a dare al loro ultimo paio una direzione all'indietro ben marcata, ma girano ancora sul loro asse, per mostrare all'esterno la loro superficie inferiore. La fogliolina terminale di *Melilotus* possiede un movimento simile di rotazione, in seguito al quale uno dei suoi bordi si rivolge in alto, e nello stesso tempo si muove verso la sinistra o verso la destra, finchè la sua faccia superiore viene in contatto con quella della fogliolina laterale posta da questa parte, che pur essa ha girato sul suo asse. Nell'*Arachis*, le quattro foglioline formano insieme, durante la notte, un semplice gruppo verticale; per ottenere questo risultato, le due foglioline anteriori devono dirigersi in alto, e le due posteriori in avanti, nello stesso tempo che girano tutte sul loro asse. Pel genere *Sida*, le foglie di alcune specie percorrono di notte un angolo di 90° in alto, e quelle di altre specie descrivono il medesimo angolo in basso. Abbiamo constatato una simile differenza nei movimenti nictitropici dei cotiledoni del genere *Oxalis*. Nel genere *Lupinus*, le foglioline si muovono ancora sia verso l'alto, sia verso il basso; in diverse specie *L. luteus*, per es., le foglioline poste sopra una parte della foglia distesa si muovono in alto, e quelle della parte opposta, in basso, mentre che le foglioline intermedie non fanno che girare sul loro asse. In seguito a questi varî movimenti, l'intera foglia forma di notte una stella verticale, in luogo della stella orizzontale che rappresentava nella giornata. Alcune foglie e foglioline, mentre si muovono in alto od in basso, si accartocciano ancora più o meno durante la notte, come quelle di *Bauhinia* e di parecchie specie di *Oxalis*.

Le posizioni di sonno delle foglie variano veramente quasi all'infinito: questi organi possono dirigersi verticalmete in alto o in basso, o se sono foglioline verso l'estremità o la base della foglia, o prendere tutte le posizioni intermedie. Girano

spesso sul loro asse fino a descrivere un arco di 90°. Le foglie che si trovano poste, sulla medesima pianta, sopra dei rami verticali, od orizzontali, o molto inclinati, hanno talvolta dei movimenti affatto differenti, come accade nei generi *Porliera* e *Strephium*.

L'aspetto generale di certe piante subisce la notte dei notevoli cambiamenti, come nel genere *Oxalis*, e più fortemente ancora nel genere *Mimosa*. Un arbusto di *Acacia Farnesiana* pareva coperto di notte di piccole corde invece che di foglie. Se si lasciano in disparte alcuni generi, che non abbiamo visti noi stessi, e sui quali conserviamo dei dubbi, ed alcuni altri, le cui foglioline girano di notte sui loro assi, ma senza salire o discendere, ne restano 37 le cui foglie o foglioline si alzano per dirigersi spesso, nello stesso tempo, verso l'estremità o la base della foglia, e 32, le cui foglie, o foglioline, discendono di notte.

I movimenti nictitropici delle foglie, foglioline e picciuoli, si effettuano in due modi differenti: — in primo luogo con l'alternanza dell'accrescimento sulle loro due faccie opposte, accrescimento che segue la turgescenza delle cellule; — secondariamente, col mezzo di un pulvino, riunione di piccole cellule, generalmente sprovvedute di clorofilla, che divengono alternativamente più turgescenti sopra faccie quasi opposte; tale turgescenza non è seguita da accrescimento, eccettuato però quando la pianta è ancora assai giovane. Un pulvino, come si è già visto, pareva formato da un gruppo di cellule arrestate per tempo nel loro sviluppo; non differisce dunque essenzialmente dai tessuti circostanti. I cotiledoni di alcune specie di *Trifolium* sono provveduti di pulvino, ed altri ne sono mancanti; la stessa cosa dicasi per le foglie del genere *Sida*. Vediamo pure nello stesso genere delle transazioni nello sviluppo del pulvino; nel genere *Nicotiana* riscontrammo ciò che si può considerare come il principio dello sviluppo di quest' organo. La natura dei movimenti è affatto simile, che vi sia o meno un pulvino; è ciò che dimostrano molti diagrammi che abbiamo dati in questo capitolo. Bisogna notare che quando esiste un pulvino, le linee ascendenti e discendenti non coincidono quasi mai, di guisa che le foglie che possiedono quest'organo descrivono delle ellissi, sieno le foglie ancora giovani od abbastanza vecchie per aver terminato il loro accrescimento. Questo fatto della produzione di ellissi dimostra che l'aumento alternativo di turgescenza delle cellule non si effettua sulle faccie esattamente opposte del pulvino, più che l'aumento di crescenza che determina i movimenti delle foglie sprovvedute di quest'organo. Quando vi è un pulvino, i movimenti nictitropici continuano per un periodo molto più lungo che quando quest'organo non esiste. Lo abbiamo già provato a proposito dei cotiledoni, e Pfeffer ha dato, allo stesso scopo, il risultato delle sue osservazioni relative alle foglie. Si è visto che una foglia di *Mimosa pudica* continuava a muoversi nel modo solito, quantunque alquanto più semplice, fino alla morte. Si può aggiungere che alcune foglioline di *Trifolium pratense* furono mantenute aperte per 10 giorni, e che, la prima sera dopo che

furono poste in libertà, come di consueto, si elevarono per dormire. La lunga durata dei movimenti è determinata dalla presenza del pulvino (e questa sembra essere la causa del di lui sviluppo); ma oltreciò i movimenti notturni di torsione sono sempre, come lo ha fatto notare Pfeffer, limitati alle foglie provvedute di quest'organo.

È una regola generale che la prima vera foglia, benchè possa differire qualche poco nella forma dalle foglie della pianta adulta, dorme però come queste ultime, e ciò avviene affatto indipendentemente dal sonno dei cotiledoni, e dal modo con cui questo sonno si compie. Ma nel *Phaseolus Roxburghii* le prime foglie unifogliolate si elevano abbastanza alte di notte, perchè si possa dire che dormono, mentre che le foglioline delle foglie secondarie trifogliolate discendono di notte. Nelle giovani piante di *Sida rhombœfolia*, alte soltanto qualche pollice, le foglie non dormono, mentre nelle piante alquanto più vecchie, si alzano di notte verticalmente. D'altra parte, le foglie di piante giovanissime di *Cytisus fragrans* dormivano in modo assai appariscente, mentre sopra un ceppo vecchio e vigoroso conservato nella serra non mostravano alcun movimento nictitropico. Nel genere *Lotus*, le foglioline basilari in forma di stipule si elevano di notte verticalmente e sono provvedute di un pulvino.

Come l'abbiamo già fatto osservare, quando le foglie hanno di notte un cambiamento considerevole di posizione, col mezzo di movimenti complicati, si può ritenere quasi per certo che tali movimenti presentano qualche vantaggio per la pianta. Se è così, dobbiamo estendere questa conclusione ad un gran numero di piante che dormono; infatti, i movimenti nictitropici più complicati ed i più semplici sono collegati insieme da gradazioni le più insensibili. Ma, per i motivi che abbiamo esposti al principio di questo capitolo, è impossibile, in certi casi, di determinare, se alcuni movimenti possano ricevere il nome di nictitropici. Generalmente la posizione notturna delle foglie indica abbastanza chiaramente, che il beneficio risultante dai loro movimenti è la protezione della loro faccia superiore contro l'irradiazione, ed in molti casi, la mutua protezione di tutte le parti contro il freddo in seguito al loro intimo avvicinamento. Bisogna ricordarsi che abbiamo provato, nel capitolo precedente, che le foglie mantenute orizzontali durante la notte soffersero molto più l'irradiazione di quelle che avevano potuto prendere la loro posizione verticale normale.

Il fatto che le foglie di molte piante non dormono che quando hanno ricevuto nella giornata una luce sufficiente, ci fece dubitare per qualche tempo, che la protezione delle loro faccie superiori contro l'irradiazione fosse in tutti i casi la causa finale dei loro movimenti nictitropici. Ma non abbiamo alcuna ragione di supporre che la luce del sole ricevuta a cielo libero, ancora che in giorno assai coperto, sia insufficiente per ottenere questo risultato; ed è utile ricordare che le foglie protette contro la luce per la loro situazione alla parte inferiore della pianta, e che talora non dormono, sono pure protette di notte contro l'irradiazione. Non

vogliamo però negare che vi possano essere dei casi, nei quali le foglie provano di notte dei cambiamenti considerevoli di posizione, senza godere da tali movimenti alcun beneficio. Nelle piante che dormono, il lembo prende quasi sempre una posizione verticale o quasi; ma sembrava affatto indifferente che fosse la punta, la base od uno dei bordi laterali che guardava lo zenit. È regola generale che, se vi è una differenza qualsiasi nel grado di esposizione all'irradiazione, fra le superficie superiori ed inferiori delle foglie o delle foglioline, si è la pagina superiore che è la meno esposta. È ciò che avviene nei generi *Lotus*, *Cytisus*, *Trifolium* ed altri. In molte specie di *Lupinus*, non si dispongono verticalmente di notte, e la loro struttura pareva del resto che non lo permettesse, per conseguenza, la loro faccia superiore, quantunque fortemente inclinata, è più esposta dell'inferiore, ciò che costituisce un' eccezione alla regola. Ma in altre specie di questo genere, le foglioline si pongono verticalmente; tale risultato è però ottenuto da un movimento affatto insolito, poichè le foglioline distribuite sulle faccie opposte della stessa foglia si muovono in direzioni opposte.

È ancora una regola generale che quando le foglioline vengono in *intimo* contatto fra di loro, questo accade per le faccie superiori, che sono in tal guisa assai bene protette. In qualche caso tale risultato può essere la conseguenza diretta della loro elevazione verticale; ma si è ancora per ottenere la protezione delle loro faccie superiori che le foglioline di *Cassia* girano sul loro asse in modo sì notevole durante il loro movimento di discesa; è allo stesso scopo che la fogliolina terminale di *Melilotus* gira su se stessa dirigendosi verso un lato, finchè incontra la fogliolina laterale che si trova da quella parte. Quando le foglie o le foglioline opposte discendono verticalmente senza girare su se stesse, le loro faccie inferiori si avvicinano e vengono talvolta in contatto; ma questo è il risultato diretto ed inevitabile della loro posizione. In molte specie di *Oxalis*, le faccie inferiori delle foglioline contigue premono l'una contro l'altra e sono così meglio protette delle faccie superiori; ma questo fenomeno proviene sopratutto da ciò che ogni fogliolina si curva di notte per poter discendere verticalmente. La torsione o la rotazione delle foglie, che si produce in numerosi casi, sembra servire ad avvicinare le loro faccie superiori, od a portarle alla difesa di altre parti della pianta, per assicurare la loro protezione. Questo fatto è sopratutto visibile in piante come l'*Arachis*, la *Mimosa albida* e la *Marsilea*, le cui foglioline formano insieme di notte un solo gruppo verticale. Se nella *Mimosa pudica* le foglioline opposte si dirigessero soltanto in alto, le loro faccie superiori verrebbero in contatto, ciò che loro assicurerebbe un'eccellente protezione; ma esse s'inclinano tutte successivamente verso l'estremità della foglia, di guisa che non sono protette soltanto le loro faccie, ma le paia successive disponendosi ad embrici, si cuoprono mutuamente e coprono nello stesso tempo i picciuoli. Tale posizione embricata costituisce un fenomeno assai diffuso nelle piante che dormono.

Il movimento nictitropico del lembo si effettua generalmente con l'incurvatura della parte superiore del picciuolo, che spesso si differenzia per formare un cuscinetto; tale modificazione può pure estendersi a tutto il picciuolo, se la lunghezza non è considerevole. Ma il lembo stesso talvolta si muove o s'incurva; un esempio calzante di questo fatto ci è offerto dal genere *Bauhinia*, poichè le due metà della foglia si elevano e vengono in contatto durante la notte. Il lembo e la parte superiore del picciuolo possono ancora muoversi contemporaneamente. Di più, di notte il picciuolo tutto intero sovente si eleva o si abbassa. Questo movimento picciuolare è talvolta considerevole; è così che i picciuoli di *Cassia pubescens* non sono durante la giornata che poco elevati al disopra dell'orizzonte, e si alzano di notte fino a divenire quasi od affatto perpendicolari. Anche i picciuoli delle foglie più giovani di *Desmodium gyrans* si elevano sovente verticalmente durante la notte. D'altra parte, nel genere *Amphicarpæa*, i picciuoli di alcune foglie si abbassano di notte di una quantità che può raggiungere 57°; quelli di *Arachis* percorrono 39° nel medesimo senso, e vengono in tal guisa a collocarsi perpendicolarmente al fusto. In generale, quando noi abbiamo misurato i movimenti di molti picciuoli sulla medesima pianta, abbiamo constatato delle differenze notevoli. Tali differenze sono sopratutto in rapporto con l'età della foglia: per es., il picciuolo di una foglia abbastanza vecchia di *Desmodium gyrans* non si raddrizzava che di 46°, mentre che altri più giovani si elevavano verticalmente. Quello di una giovane foglia di *Cassia floribunda* si alzava di 41°, e quello di una foglia più vecchia di 12° soltanto. È singolare il vedere che l'età della pianta esercita talvolta una grande influenza sull'ampiezza del movimento; così, nelle giovani pianticelle di *Bauhinia*, i picciuoli si alzavano di notte di 30° e 34°, mentre quelli delle stesse piante arrivate ad un'altezza di 2 o 3 piedi, si muovevano appena. La posizione delle foglie di una pianta, sotto l'influenza della luce, pareva pure agire sull'ampiezza dei movimenti del picciuolo; infatti, non si potrebbe invocare nessun'altra causa manifesta per spiegare il perchè i picciuoli di certe foglie di *Melilotus officinalis* si alzavano di 59°, mentre che il movimento notturno di altre foglie non raggiungeva che 7° e 9°.

In molte piante i picciuoli si muovono di notte in una direzione, e le foglioline nella direzione diametralmente opposta. Così, in tre generi di *Phaseoleæ*, le foglioline si dirigevano di notte verticalmente in basso, ed i picciuoli si erigevano in due di esse, mentre si abbassavano nella terza. Specie dello stesso genere differiscono spesso affatto per i movimenti dei loro picciuoli. Nella stessa pianta di *Lupinus pubescens*, alcuni picciuoli si alzavano di 30°, altri di 6° soltanto, mentre alcuni si abbassavano di 4°. Le foglioline di *Cassia Barclayana* avevano di notte un movimento così debole, che non si poteva dire che dormivano, e tuttavia le foglioline di alcune giovani foglie si elevarono fino a 34°. Tali fatti diversi sembrano indicare che i movimenti dei picciuoli non si producono ad uno scopo speciale, benchè

una conclusione di questo genere sia generalmente affrettata. Quando le foglioline discendono verticalmente di notte, mentre i picciuoli si elevano, come accade spesso, è certo che il movimento di ascesa in questi ultimi organi non è di alcuna utilità per le foglioline e non le aiuta a prendere la loro posizione notturna, poichè sono così forzate a percorrere un angolo molto più grande di quello che dovrebbero descrivere senza questo movimento del picciuolo.

Malgrado ciò che abbiamo detto, vi sono delle forti ragioni per credere che, in certi casi, l'elevazione dei picciuoli, quando è considerevole, possa assicurare un beneficio alla pianta, riducendo di molto la superficie esposta all'irradiazione notturna. Se il lettore vuole confrontare le due figure di *Cassia pubescens* (fig. 155), copiate da fotografie, vedrà che il diametro notturno della pianta è di circa un terzo più piccolo del suo diametro durante la giornata, e che per conseguenza la superficie esposta all'irradiazione è di circa 9 volte minore. Si potrebbe avere la stessa conclusione dall'esame dei disegni (fig. 149) di un ramo di *Desmodium gyrans* allo stato di veglia ed a quello di sonno. Questo stesso fatto si produce in modo evidente nelle giovani piante di *Bauhinia*, e nell'*Oxalis Ortegesii*.

Noi siamo condotti a formulare una conclusione analoga per i movimenti dei picciuoli secondarî di alcune foglie pennate. Le foglie secondarie di *Mimosa pudica* convergono di notte; in tal guisa le foglioline chiuse ed embricate di ogni foglia secondaria sono riunite in un sol gruppo, e si proteggono mutuamente non esponendo all'irradiazione che la superficie più piccola possibile. Nell'*Albizzia lophantha*, le foglie secondarie si avvicinano nello stesso modo. I medesimi organi nell'*Acacia Farnesiana* non si avvicinano, ma si dirigono verso il basso. Quelli di *Neptunia oleracea* s'inclinano pure in basso, e nello stesso tempo indietro, verso la base della foglia, mentre il picciuolo principale s'innalza. Anche nel genere *Schrankia* le foglie secondarie subiscono di notte una depressione. In questi tre ultimi casi, benchè le foglie secondarie non si proteggano di notte mutuamente, espongono tuttavia, dopo il loro movimento di discesa, come le foglie che discendono verticalmente di notte, una superficie molto minore all'irradiazione che se fossero rimaste orizzontali.

Chi non avesse mai osservato con una certa costanza una pianta che dorme, crederebbe naturalmente che le foglie si muovessero soltanto nella sera, per prendere la loro posizione di sonno, ed al mattino per aprirsi. Ma ciò sarebbe un errore, poichè non abbiamo trovata una sola eccezione alla legge che vuole che le foglie dormenti continuino a muoversi per tutta la durata delle ventiquattro ore; soltanto tale movimento è molto più forte quando prendono la loro posizione di veglia o di sonno che in ogni altro momento. Tutti i diagrammi che abbiamo dato, e quelli assai più numerosi che abbiamo rilevati, dimostrano che le foglie non rimangono stazionarie durante la giornata. È assai incomodo di osservare i loro movimenti a metà della notte: in qualche caso l'abbiamo però fatto, ed

abbiamo pure tracciato dei diagrammi durante la prima parte della notte per l'*Oxalis*, *Amphicarpœa*, due specie di *Erythrina*, una *Cassia*, *Passiflora*, *Euphorbia* e *Marsilea*; le foglie, dopo di aver presa la loro posizione notturna, si trovarono sempre e costantemente in movimento. Però, quando foglioline opposte vengono in intimo contatto l'una con l'altra, o col fusto, vi è, noi crediamo, un ostacolo meccanico ai loro movimenti; questo punto però non è stato sufficientemente messo in chiaro.

Quando si rilevano per ventiquattro ore i movimenti delle foglie che dormono, si vede che le linee ascendenti e discendenti non coincidono, se non occasionalmente e per accidente, sopra una piccola lunghezza; è così che molte foglie descrivono in 24 ore una sola grande ellisse. Tali ellissi sono generalmente strette (non avendo il movimento laterale che una ampiezza limitata) e dirette secondo la perpendicolare. L'esistenza del movimento laterale è dimostrata dal fatto che le linee verticali non coincidono, e talvolta come nel *Desmodium gyrans* e *Thalia dealbata*, viene espressa nettamente. Nel *Melilotus*, le ellissi descritte durante la giornata dalla fogliolina terminale hanno, contrariamente al solito, una direzione laterale, e non verticale; questo fenomeno è evidentemente in relazione col movimento laterale di questa fogliolina allorchè prende la sua posizione notturna. Nella maggioranza delle piante che dormono, le foglie hanno, nelle 24 ore, più di una oscillazione verticale; così, frequentemente descrivono due ellissi, una di grandezza moderata, e l'altra di rilevante ampiezza, che comprende il movimento notturno. Una foglia, per es., che si dirige di notte verticalmente in alto, discenderà verso mattina, poi risalirà considerevolmente, si abbasserà di nuovo dopo mezzodì per risalire nella sera, e prenderà la sua posizione notturna verticale. Descriverà così in 24 ore due ellissi d'ineguale ampiezza. Altre piante tracciano nello stesso tempo tre, quattro o cinque ellissi. Talvolta gli assi maggiori delle diverse ellissi guardano in direzioni differenti, ciò che si constata nell'*Acacia Farnesiana*.

Gli esempi seguenti potranno darci un'idea della celerità di tale movimento: l'*Oxalis acetosella* completava due ellissi nello spazio di 1 ora 25 m. per ciascuna; la *Marsilea quadrifoliata* ne descriveva una in 2 ore; il *Trifolium subterraneum* una in 3 ore 30 m.; e l'*Arachis hypogœa* in 4 ore 50 m. Ma il numero delle ellissi descritte in un tempo dato dipende molto dallo stato della pianta e dalle condizioni nelle quali si trova. Accade spesso che, in un giorno viene descritta una sola ellisse e due nel successivo. La *Erythrina corallodendron* descrisse quattro ellissi nella prima giornata di osservazione, ed una sola nella terza; tale fatto pareva dovuto all'insufficienza della luce, e forse anche della temperatura. Sembra pure che vi sia, nelle differenti specie dello stesso genere, una tendenza innata a descrivere, in 24 ore, un numero diverso di ellissi: nella giornata le foglioline di *Trifolium repens* non ne descrivono che una; quelle di *T. resupinatum* due, e quelle di *T. subterraneum* tre. Quelle di *Oxalis Plumierii* descrivono pure una

sola ellisse in 24 ore; quelle d'*O. bupleurifolia*, due; quelle d'*O. Valdiviana*, tre; e quelle d'*O. Acetosella*, cinque almeno.

La linea seguita dall'estremità di una foglia o di una fogliolina mentre descrive nella giornata una o più ellissi, è spesso a zig-zag, ora sopra l'intera percorrenza, ed ora al mattino od alla sera soltanto. Il genere *Robinia* ci offre un esempio di movimento a zig-zag limitato alla mattina, ed un movimento simile lo si può vedere ristretto alla sera nel diagramma (fig. 126) dato per il genere *Sida*. L'ampiezza di questo movimento a zig-zag dipende in gran parte dalle condizioni favorevoli nelle quali si trova la pianta. Ma anche nelle condizioni più favorevoli, se i punti che indicano la posizione della foglia sono rilevati a degli intervalli troppo grandi e si uniscono con linee rette, il cammino seguito apparirà comparativamente semplice, benchè il numero delle ellissi descritte sia maggiore; ma se i punti sono rilevati ogni due o tre minuti, ne risulta spesso che tutte le linee sono spezzate e formano parecchie piccole anse, dei triangoli, ed altre figure analoghe. Ciò mostra, in due punti, il diagramma (fig. 150) dei movimenti di *Desmodium gyrans*. Lo *Strephium floribundum*, osservato ad un'alta temperatura, descriveva molti piccoli triangoli, ciascuno nello spazio di 43 m. La *Mimosa pudica*, osservata nelle stesse condizioni, descriveva tre piccole ellissi in 67 m.; l'estremità di una foglia percorreva in un minuto secondo 1,500 di poll., ossia 3 mm. per minuto primo. Le foglioline d'*Averrhoa* quando la temperatura era elevata e brillava il sole presentavano un numero grandissimo di piccole oscillazioni.

Il movimento a zig-zag può essere considerato in ogni caso come destinato a terminare delle piccole anse, che si trovano stirate in causa di un movimento preponderante in una data direzione. I rapidi movimenti circolari delle piccole foglioline laterali di *Desmodium* appartengono alla stessa classe di movimenti, qualche poco esagerati in rapidità ed ampiezza. I movimenti a salti dell'ipocotilo di cavolo e delle foglie di *Dionœa*, con un debole movimento in avanti e con uno ancora più debole indietro, seguendo una linea un poco differente sembrano, esaminati al microscopio, appartenere alla stessa categoria. Possiamo supporre di essere qui in presenza della conversione in movimento dell'energia messa in libertà in tutti i cambiamenti chimici, di cui i tessuti sono costantemente la sede. Finalmente bisogna notare che le foglioline, e probabilmente alcune foglie descrivendo le loro ellissi, girano spesso leggermente sui loro assi, in guisa che il lembo della foglia è successivamente rivolto verso ogni parte. Ciò è quanto abbiamo visto perfettamente nelle larghe foglioline terminali di *Desmodium*, *Erythrina* e *Amphicarpœa;* tale movimento è del resto probabilmente comune a tutte le foglioline provvedute di pulvino.

Per quanto concerne la periodicità dei movimenti delle foglie che dormono, Pfeffer (1) ha nettamente dimostrato che dipende dall'alternarsi quotidiano del

(1) *Die Periodischen Bewegungen der Blattorgane*, 1875, p. 30 e in altri luoghi.

giorno e della notte, perciò su questo argomento non abbiamo nulla da aggiungere. Ma dobbiamo ricordare il modo di comportarsi delle *Mimose* al Nord, dove il sole non tramonta mai e l'inversione completa dei movimenti quotidiani, col mezzo della luce e dell'oscurità artificiali. Abbiamo pure dimostrato che, quantunque le foglie messe nell'oscurità per un tempo moderatamente lungo continuino a circumnutare, la periodicità dei loro movimenti è però fortemente turbata, o quasi annullata. Non si può supporre che la presenza o la mancanza di luce sia la causa diretta dei movimenti, poichè questi sono svariatissimi anche per le foglioline della stessa foglia che sono però tutte esposte alla luce nelle medesime condizioni. I movimenti sono sotto la dipendenza di cause innate, e la loro natura è essenzialmente adattativa. L'alternarsi della luce e dell'oscurità non fanno che annunciare alla foglia che è giunto il momento di muoversi in una certa direzione. Dal fatto che molte piante (*Tropœolum*, *Lupinus*, ecc.) non dormono se non hanno ricevuto nella giornata una luce sufficiente, possiamo dedurre che la causa che determina le foglie a modificare il loro movimento ordinario di circumnutazione, non è la diminuzione effettiva di luce nella sera, ma bensì il contrasto fra la sua intensità a quest'ora e durante il tempo anteriore della giornata.

Siccome le foglie della maggior parte delle piante prendono al mattino la loro posizione diurna caratteristica, ancorchè la luce sia esclusa, e siccome le foglie continuano a muoversi in modo normale nell'oscurità per una giornata intera, così dobbiamo concludere che la periodicità dei loro movimenti è fino ad un certo punto ereditaria (1). La potenza di questa eredità differisce assai in specie distinte, e non pare sempre costante. Sono infatti state importate nei giardini e nelle serre piante da tutte le parti del mondo, e se i loro movimenti fossero in stretta ed immutabile relazione con l'alternarsi del giorno e della notte, nei nostri paesi dovrebbero dormire ad ore assai differenti, ciò che non accade. Di più è stato osservato che nel loro paese natale, le piante soggette al sonno cambiano colle stagioni le ore di sonno (2).

Riportiamoci ora alla nostra lista sistematica. Essa contiene i nomi di tutte le piante che dormono da noi conosciute, benchè senza dubbio sia assai imperfetta. Si può ritenere in regola generale, che tutte le specie del medesimo genere dormano circa nello stesso modo. Vi sono però alcune eccezioni; in parecchi grandi

(1) PFEFFER nega questa ereditarietà; egli attribuisce (*Die Period. Beweg.*, pp. 30–56) la periodicità, quando si prolunga un giorno o due nell'oscurità, alla *Nachwirkung*, ossia alla continuazione degli effetti della luce e dell'oscurità. Ma non possiamo seguire il suo ragionamento. Non sembrava esservi più ragioni per attribuire tali movimenti a questa causa, che, p. e., l'abitudine ereditaria nel frumento d'estate e quello d'inverno di crescere meglio in stagioni differenti. Quest'abitudine infatti si perde in capo a qualche anno, come i movimenti delle foglie dopo pochi giorni. Senza dubbio tali effetti sono prodotti nei semi dalla coltura lungamente prolungata dei parenti in climi diversi, e tuttavia nessuno certamente vorrebbe chiamarli *Nachwirkung* dei climi.

(2) PFEFFER, ibid., p. 46.

generi (*Oxalis* per es.), ricchi di piante che dormono, molte specie non dormono punto. Una specie di *Melilotus* dorme come un *Trifolium* e differisce in tal guisa di molto dai suoi congeneri; la stessa cosa dicasi per molte Cassie. Nel genere *Sida*, le foglie sono dotate di un movimento notturno sia di ascesa, sia di discesa, e nel genere *Lupinus* dormono in tre modi differenti. Se ci riportiamo alla nostra lista, la prima cosa che ci colpisce si è che i generi che dormono sono molto più numerosi fra le Leguminose (e in quasi tutte le tribù di Leguminose) che in tutte le altre famiglie riunite; saremmo tentati di collegare in questa famiglia il fatto della grande mobilità dei fusti con quella delle foglie, mobilità che è messa in evidenza assai bene dal gran numero di specie rampicanti ch'essa racchiude. Dopo le Leguminose vengono le Malvacee, con alcune famiglie molto vicine. Ma la cosa assai più importante da constatare si è, che troviamo delle piante che dormono in 28 famiglie ripartite fra tutte le divisioni della serie delle Fanerogame, ed in una Crittogama. Così, benchè sia possibile che, nelle Leguminose, e forse anche nelle Malvacee e Chenopodiacee, la tendenza al sonno sia stata trasmessa ereditariamente da uno dei progenitori, è però manifesto che tale tendenza in diversi generi di altre famiglie è stata acquistata in modo affatto indipendente. Ammesso questo fatto, si presenta subito la questione: come è stato possibile tale acquisto? La risposta certa è che le foglie devono i loro movimenti nictitropici al loro stato di circumnutazione (comune a tutte le piante), e ciò in causa di uno sviluppo o di una utile modificazione di questo movimento primitivo.

Abbiamo dimostrato nel capitolo precedente che le foglie ed i cotiledoni di tutte le piante hanno un movimento verticale continuo, generalmente poco esteso, ma talvolta considerevole, e che questi organi descrivono, in 24 ore, una o più ellissi. Essi sono nello stesso tempo così fortemente impressionati dall'alternarsi del giorno e della notte, che presentano generalmente, od almeno assai spesso, un debole movimento quotidiano; è su questa base che dobbiamo appoggiarci per spiegare lo sviluppo dei movimenti nictitropici più considerevoli. Non si può dubitare che si debba collocare nella classe delle circumnutazioni i movimenti delle foglie e dei cotiledoni che non dormono, poichè sono strettamente simili a quelli degli ipocotili, degli epicotili, dei fusti delle piante adulte, e di diversi altri organi. Se consideriamo ora il caso più semplice di sonno nelle foglie, vediamo l'organo descrivere in 24 ore una sola ellisse, che somiglia a prima vista a quella descritta da una foglia dormente, ma di cui l'ampiezza è maggiore. Nei due casi, il cammino seguito è spesso a zig-zag. Tutte le foglie che non dormono sono in circumnutazione continua, e dobbiamo concludere che almeno una parte del movimento verticale di una foglia che dorme è dovuta alla circumnutazione; riferendo ad un'altra origine il resto di questo stesso movimento sarebbe fare, secondo noi, una supposizione gratuita. Tra molte piante rampicanti, le ellissi descritte sono state considerevolmente amplificate in vista di uno scopo speciale, e cioè quello di raggiungere un

sostegno. In queste piante rampicanti, i diversi organi circumnutanti sono stati così fortemente modificati rispetto alla luce, che al contrario di quanto avviene di solito nelle piante, non s'inclinano più verso di essa. Nelle piante che dormono, la celerità e l'ampiezza dei movimenti fogliari sono così fortemente modificati, relativamente alla luce, che questi organi si muovono in una certa direzione colla luce morente della sera o con quella crescente del mattino con una rapidità maggiore e sopra una maggiore estensione che in tutte le altre ore della giornata.

Ma le foglie ed i cotiledoni di molte piante che non dormono godono movimenti molto più complicati di quelli di cui abbiamo parlato, poichè questi organi descrivono talvolta nella giornata due, tre o più ellissi. Se una tale pianta doveva trasformarsi in una pianta dormente, un lato di una delle varie ellissi doveva aumentare alla sera di molto la sua ampiezza, fino a che la foglia, divenuta verticale, si metteva a circumnutare intorno ad un medesimo punto. Al mattino successivo il lato di un'altra ellisse doveva pure subire un'ampiezza considerevole, per portare la foglia nella sua posizione diurna; la circumnutazione continuava in seguito fino alla sera senza modificazione. Se il lettore vorrà dare uno sguardo, per es. al diagramma rappresentato nella fig. 142, relativo ai movimenti nictitropici della fogliolina terminale di *Trifolium subterraneum*, non dimenticando che la linea curva punteggiata in alto della figura dovrebbe prolungarsi molto di più, vedrà che il grande movimento notturno di ascesa, e quello di discesa che si produce al mattino, formano insieme una grande ellisse simile ad una di quelle descritte nella giornata, e non differente da queste ultime che per la grandezza. Oppure egli veda il diagramma (fig. 103) rappresentante tre ellissi e mezza descritte in 6 ore 35 m. da una foglia di *Lupinus speciosus*, una delle specie del genere che non dormono, e vedrà che dopo di aver prolungato fortemente in alto la linea che s'innalzava sempre nella sera, e dopo di averla riportata al mattino successivo al suo livello normale, il diagramma rappresenterà i movimenti di una pianta che dorme.

In quelle piante dormienti che completano parecchie ellissi nel corso di un giorno, e che seguendo una linea a zig-zag descrivono nel loro cammino delle piccole anse e dei triangoli, si osserva che appena una delle ellissi comincia nella sera ad allungarsi fortemente, si possono rilevare e riunire dei punti ogni 2 o 3 minuti, e la linea così ottenuta è quasi affatto dritta in contrasto con quelle che sono state rilevate nella giornata. Ciò abbiamo osservato nel *Desmodium gyrans* e nella *Mimosa pudica*. Di più in quest'ultima pianta, le foglie secondarie convergono nella sera con un movimento costante, mentre che nella giornata convergono e divergono continuamente sopra una debole estensione. In tutti i casi analoghi era quasi impossibile di osservare la differenza fra i movimenti diurni ed il movimento notturno, senza convincersi che nella sera la pianta risparmia il suo consumo di forza astenendosi da ogni movimento laterale, ed impiega tutta la sua energia per guadagnare rapidamente in linea retta la sua posizione notturna caratteristica. In

molti altri casi, per es. quando una foglia dopo aver completato nella giornata una o più ellissi abbastanza regolari, descrive nella sera numerose linee a zig-zag, e sembra che impieghi della energia, in modo che il grande alzamento o abbassamento serale possa coincidere coi periodi della giornata che sono proprî con questi movimenti.

I movimenti più complessi, eseguiti dalle piante che dormono, sono quelli che si producono quando le foglie o le foglioline, dopo di aver descritto durante la giornata parecchie ellissi verticali, girano nel corso della sera sul loro asse per occupare nella notte una posizione affatto differente da quella che avevano nella giornata. Per es., le foglioline terminali di *Cassia* non si limitano a discendere alla sera verticalmente, ma girano su sè stesse per presentare all'esterno la loro faccia inferiore. Tali movimenti non si producono totalmente o quasi, che nelle foglioline provviste di un pulvino. Tale torsione non è una nuova specie di movimento acquistato soltanto in causa del sonno; noi abbiamo infatti dimostrato che alcune foglioline descrivendo nella giornata le loro ellissi ordinarie, girano leggermente in modo da piegare il loro lembo ora da una parte ed ora dall'altra. Possiamo vedere da ciò, come i deboli movimenti verticali periodici delle foglie possano facilmente trasformarsi in nictitropici semplici, ma più spiccati; però, non sappiamo ancora con quale serie di modificazioni sieno stati acquistati i movimenti più complessi effettuati mediante la torsione del pulvino. Una spiegazione plausibile non potrà essere data in ogni singolo caso che dopo un attento esame dei movimenti in tutte le forme affini.

Dai fatti e dalle considerazioni che abbiamo esposti si può concludere, che il nictitropismo, o il sonno delle foglie e dei cotiledoni, è soltanto una modificazione dei loro movimenti ordinari di circumnutazione, regolati nella loro ampiezza e periodicità dall'alternarsi della luce e dell'oscurità. Il risultato acquistato è la protezione delle faccie superiori delle foglie contro gli effetti dell'irradiazione notturna sovente combinato colla mutua protezione delle diverse parti per l'intimo contatto. Nei casi simili a quelli delle foglioline di *Cassia*, delle foglioline terminali di *Melilotus*, di tutte le foglioline d'*Arachis*, *Marsilea*, ecc., vediamo la circumnutazione ordinaria modificata nel modo più completo che conosciamo fra tutte le classi di modificazioni che tale movimento può subire. Accettando questo punto di vista intorno l'origine del nictitropismo, possiamo comprendere, come sia avvenuto che alcune piante hanno potuto assumere l'abitudine di disporre verticalmente di notte i lembi delle loro foglie, ossia di dormire; in qualsiasi altra ipotesi tale fenomeno rimarrebbe inesplicabile.

Le foglie di alcune piante si muovono nella giornata in modo particolare, che impropriamente ha ricevuto il nome di *sonno diurno;* quando il sole le riscalda fortemente, esse volgono i loro bordi nella direzione dei suoi raggi. Noi dovremo esaminare questi fenomeni nel capitolo seguente, consacrato all'eliotropismo. Ab-

biamo dimostrato che le foglioline di una forma di *Porlieria hygrometrica* rimangono chiuse durante la giornata, come se dormissero, finchè la pianta scarseggia di acqua; probabilmente sarà per evitare una evaporazione troppo rapida. Non conosciamo che un altro caso analogo, e si è quello di alcune Graminacee, che ripiegano all'interno le loro strette foglie quando sono esposte al sole e al tempo secco, come ha osservato il Duval-Jouve (1). Noi abbiamo osservato lo stesso fenomeno nell'*Elymus arenarius*.

Vi è un altro movimento, conosciuto già da Linneo, e generalmente designato sotto il nome di *sonno;* è quello dei petali nei numerosi fiori che si chiudono di notte. Questi movimenti sono stati abilmente studiati da Pfeffer che ha dimostrato che (come l'aveva già osservato Hofmeister) hanno per causa piuttosto la temperatura che l'alternarsi del giorno e della notte. Benchè questi movimenti non possano mancare di proteggere gli organi della riproduzione contro l'irradiazione notturna, non sembra che tale sia la loro funzione principale; sarebbero piuttosto destinati a proteggere questi organi contro i venti freddi, e sopratutto contro la pioggia durante la giornata. Quest'ultimo fatto sembra tanto più probabile, che Kerner (2) ha dimostrato che un genere di movimento affatto distinto raggiunge, in molti casi, lo stesso scopo; si è l'incurvatura verso il basso della parte superiore del peduncolo. La chiusura dei fiori deve pure impedire l'accesso degli insetti notturni non adattati alla fecondazione, e così pure quello delle specie bene adattate nei momenti, nei quali la temperatura non è favorevole all'uopo. Non sappiamo se questi movimenti dei petali sieno una modificazione della circumnutazione, ciò che è però assai probabile.

Embriologia delle foglie. — Noi abbiamo avuto occasione d'indicare in questo capitolo alcuni fatti relativi a ciò che si può chiamare l'Embriologia delle foglie. Nella maggior parte delle piante, la prima foglia sviluppata dopo i cotiledoni somiglia completamente alle foglie che nascono più tardi sulla pianta adulta; ma non è sempre così. La prima foglia prodotta da alcune specie di *Drosera*, per es. dalla *D. Capensis*, differisce affatto da quelle che porta la pianta adulta, e somiglia assai poco a quelle di *D. rotundifolia*, come lo ha dimostrato il professore Williamson di Manchester. La prima vera foglia di ginestra spinosa o *Ulex* non è stretta e spinosa come lo sono quelle che si sviluppano più tardi. D'altra parte in molte Leguminose, per es. *Cassia*, *Acacia lophantha*, ecc., la prima foglia ha essenzialmente gli stessi caratteri delle altre, ma porta delle foglioline meno numerose. Nel *Trifolium*, la prima vera foglia non porta generalmente che una sola fogliolina invece di tre, e differisce qualche poco, nei suoi contorni, dalla fogliolina corrispondente delle altre foglie. Nel *Trifolium pannonicum*, la prima vera foglia

(1) *Ann. des Sc. Nat.* (*Bot.*), 1875, tom. I, pp. 326-329.
(2) *Die Schutzmittel des Pollens*, 1873, pp. 30-39.

era in alcune pianticelle unifogliolata, ed in altre, completamente trifogliolata; fra questi due stati estremi si trovano tutte le gradazioni, portando alcune pianticelle una foglia più o meno frastagliata sopra un lato o sopra due, ed alcune munite di una sola fogliolina laterale perfetta. Noi abbiamo dunque qui la rara occasione di vedere uno stato che è proprio di un'età avanzata nell'atto di sostituire uno stato anteriore od embriologico.

Il genere *Melilotus* è assai affine al genere *Trifolium* e la prima foglia non porta che una sola fogliolina, che di notte gira sopra il suo asse per presentare allo zenit uno dei suoi bordi laterali. Essa dorme dunque come la foglia terminale sopra una pianta adulta, come l'abbiamo osservato in 15 specie, e non come la fogliolina corrispondente di *Trifolium*, che non fa che inclinarsi verso l'alto. È curioso di constatare che in una di queste 15 specie, *M. Taurica* (ed in minor grado in due altre), le foglie portate sopra dei giovani rami, o sopra delle piante tagliate e conservate in vaso durante l'inverno nella serra, dormono come le foglie di *Trifolium*, mentre che quelle che sono portate sui rami completamente sviluppati della stessa pianta dormono più tardi normalmente come le foglie di *Melilotus*. Se si considerano i giovani rami che escono da terra come nuovi individui, partecipanti fino ad un certo punto della natura delle piante, si può ritenere come un'abitudine embriologica la maniera particolare con cui le loro foglie dormono; tale abitudine risulterebbe probabilmente dal fatto, che il genere *Melilotus* discende da una forma che dormiva come i *Trifolium*. Tale modo di vedere è in parte confermato dall'esistenza di un'altra specie, *M. Messanensis* (non compresa fra le 15 di cui abbiamo parlato), in cui le foglie portate sopra rami giovani e vecchi, dormono come quelle di un *Trifolium*.

La prima vera foglia di *Mimosa albida* è formata da un picciuolo semplice, portante spesso tre paia di foglioline, tutte circa della medesima forma e dimensione; la seconda foglia differisce affatto dalla prima, e somiglia ad una di quelle della pianta adulta (vedi fig. 159), e si compone di due foglie secondarie, di cui ciascuna porta due paia di foglioline; la fogliolina basilare interna rimane sempre piccola. Ma alla base di ogni foglia secondaria, esiste un paio di piccole punte, che sono evidentemente rudimenti di foglioline, poichè sono di grandezze ineguali, come le due foglioline seguenti. Tali rudimenti non hanno che un significato embriologico, poichè non esistono che durante la giovinezza della foglia per scomparire completamente quando è raggiunto l'accrescimento completo.

Nel *Desmodium gyrans* le due foglioline laterali sono molto più piccole delle foglioline corrispondenti della maggior parte delle specie di questo grande genere; esse variano pure di grandezza e posizione. Una di esse può mancare, e talvolta anche tutte due; finalmente non dormono come le foglioline delle foglie intieramente sviluppate. Si possono dunque considerare come quasi affatto rudimentali: secondo i principii generali dell'embriologia dovrebbero essere più costantemente

e più perfettamente sviluppate sulle piante assai giovani che su quelle più vecchie. Ma la cosa non è così, poichè erano completamente mancanti sulle giovani pianticelle, e non apparivano che dopo lo sviluppo di 10 a 20 foglie. Tale fatto ci conduce a pensare che il *D. gyrans* discenda da una forma trifogliolata, passando per una forma unifogliolata (e ne esiste alcuna), e che le foglioline laterali apparissero per regressione. Comunque sia, il fatto che i cuscinetti, od organi di movimento di queste piccole foglioline, non hanno subìto nemmeno da lontano una riduzione così grande come il loro lembo (prendendo per termine di confronto la grande fogliolina terminale), può probabilmente darci una spiegazione plausibile del loro potere straordinario di torsione.

CAPITOLO VIII.

CIRCUMNUTAZIONE MODIFICATA. MOVIMENTI DETERMINATI DALLA LUCE.

Distinzione fra l'eliotropismo e gli effetti della luce sulla periodicità dei movimenti delle foglie. — Movimenti eliotropici della Beta, del Solanum, della Zea e dell'Avena. — Movimenti eliotropici verso una luce scarsa nei generi Apios, Brassica, Phalaris, Tropæolum e Cassia. — Movimenti afeliotropici dei viticci di Bignonia, dei peduncoli fiorali di Cyclamen. — Interramento delle cassule. — L'Eliotropismo e l'Afeliotropismo sono forme modificate della circumnutazione. — Gradi pei quali un movimento si converte in un altro. — Eliotropismo trasversale, o Diaeliotropismo, sotto l'influenza dell'epinastia, del peso dell'organo e dell'apogeotropismo. — Apogeotropismo annullato a metà della giornata dall'eliotropismo. — Effetti del peso dei lembi dei cotiledoni. — Così detto sonno diurno. — Azione nociva di una luce intensa sulla clorofilla. — Movimenti destinati ad evitare questa intensa luce.

Sachs ha per il primo dimostrato la importante differenza che esiste fra l'azione della luce capace di modificare i movimenti periodici delle foglie, e quella che fa inclinare le foglie verso una sorgente luminosa (1). Questi ultimi movimenti, detti *eliotropici*, dipendono dall'azione della luce, mentre che gli spostamenti periodici sono posti sotto l'influenza dei cambiamenti nella di lei intensità, senza punto dipendere dalla direzione dei raggi luminosi. La periodicità del movimento circumnutante continua spesso per qualche tempo nell'oscurità, come l'abbiamo visto nel capitolo precedente; l'incurvatura eliotropica al contrario cessa rapidamente quando la luce non esercita più la sua azione. Tuttavia, piante che, in causa di una oscurità lungamente prolungata, hanno cessato di muoversi periodicamente, sono ancora eliotropiche, secondo Sachs, se si espongono nuovamente alla luce.

L'*Afeliotropismo*, o, come lo si chiama ordinariamente, *eliotropismo negativo*, è quel fenomeno che si manifesta quando una pianta, inegualmente rischiarata sulle sue due faccie, s'inclina per allontanarsi dalla sorgente luminosa, in luogo di dirigersi verso di essa, come nei casi precedenti; ma l'afeliotropismo è relativamente raro, almeno in un grado ben pronunciato. Vi è una terza categoria considerevole di casi, che Frank pose sotto l'influenza dell'*Eliotropismo trasversale*, denominazione che abbiamo qui sostituita col nome *Diaeliotropismo*. Sotto l'influenza del diaeliotropismo alcune parti di piante si collocano più o meno trasversalmente alla direzione onde vengono i raggi luminosi, e ricevono così una completa illuminazione. Se si considera la causa finale del movimento, ne troviamo infine una quarta categoria: le foglie di alcune piante, esposte ad una luce nociva

(1) *Physiologie Vegetale*, traduz. franc. di M. Micheli, 1868, pp. 42, 517, ecc.

perchè troppo intensa, si elevano, si abbassano, o girano sopra se stesse, per ricevere una quantità minore di raggi luminosi. A questi fenomeni si è talvolta dato il nome di *sonno diurno*. Ci sembrò conveniente di chiamarli *pareliotropici* per usare un termine corrispondente a quelli che abbiamo già adottati.

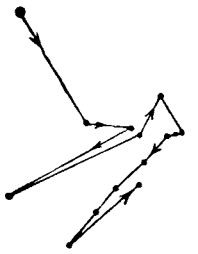
Dimostreremo in questo capitolo che tutti i movimenti compresi in queste quattro categorie sono delle forme modificate della circumnutazione. Non pretendiamo di dire che se una parte di una pianta durante il suo accrescimento non circumnutasse, benchè una tale supposizione sia molto improbabile, non potrebbe inclinarsi verso la luce; ma, stando ai fatti, l'eliotropismo sembra sempre di essere una modificazione dei movimenti circumnutanti. Ogni movimento posto sotto l'azione della luce sarà necessariamente facilitato dalla circumnutazione di ogni parte, ossia dalla sua incurvatura successiva verso tutti i punti dell'orizzonte; invero, un movimento che esiste sempre non ha che da aumentarsi in una direzione, diminuendo o cessando completamente nelle altre, per divenire eliotropico, afeliotropico, ecc. Daremo, nel capitolo seguente, alcune osservazioni sulla sensibilità delle piante all'azione della luce, sulla celerità con la quale s'inclinano verso questo agente fisico, e sull'esattezza della loro direzione verso la sorgente luminosa, ecc. Dimostreremo quindi, cosa che ci sembrò del massimo interesse, che la sensibilità all'azione luminosa è talvolta localizzata in una parte assai limitata della pianta, e che tale parte, serbando l'azione dell'agente luminoso, trasmette la sua influenza agli organi lontani, determinando la loro incurvatura.

Eliotropismo. — Quando una pianta fortemente eliotropica (e le specie a questo riguardo differiscono notevolmente le une dalle altre) è esposta ad una luce laterale brillante, s'inclina fortemente verso questa sorgente luminosa, ed il cammino seguito dal fusto è diritto o quasi. Ma se la luce diminuisce di molto od è occasionalmente interrotta, od ancora se non è ammessa che in una direzione leggermente obliqua, il cammino seguito è più o meno a zig-zag. Abbiamo visto, e lo vedremo ancora, che queste linee a zig-zag risultano dall'allungamento delle ellissi, delle anse ecc., che la pianta avrebbe descritto se fosse stata rischiarata dall'alto. In diversi casi siamo stati colpiti da questo fatto osservando la circumnutazione in pianticelle assai sensibili, rischiarate appositamente, sia un poco obliquamente, sia soltanto ad intervalli successivi.

Per es., due giovani pianticelle di *Beta vulgaris* essendo state collocate in mezzo ad un locale rischiarato da finestre orientate al N.-E., furono costantemente coperte, eccettuato però il momento delle osservazioni, la cui durata rispettiva è di uno o due minuti. Ne risultò che i loro ipocotili s'inclinarono verso la parte da cui entrava, tratto tratto, un po' di luce, e che le linee descritte da questi organi erano soltanto leggermente conformate a zig zag. Benchè non fosse stata descritta, nemmeno approssimativamente, una sola ellisse, concludemmo dall'esistenza delle linee a zig-zag, e come poscia si verificò con ragione, che gli ipocotili erano in circumnutazione; il giorno dopo infatti le pianticelle, essendo state collocate in un ambiente

perfettamente oscuro, furono osservate ogni volta coll'aiuto di una piccola candela disposta direttamente sopra di esse, e si rilevarono i movimenti sopra un vetro orizzontale. Gli ipocotili circumnutavano in modo manifesto (fig. 168 e fig. 39 comunicata precedentemente). Nondimeno vi fu un leggero movimento verso la parte dove si trovava la candela. Se consideriamo questi diagrammi, e supponiamo la candela posta più lateralmente, dovremo ammettere che gl'ipocotili, ancora in circumnutazione, si sarebbero curvati nello stesso tempo, molto più fortemente verso la luce, ciò che avrebbe dato origine necessariamente a delle lunghe linee a zig-zag.

Fig. 168.



Beta vulgaris: circumnutazione dell'ipocotilo, modificata dall'azione di una luce laterale, rilevata sopra un vetro orizzontale dalle 8,30 del mattino alle 5,30 di sera. La direzione dei raggi della candela che rischiarava la pianta, sarebbe indicata da una linea che unisce il primo punto col penultimo. Figura ridotta ad 1/3 dell'originale.

Inoltre due pianticelle di *Solanum lycopersicum* furono rischiarate dall'alto, ma per un accidente ricevettero un po' più di luce da una parte che dall'altra, ed i loro ipocotili s'inclinarono verso la parte più fortemente rischiarata; il loro movimento originò una linea a zig-zag, interrotta da due piccoli triangoli, come lo indica la figura 37 (pag. 37), ed un altro diagramma che non abbiamo dato. I cotiledoni in forma di guaina di *Zea mays* si comportarono, in circostanze quasi simili, in modo press'a poco analogo, come l'abbiamo descritto nel primo capitolo; infatti, s'inclinarono tutta la giornata verso una parte, descrivendo però, nel loro cammino, alcune notevoli sinuosità. Prima di sapere quanto l'azione della luce laterale poteva modificare la circumnutazione ordinaria, abbiamo posto di faccia ad una finestra al N.-E. alcune pianticelle di avena, i cui cotiledoni erano già abbastanza vecchi, e perciò poco sensibili; tutta la giornata però questi s'inclinarono verso la finestra, descrivendo numerose linee a zig-zag. Il giorno dopo continuarono ad inclinarsi nella stessa direzione (fig. 169), ma con degli zig-zag meno pronunciati. Però dalle 12,40 alle 2,35 di sera il cielo si coperse di nubi assai fitte, e fu interessante di constatare, quanto manifestamente durante questo intervallo circumnutassero i cotiledoni.

Le osservazioni precedenti hanno qualche valore, poichè furono fatte in un momento in cui non ci occupammo dell'eliotropismo; esse ci condussero ad esperimentare sopra parecchie specie di pianticelle, esponendole ad una debole luce laterale, per osservare le transizioni fra la circumnutazione ordinaria e l'eliotropismo. Furono poste delle pianticelle in vasi di fronte ad una finestra al N.-E., ad una distanza di circa un yard al disopra dei vasi, e da ogni parte furono disposte delle tavole annerite. Di dietro le piante erano esposte alla luce diffusa dell'ambiente, che possedeva una seconda finestra al N.-E., ed una al N.-O. Era facile, ponendo davanti alla finestra una o più tende, di diminuire l'entrata della luce in modo che la faccia della pianta rivolta verso la finestra fosse di poco più rischiarata della faccia esposta alla luce diffusa. Ad un'ora abbastanza avanzata della sera le tende vennero successivamente levate, e siccome nel corso della giornata le pianticelle non avevano ricevuto che una luce abbastanza debole, continuarono ad inclinarsi verso la finestra molto più tardi che non l'avrebbero fatto senza queste precauzioni. La maggior parte delle pianticelle furono scelte, perchè di alcune sapevamo che erano assai sensibili all'azione della luce, e di altre, al contrario, che lo erano assai poco, od erano divenute tali invecchiando. I movimenti furono rilevati nel modo solito sopra un vetro orizzontale; un filo sottile di vetro munito di piccoli triangoli di carta era stato fissato verticalmente sugli ipocotili. Quando il fusto o l'ipocotilo s'in-

clinava fortemente verso la luce dovevasi rilevare l'ultima parte della sua corsa sopra un vetro verticale parallelo alla finestra, e perpendicolare al vetro orizzontale.

Fig 169.

Avena sativa: movimento eliotropico e circumnutazione di un cotiledone in forma di astuccio alto 1 1/2 poll., rilevati sopra un vetro orizzontale dalle 8 del mattino alle 10,25 della sera del 16 ottobre.

Apios graveolens. — In poche ore l'ipocotilo s'inclina ad angolo retto verso una luce laterale brillante. Allo scopo di determinare se la corsa seguìta da quest'organo era rettilinea, con una debole luce laterale, collocammo in principio delle pianticelle davanti ad una finestra al S.-O. in una mattina coperta e piovosa; rilevammo per 3 ore i movimenti di due ipocotili, che durante questo tempo s'inclinarono fortemente verso la luce. Uno dei diagrammi ottenuti è rappresentato dalla figura 170, e si può vedere che il cammino seguìto era perfettamente diritto. Ma, in questo caso, la quantità di luce ricevuta era ancora più che sufficiente, poichè due pianticelle, poste davanti ad una finestra al N.-E., protette da una tenda comune di tela e da due altre di mussolina, volsero i loro ipocotili verso questa debole luce non descrivendo che dei leggeri zig-zag; ma dopo le 4 l'intensità luminosa diminuì ancora, e gli zig-zag si fecero più spiccati. Una di queste pianticelle descrisse inoltre, dopo mezzodì, un'ellisse di dimensioni considerevoli, il cui asse maggiore era diretto verso la finestra.

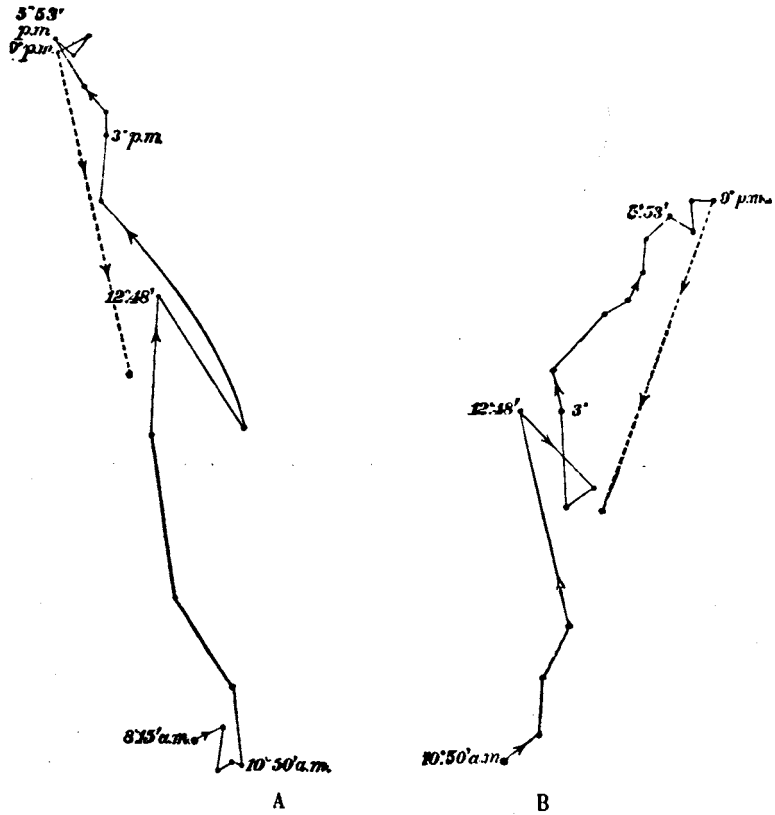
Volemmo allora che la luce fosse piuttosto debole, e perciò esponemmo parecchie pianticelle ad una finestra al N.-E,, protetta da una tenda di tela, tre di mussolina, ed una salvietta. Ma la luce che filtrava era allora così debole che non si poteva distinguere l'ombra proiettata da un lapis sopra della carta bianca; gli ipocotili non manifestarono alcuna incurvatura verso la finestra. Durante questo tempo, cioè dalle 8,15 alle 10,50 del mat-

Fig. 170.

Apios graveolens: movimento eliotropico di un epicotilo (alto 0,45 poll.) verso una luce laterale moderata, rilevata sopra un vetro orizzontale il giorno 18 settembre dalle 8,30 alle 11,30 del mattino. Figura ridotta ad 1/3 dell'originale.

tino, gli ipocotili descrissero delle linee a zig-zag, o circumnutarono intorno allo stesso punto, come si può vederlo in A, fig. 171. Alle 10,50 levammo la salvietta per sostituirla con due tende di mussolina; la luce passava allora attraverso ad una tenda di tela e quattro di mussolina. Un lapis, collocato su carta bianca, presso alle pianticelle, lasciava allora un'ombra appena percettibile e diretta nel senso opposto alla finestra. Ma bastò questo leggerissimo eccesso di luce da un lato perchè gl'ipocotili di tutte le pianticelle cominciassero immediatamente ad inclinarsi verso la finestra, descrivendo delle linee a zig-zag. Il cammino di uno di questi ipocotili è indicato in A (fig. 171): dopo di essersi diretto verso la finestra dalle 10,50 del mattino alle 12,48 s'inclinò in senso contrario, e ritornò sui suoi passi seguendo

Fig. 171.

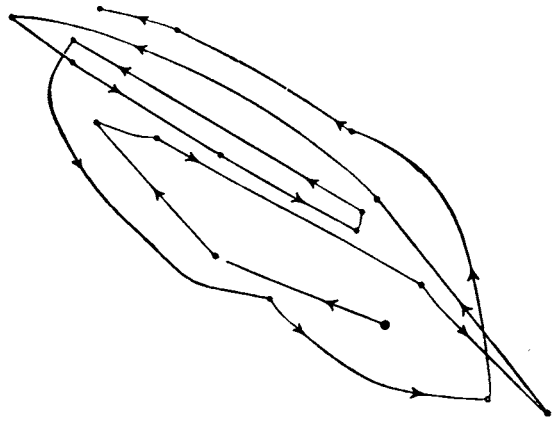


Apios graveolens: movimento eliotropico e circumnutazione degli ipocotili di due pianticelle verso una debole luce laterale, rilevati durante la giornata sopra un vetro orizzontale. Le linee punteggiate indicano il cammino notturno. L'ipocotilo di A misura 0,5 poll., quello di B, 0,55 poll. di altezza. Figura ridotta di metà.

una linea circa parallela; descrisse così, dalle 10,50 alle 12,48, una stretta ellisse. Nella sera, quando la luce cominciò a diminuire, l'ipocotilo cessò di dirigersi verso la finestra e circumnutò sopra un piccolo spazio intorno allo stesso punto; durante la notte ebbe un movimento di retrocessione considerevole, ossia si raddrizzò molto di più, sotto l'azione dell'apogeotropismo. In B, abbiamo il diagramma dei movimenti di un'altra pianticella a partire dal momento (10,50) in cui fu levata la salvietta; questo movimento è, su tutti i punti essenziali, simile al precedente. In questi due casi non si poteva dubitare che il movimento circumnutante ordinario dell'ipocotilo fosse stato modificato, e fosse divenuto eliotropico.

Brassica oleracea. — L'ipocotilo di cavolo, quando non subisce l'influenza della luce laterale, circumnuta in modo complicato press'a poco intorno ad un medesimo punto; riproduciamo qui (fig. 172) il diagramma di questo movimento, che abbiamo già dato. Se l'ipocotilo è esposto ad una luce laterale moderata, s'inclina fortemente verso la parte rischiarata, segnando una linea retta o quasi. Ma se la luce laterale è assai debole, il suo cammino si rende molto tortuoso, e si manifesta come una modificata circumnutazione. Furono poste delle pianticelle davanti ad una finestra al N.-E, protetta da una tenda di mussolina, e da una salvietta. Il cielo era coperto,

Fig. 172.

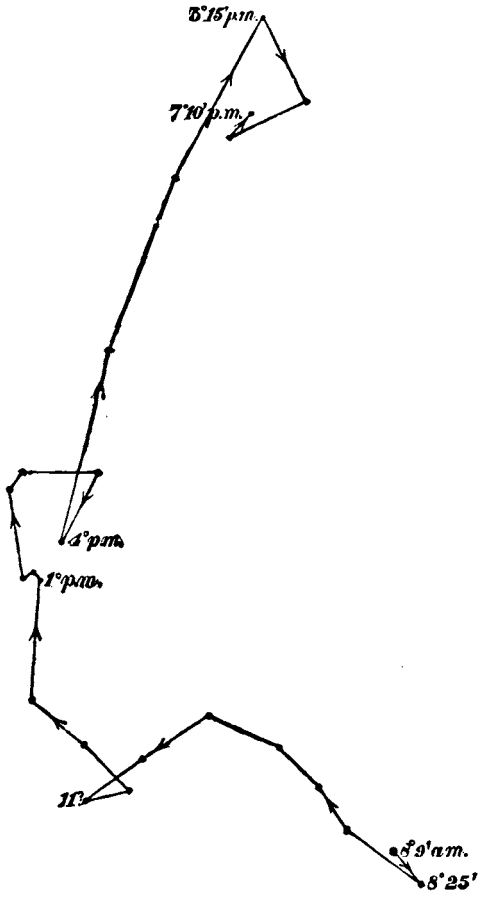


Brassica oleracea : circumnutazione ordinaria dell'ipocotilo di una pianticella.

e quando si faceva un poco più chiaro, aggiungevamo momentaneamente un'altra tenda di mussolina. La luce che entrava dalla finestra era abbastanza debole perchè, giudicando a prima vista, le pianticelle si mostrassero maggiormente rischiarate dall'interno della camera che dalla finestra; in realtà però, come potemmo constatare, osservando l'ombra leggerissima di un lapis sulla carta bianca, la cosa non era così. Tuttavia, questo piccolissimo eccesso di luce da un lato bastò perchè gli ipocotili che al mattino erano verticali, s'inclinassero ad angolo retto verso la finestra, di guisa che nella sera, dopo 4 ore e 23 m., dovemmo rilevare il loro cammino sopra un vetro verticale parallelo alla finestra. Dobbiamo dire che alle 3,30 di sera il cielo si coperse un poco di più, e la salvietta venne levata e sostituita da un'altra tenda di mussolina, che essa pure fu levata alle 4, lasciando appese le altre due soltanto. La fig. 173 mostra il cammino seguìto da uno degli ipocotili dalle 8,9 del mattino alle 7,10 di sera. Bisogna notare che durante i primi 16 minuti l'ipocotilo s'allontanava in direzione obliqua dalla luce, ciò che senza dubbio era dovuto alla sua circumnutazione in questa direzione. Osservammo a più riprese dei casi simili, ed era raro che una luce debole producesse effetto prima di uno a tre quarti d'ora. Alle 5 di sera, momento in cui la luce diminuiva, l'ipocotilo cominciava a circumnutare intorno al medesimo punto. Il contrasto fra le due figure 172 e 173 sarebbe stato molto più manifesto, se queste fossero state tracciate fino da principio sulla stessa scala e poi ridotte in eguale misura. Ma i movimenti indicati dalla fig. 172 furono dapprima più fortemente amplificati ed in seguito ridotti alla metà della scala primitiva, mentre quelli della fig. 173, in principio meno amplificati, furono in seguito ridotti al terzo della loro grandezza primitiva. Un diagramma tracciato nello stesso tempo, e rappresentante i movimenti di un secondo ipocotilo, aveva un aspetto affatto analogo, però questa seconda pianticella non s'inclinò così fortemente verso la luce, e la sua circumnutazione era relativamente più pronunciata.

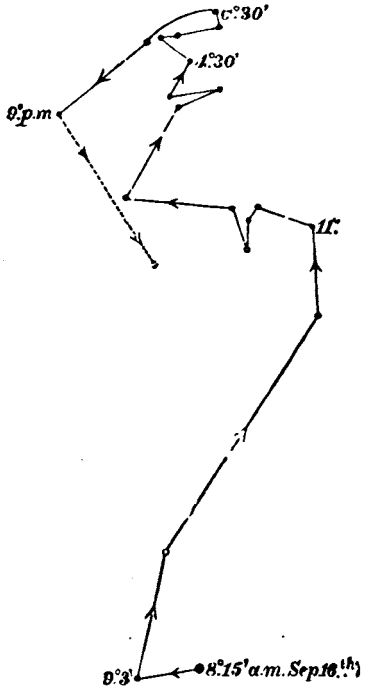
Phalaris Canariensis. — Furono scelti per le nostre esperienze i cotiledoni in forma di fodero di questa pianta monocotiledone, e ciò sia per la loro sensibilità alla luce, sia perchè circumnutano assai bene, come l'abbiamo ormai dimostrato (vedi fig. 49, p. 45). Benchè non avessimo alcun dubbio intorno al risultato, collocammo in principio alcune pianticelle davanti ad una finestra al S.-O., in una mattina moderatamente chiara, e rilevammo i movimenti di una di esse. Come suole

Fig. 173.



Brassica oleracea: movimenti eliotropico e circumnutante di un ipocotilo verso una luce assai debole laterale; rilevati per 11 ore, sopra un vetro orizzontale di mattina, e sopra un vetro verticale di sera. Figura ridotta al terzo dell'originale.

Fig. 174.

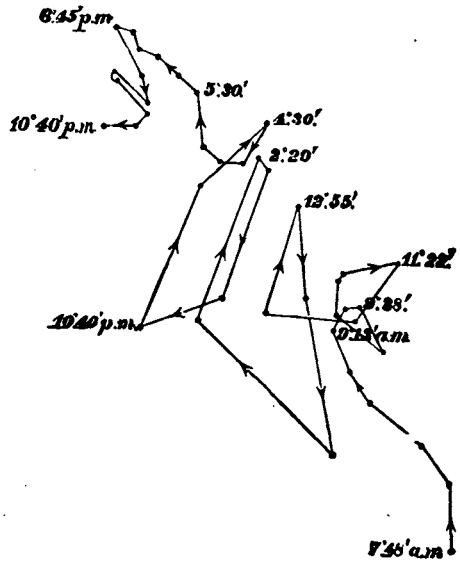


Phalaris Canariensis: movimento eliotropico e circumnutazione di un cotiledone abbastanza vecchio verso una luce debole e laterale, rilevati sopra un vetro orizzontale dalle 8,15 ant. del 16 settembre alle 7,45 ant. del 17. Figura ridotta ad 1/3 dell'originale.

avvenire, essa cominciò a muoversi durante i primi 45 minuti, descrivendo delle linee a zig-zag, seguì quindi pienamente l'influenza della luce, e si diresse verso di essa durante le successive due ore e 30 m. in linea quasi retta. Non diamo qui questo diagramma, poichè è affatto identico a quello dei movimenti d'*Apios graveolens* nelle stesse circostanze (fig. 170). A mezzogiorno la pianticella si era curvata completamente in tutta la sua estensione; circumnutò allora intorno allo stesso punto, e descrisse due ellissi; alle 5 di sera, si era di molto scostata dalla luce, sotto l'azione dell'apogeotropismo. Dopo alcune esperienze preliminari, destinate a determinare il grado conveniente di oscurità, alcune pianticelle furono poste il 16 settembre davanti ad una finestra al N.-E.; la luce passava attraverso ad una tenda comune di tela e tre altre di mussolina. L'ombra di un lapis su carta bianca era così appena visibile in prossimità delle pianticelle; essa era però proiettata in direzione opposta alla finestra. Nella sera, alle 4,30, poi alle 6, una delle tende

di mussolina venne levata. Vediamo nella fig. 174 il cammino seguìto, in queste condizioni, da un cotiledone abbastanza vecchio e non molto sensibile, alto 1,9 poll., che s'inclinò molto verso la luce, ma senza che la sua incurvatura divenisse rettangolare. Dopo le 11 del mattino, momento in cui il cielo divenne alquanto più oscuro, fino alle 6,30 di sera, gli zig-zag furono ben marcati; essi rappresentavano evidentemente delle ellissi stirate. Dopo le 6,30 di sera, e durante la notte, si allontanò dalla finestra, seguendo una linea curva. Un'altra pianticella più giovane si muoveva, nello stesso tempo, molto più fortemente e sopra uno spazio maggiore, e si dirigeva verso la luce in una linea poco marcata a zig-zag; alle 11 del mattino era curvata quasi rettangolarmente su questa direzione, e si mise a circumnutare intorno al medesimo posto.

Fig. 175.

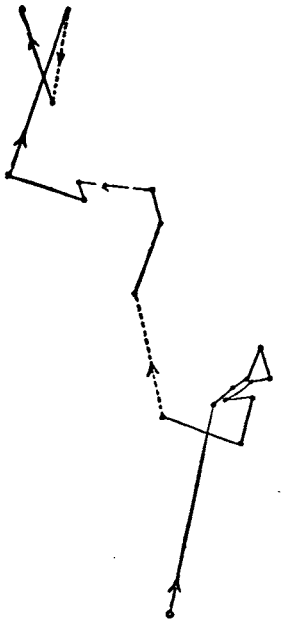


Tropæolum majus: movimento eliotropico e circumnutazione dell'epicotilo di una giovane pianticella verso una debole luce laterale, rilevati sopra un vetro orizzontale, dalle 7,48 ant. alle 10,40 pom. Figura ridotta di metà.

Tropæolum majus. — Alcune pianticelle giovanissime che non portavano che due foglie, e che non avevano per conseguenza raggiunta l'età in cui la pianta arrampica, furono poste dapprima davanti ad una finestra al N. E., mancante di tenda. Gli epicotili si curvarono verso la luce così rapidamente, che in poco meno di 3 ore le loro estremità si dirigevano rettangolarmente in quella direzione. Le linee tracciate erano quasi diritte, o presentavano dei leggeri zig-zag, ed in quest'ultimo caso vediamo che una traccia di circumnutazione ha persistito anche sotto l'influenza di una luce moderata. In due riprese, mentre che questi epicotili s'inclinavano verso la finestra, furono rilevati dei punti ad intervalli di 5 o 6 minuti, affine di vedere se non vi erano delle traccie di un movimento laterale; ma quest'ultimo era quasi nullo; le linee formate dalla riunione di questi punti erano press'a poco diritte, o leggermente spezzate, come nelle altre parti dei diagrammi. Dopo che gli epicotili si erano completamente inclinati verso la luce, descrissero, come al solito, delle ellissi di dimensioni considerevoli.

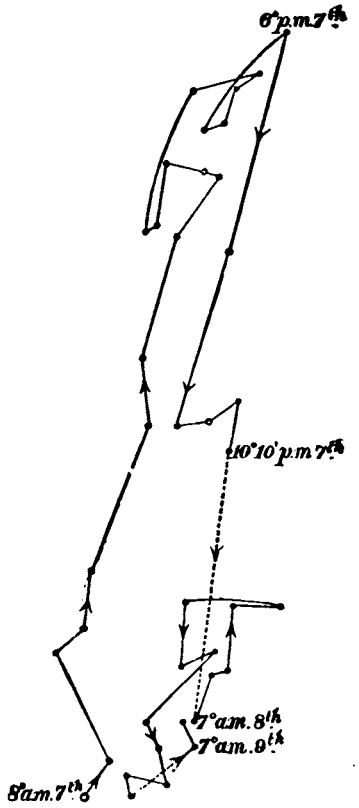
Dopo di aver visto come gli epicotili s'inclinano verso una luce moderata, collocammo alle 7,48 del mattino del 7 settembre, delle pianticelle davanti ad una finestra al N.-E., la quale era protetta da una salvietta cui aggiungemmo, poco dopo, una tenda comune di tela; ma gli epicotili continuarono ancora a muoversi nella direzione della luce. Alle 9,13 del mattino collocammo davanti alla finestra due altre tende di mussolina, di guisa che le pianticelle non ricevevano, da questa parte, che pochissima luce di più di quella che avevano dall'interno dell'ambiente. Lo stato del tempo variava, di guisa che ad intervalli le pianticelle ricevevano dalla finestra meno luce che dalla parte opposta (ce ne assicurammo col mezzo dell'ombra generata); levammo allora momentaneamente una delle tende. Nel corso della sera furono levate tutte una per una. La fig. 175 indica il cammino seguìto in queste

Fig 176.



Tropæolum majus: movimento eliotropico e circumnutazione di un vecchio internodio verso una luce laterale, rilevati sopra un vetro orizzontale dalle 8 ant. del 2 novembre alle 10,20 antim. del 4. Le linee punteggiate indicano il cammino notturno.

Fig. 177.



Cassia tora: movimento eliotropico e circumnutazione di un ipocotilo, alto 1 1/2 poll., rilevati sopra un vetro orizzontale il giorno 7 ottobre dalle 8 del mattino alle 10,10 di sera. Circumnutazione del medesimo ipocotilo nell'oscurità dalle 7 del mattino dell'8 ottobre alle 7,45 ant. del giorno 9.

condizioni da un epicotilo. Durante tutta la giornata, fino alle 6,45 di sera, esso s'inclinò completamente verso la luce e la sua estremità percorse uno spazio considerevole. Dopo le 6,45 tornò indietro nel senso opposto alla finestra, fino alle 10,40 p., momento in cui fu rilevato l'ultimo punto. Abbiamo dunque qui un movimento eliotropico distinto, effettuato col mezzo di sei figure allungate, che sarebbero state più o meno ellittiche, se ogni due minuti fossero stati segnati dei punti. La direzione generale delle figure era verso la luce, e l'estremità di ogni ellisse era più vicina alla finestra di quella della figura precedente. Se la luce fosse stata soltanto un poco più intensa, l'epicotilo si sarebbe inclinato più fortemente nella sua direzione, come si può dedurre dalle esperienze precedenti. Il movimento laterale avrebbe, nello stesso tempo, di molto diminuito, e le ellissi o le altre figure si sarebbero stirate in modo da costituire una linea a zig-zag, probabilmente ancora interrotta da una o due piccole anse. Se la luce fosse stata ancora più intensa, avremmo ottenuto una linea leggermente a zig-zag, od affatto dritta, poichè il mo-

vimento verso la luce sarebbe stato molto più spiccato, mentre lo spostamento laterale avrebbe subìto una diminuzione considerevole.

Sachs disse che gl'internodi più vecchi di questo *Tropæolum* sono afeliotropici; per verificarlo collocammo una pianta, alta 11 3/4 poll., in una scatola annerita all'interno, ma aperta sulla parte che guardava una finestra al N.-E., mancante di tenda. Fu fissato un filo sul terzo internodio a partire dalla sommità, in una pianta, e sul quarto in un'altra. Questi internodi non erano forse abbastanza vecchi, o forse anche la luce era troppo debole, per determinare un'azione afeliotropica, poichè le due piante per quattro giorni s'inclinarono leggermente verso la finestra, in luogo di allontanarsene. Il cammino del primo di questi internodi, per due giorni, è rappresentato dalla fig. 176, e noi vediamo che o circumnutava in grado leggero o si dirigeva verso la finestra in linea a zig-zag. Abbiamo creduto di dover indicare qui questo caso di debole eliotropismo in uno degli internodi un poco vecchi di una pianta che quando è giovane, è così fortemente sensibile all'azione luminosa.

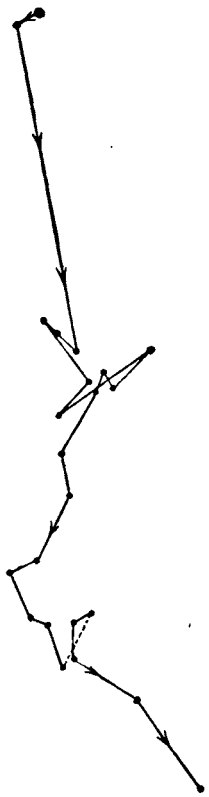
Cassia tora. — I cotiledoni di questa pianta sono sensibilissimi all'azione luminosa, mentre gl'ipocotili lo sono molto meno di quelli della maggior parte delle altre pianticelle; noi abbiamo spesso osservato questo fatto sorprendente. Credemmo dunque che tali movimenti meritassero di essere rilevati. Le pianticelle furono esposte ad una luce laterale, davanti ad una finestra al N.-E., che in principio non era coperta che da una tenda di mussolina; ma siccome verso le 11 del mattino il tempo si rischiarò, aggiungemmo un'altra tenda di tela. Dopo le 4 di sera levammo una delle tende, poi l'altra. Le pianticelle erano protette da ogni lato e dall'alto, ma di dietro erano esposte alla luce diffusa dell'ambiente. Furono fissati dei fili perpendicolari sugli ipocotili di due pianticelle, che nella mattina erano verticali. La fig. 177 mostra il cammino seguìto per due giorni da uno di essi; conviene notare espressamente che al secondo giorno le pianticelle furono conservate nell'oscurità, e circumnutarono poi intorno al medesimo piccolo spazio. Al primo giorno (7 ottobre) l'ipocotilo si diresse verso la luce dalle 8 del mattino alle 12,23 pom., seguendo una linea a zig-zag, poi girò bruscamente verso la sinistra, e descrisse in seguito una piccola ellisse. Un'altra ellisse irregolare fu completata dalle 3 alle 5,30 di sera circa, e mentre l'ipocotilo s'inclinò ancora sempre verso la luce al mattino esso era diritto e verticale, ma alle 6 di sera la sua metà superiore era curvata verso la luce, di guisa che la corda dell'arco così formata faceva colla perpendicolare un angolo di 20°. Dopo le 6 di sera ritornò sui suoi passi sotto l'azione dell'apogeotropismo, e continuò tutta la notte ad allontanarsi dalla finestra, come lo indica la linea punteggiata. Il giorno dopo la pianta fu tenuta all'oscuro, e venne rischiarata soltanto al momento delle osservazioni; il cammino seguìto dalle 7 del mattino dell'8, alle 7,45, pure del mattino, del 9, è indicato dal diagramma. È notevole la differenza fra le due parti della figura (177), ossia fra la parte tracciata nel corso del giorno 7, sotto l'influenza di una luce laterale abbastanza forte, e quella tracciata il giorno 8 nell'oscurità. Nel primo giorno le linee descritte erano tutte dirette verso la sorgente luminosa. I movimenti di un'altra pianticella, tracciati nelle stesse condizioni, erano assai simili.

Afeliotropismo. — Non potemmo osservare che due casi d'afeliotropismo, poichè questo genere di movimento è abbastanza raro e gli spostamenti sono così leggeri che sarebbe stato difficilissimo di rilevarli.

Bignonia capreolata. — Nessun organo in una pianta qualsiasi si allontana così fortemente dalla luce, per quanto ci consta, dei viticci di *Bignonia*. Questi sono ancora notevoli per il fatto che la loro circumnutazione è molto meno regolare di quella della maggior parte degli altri viticci, e perchè rimangono spesso stazionarî. Subiscono l'azione dell'afeliotropismo per venire in contatto coi tronchi degli

alberi (1). Fu fissato il fusto di una giovane pianta ad un bastone alla base di un paio di piccoli viticci, che si proiettavano verticalmente in alto. La pianta venne collocata di fronte ad una finestra al N.-E., e protetta, su tutte le altre sue faccie, contro l'azione della luce. Il primo punto venne rilevato alle 6,45 del mattino, ed alle 7,45, i due viticci avevano subìto l'influenza della luce, poichè si allontanavano dalla finestra in linea retta fino alle 9,20 del mattino; entrarono allora in circumnutazione continuando ad allontanarsi sebbene leggermente dalla luce (vedi fig. 178 che rappresenta i movimenti del viticcio di sinistra). Alle 3 di sera ricominciarono ad allontanarsi rapidamente dalla sorgente luminosa, seguendo una linea a zig-zag. Alla fine della sera lo spostamento di questi due organi era così forte che si trovarono direttamente opposti alla direzione dei raggi luminosi. Durante la notte ebbero un leggero movimento in un senso press'a poco opposto. Al mattino successivo ripresero ad allontanarsi dalla luce, convergendo, così che la sera erano intrecciati e diretti nel senso opposto alla sorgente luminosa. Il viticcio di destra, convergendo, descriveva delle linee a zigzag molto più pronunciate di quello di sinistra, di cui qui riproducemmo il movimento. I due diagrammi mostravano che il movimento afeliotropico non era che una forma modificata della circumnutazione.

Fig. 178.



Bignonia capreolata movimento afeliotropico di un viticcio. rilevato sopra un vetro orizzontale dalle 6,45 ant. del 19 luglio alle 10 ant. del 20. I movimenti che, sulla traccia originale, erano poco amplificati, sono ridotti qui ai 2/3 della scala primitiva.

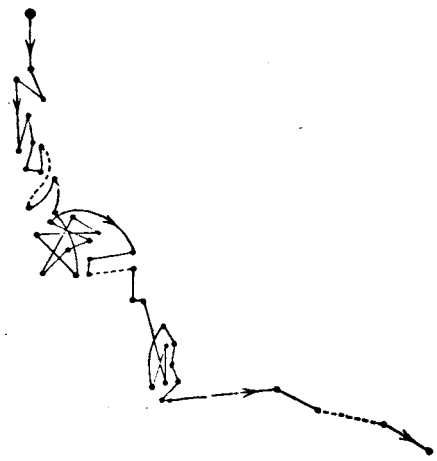
Cyclamen Persicum. — Fintantochè questa pianta fiorisce, i suoi peduncoli fiorali sono eretti, ma la loro parte superiore si curva ad uncino, di guisa che i fiori sono pendenti. Appena le capsule cominciano a svilupparsi, i peduncoli s'allungano molto, e s'inclinano lentamente in basso; ma la loro parte superiore, corta ed incurvata, si raddrizza. Da ultimo le capsule raggiungono il suolo e se la terra è coperta di musco o di foglie secche, vi si immergono. Abbiamo spesso visto delle depressioni in forma di scodella, formate dalle capsule nella sabbia umida o nella segatura di legno, ed una capsula di 0,3 poll. di diametro si nascose nella segatura con tre quarti della sua lunghezza (2). Avremo in seguito occasione di esaminare lo scopo che è raggiunto da questo processo di interramento. I peduncoli possono cambiare la direzione della loro incurvatura; imperocchè se un vaso, munito di piante i cui peduncoli sono già incurvati verso il basso, è collocato orizzontalmente, i peduncoli s'inclinano lentamente e perpendicolarmente alla loro direzione primitiva verso il centro

(1) *The Movements and Habits of Climbing Plants*, 1875, p. 97.

(2) I peduncoli di molte altre specie di *Cyclamen* si dispongono a spira, e secondo Erasmo DARWIN (*Bot. Gard.*, canto III, p. 126) i frutti penetrano con forza nel terreno. Vedi anche GRENIER e GODRON, *Flore de France*, tom. II, p. 459.

della terra. Noi abbiamo perciò attribuito dapprima questo movimento al geotropismo. Ma un vaso, che era stato posto orizzontalmente coi frutti diretti tutti verso la terra, fu rovesciato, rimanendo sempre orizzontale, in modo che i frutti fossero diretti verticalmente in alto; il vaso fu in tale stato collocato in un armadio oscuro, e dopo quattro giorni e quattro notti, i frutti erano ancora sempre rivolti in alto. Il vaso, sempre nella stessa posizione, venne esposto alla luce, e due giorni dopo, si era prodotta una certa incurvatura dei peduncoli verso il basso; al quarto giorno due di essi guardavano il centro della terra; gli altri presero la stessa direzione un giorno o due dopo. Un'altra pianta tenuta in un vaso, che aveva sempre conservata la sua posizione normale, fu posta per sei giorni in un armadio oscuro; essa portava tre peduncoli, ed uno solo di essi, durante questo tempo, presentò verso il basso una certa incurvatura, però dubbiosa. Non è dunque il peso dei frutti che determina il movimento verso il basso. Questo vaso fu poscia esposto alla luce, e tre giorni dopo i peduncoli presentavano una incurvatura discendente considerevole. Noi siamo perciò portati a pensare che questo fenomeno sia dovuto all'afeliotropismo, sebbene fosse utile istituire altre esperienze.

Fig. 179.



Cyclamen Persicum: movimento afeliotropico di un peduncolo fiorale, fortemente amplificato (47 volte circa ?) rilevato sopra un vetro orizzontale dall'1 pom. del 18 febbraio alle 8 ant. del 21.

Volendo osservare la natura di questo movimento, sollevammo un poco e fissammo sopra un bastone un peduncolo che portava una grossa capsula che aveva già toccato il suolo sul quale riposava. Si fissò un filo di vetro obliquamente sulla capsula e si fece al disotto un segno; il suo movimento, notevolmente ingrandito, venne rilevato sopra un vetro orizzontale per 67 ore. La pianta durante la giornata era rischiarata dall'alto. Diamo (fig. 179) una copia del diagramma ottenuto; non si può dubitare che il movimento di discesa sia una modificazione della circumnutazione, ma in grado debolissimo. L'osservazione fu ripetuta sopra un'altra capsula in parte immersa nella segatura di legno, la quale fu elevata fino a 1/4 di pollice al disopra della superficie; essa descrisse in 24 ore tre circoli assai piccoli. Se consideriamo la notevole lunghezza e l'esilità dei peduncoli, e la leggerezza dei frutti, possiamo concludere che questi organi non potrebbero incavare delle depressioni nella segatura o nella sabbia, nè nascondersi nel musco, ecc., se non fossero aiutati dal loro movimento continuo di rivoluzione o di circumnutazione.

Relazioni fra la Circumnutazione e l'Eliotropismo. — Chiunque considererà i diagrammi che abbiamo dati, rappresentanti i movimenti dei fusti di diverse piante verso una luce laterale più o meno intensa, sarà forzato di ammettere che vi è una transizione graduata fra la circumnutazione e l'eliotropismo. Quando una pianta è esposta ad una forte luce laterale, e continua per tutta la giornata ad

inclinarsi nella direzione della sorgente luminosa, per non arrestarsi che alla sera, il movimento è incontestabilmente eliotropico. Ora nel caso del *Tropœolum* (fig. 175), il fusto, o l'epicotilo, circumnutava nettamente per tutta la giornata, e continuava nello stesso tempo a muoversi eliotropicamente; quest'ultimo movimento era eseguito in modo che l'estremità di ogni ellisse successiva era più avvicinata alla sorgente luminosa che l'estremità della figura precedente. Nel caso della *Cassia* (fig. 177) è assai interessante di confrontare i movimenti dell'ipocotilo, secondo che quest'organo è esposto ad una luce laterale moderata, oppure all'oscurità; la differenza è la stessa fra i movimenti ordinari di circumnutazione di una pianticella di *Brassica* (fig. 172, 173) o di *Phalaris* (fig. 49, 174), ed i loro movimenti eliotropici verso una finestra protetta dalle tende. In questi due casi, come in molti altri, era interessante di osservare, come i fusti incominciassero a circumnutare appena che la luce nella sera diminuiva d'intensità. Abbiamo dunque numerose transizioni fra un movimento verso la luce, che deve essere considerato come una leggera modificazione della circumnutazione, e che si compone ancora di ellissi e di circoli, ed un movimento quasi od anche affatto diritto ed eliotropico, — passando per un movimento più o meno a zig-zag, interrotto talvolta da anse o da ellissi.

Una pianta esposta ad una luce laterale, anche brillante, si allontana generalmente in principio seguendo una linea a zig-zag, oppure direttamente, dalla sorgente luminosa; senza dubbio, questo movimento è dovuto al fatto ch'essa in quel mentre circumnuta in una direzione opposta alla sorgente predetta, oppure più o meno trasversale ad essa. Mano mano che la direzione del movimento circumnutante coincide press'a poco con quella della luce, la pianta se l'intensità luminosa è sufficiente, s'inclina nettamente in questa direzione. Il cammino sembra farsi vieppiù rapido e rettilineo, in accordo col grado d'intensità della luce; e in primo luogo perchè gli assi maggiori delle figure ellittiche descritte continuamente dalla pianta, mentre la luce si conserva abbastanza debole, si dirigono più o meno esattamente verso la sorgente luminosa, ed ogni ellisse successiva le è sempre più avvicinata; in secondo luogo, perchè, se la luce è anche debolmente attutita, il movimento nella sua direzione si accresce e si accelera, mentre che quello in senso contrario viene ritardato od anche annullato; ma vi è sempre un certo spostamento laterale, poichè la luce agisce con minore energia sopra un movimento perpendicolare alla sua direzione che sopra uno diretto nello stesso senso (1). Ne risulta che il cammino assume un andamento più o meno a zig-zag, e che la

(1) Nel suo lavoro *Ueber orthotrope und plagiotrope Pflanzentheile* (*Arbeiten des Bot. Inst. in Würzburg*, Band 11, Heft II, 1879), Sachs ha discusso il modo con cui il geotropismo e l'eliotropismo sono impressionati dalle differenze angolari fra gli organi delle piante e la direzione della forza incidente.

sua celerità è ineguale. Finalmente, se la luce è assai forte, ogni movimento laterale scomparisce, e l'energia tutta della pianta è impiegata a rendere rettilineo il movimento circumnutante, e ad aumentare la sua rapidità in una sola direzione, cioè a dire verso la luce.

Sembra ammettersi generalmente che l'eliotropismo sia un movimento affatto speciale e distinto dalla circumnutazione, e si può dire in appoggio che nei nostri diagrammi l'eliotropismo è strettamente combinato colla circumnutazione, o ad essa sovrapposto. Ma se fosse così, sarebbe necessario ammettere che una luce laterale intensa arresti completamente il movimento di circumnutazione, poichè una pianta esposta alla sua azione si muove verso l'agente luminoso seguendo una linea retta, senza descrivere nessuna figura ellittica o circolare. Se la luce diminuisce un poco, rimanendo abbastanza forte perchè la pianta continui a dirigersi verso di essa, vediamo, con maggiore o minore evidenza, che la circumnutazione continua ancora. Devesi inoltre supporre, che la luce laterale soltanto abbia questo potere straordinario di arrestare la circumnutazione, poichè sappiamo che le diverse piante sulle quali furono portate le nostre esperienze, e tutte quelle che abbiamo osservate durante il loro accrescimento, continuano a circumnutare qualunque sia l'intensità della luce, quando il chiarore giunge loro dall'alto. Nè si può dimenticare, che nella vita di ogni pianta, la circumnutazione precede l'eliotropismo, poichè gl'ipocotili, gli epicotili ed i picciuoli circumnutano prima di essere usciti da terra e di avere subito giammai l'influenza della luce.

Noi siamo dunque, a quanto pare, pienamente autorizzati a ritenere che, sotto l'influenza di una luce laterale, il movimento circumnutante determina il movimento eliotropico od afeliotropico od in esso si converte. In tal maniera non è più necessario di ammettere contro ogni analogia, che una luce laterale arresti completamente la circumnutazione; essa non fa che eccitare la pianta a modificare momentaneamente il suo movimento in modo benefico. L'esistenza di tutte le gradazioni possibili fra un cammino diritto verso la luce ed un cammino formato da una serie di anse o di ellissi, si rende perfettamente spiegabile. Finalmente la conversione della circumnutazione in eliotropismo od afeliotropismo è affatto analoga a quella che si produce nelle piante che dormono, che durante la giornata completano una o due ellissi o più ancora, e spesso descrivono delle linee spezzate, o formano dei piccoli cirri, imperocchè quando queste piante incominciano sulla sera a prendere la loro posizione di sonno, impiegano egualmente tutta la loro energia per rendere il cammino rettilineo e rapido. Quanto ai movimenti di sonno, essi sono determinati o regolati da una differenza nell'intensità della luce che viene dall'alto a diversi momenti della giornata, mentre i movimenti eliotropici ed afeliotropici, sono causati dalla differenza nell'intensità della luce che colpisce i due lati della pianta.

Eliotropismo trasversale (di Franck) (1), *o Diaeliotropismo.* — La causa che spinge le foglie a collocarsi più o meno trasversalmente alla direzione dei raggi luminosi, in modo da dirigere la loro faccia superiore verso la luce, è stata da lungo tempo l'oggetto di numerose controversie. Non ci occuperemo qui dello scopo di tale movimento che è, senza dubbio, di procurare il massimo chiarore possibile alle faccie superiori delle foglie, ma considereremo i mezzi coi quali viene raggiunta una tale posizione. Sarebbe difficile di dare un esempio di diaeliotropismo migliore e più semplice di quello offerto da molte pianticelle, i cui cotiledoni sono distesi orizzontalmente. Quando tali organi escono dagli involucri seminali, sono in contatto uno dell'altro, e guardano in posizioni diverse sovente in alto; ma ben presto divergono, e tale movimento si effettua per l'azione dell'epinastia, che, come abbiamo visto, non è che una modificazione della circumnutazione. Dopo di essersi completamente distesi, i cotiledoni conservano press'a poco la stessa posizione, quantunque sieno fortemente rischiarati dall'alto per tutta la giornata; le loro faccie inferiori sono avvicinate al suolo, e sono per conseguenza bene ombreggiate. Vi è quindi una notevole differenza nella quantità di luce che ricevono le loro faccie superiore ed inferiore, e se fossero eliotropiche, dovrebbero inclinarsi fortemente in alto. Non bisogna però supporre che tali cotiledoni sieno immobilmente fissati nella loro posizione orizzontale. Quando delle pianticelle sieno poste davanti ad una finestra, i loro ipocotili, assai eliotropici, s'inclinano tosto nella direzione della luce, e le faccie superiori dei cotiledoni rimangono ancora sempre esposte perpendicolarmente ai raggi luminosi; ma, se l'ipocotilo è fissato in modo da non potersi inclinare, i cotiledoni cambiano essi stessi di posizione. Se tutti e due sono collocati sulla linea che segue la luce che entra, quello che è più lontano dalla sorgente luminosa si eleva, mentre che il più vicino si abbassa sovente; se sono disposti trasversalmente ai raggi luminosi, girano alquanto lateralmente sul loro asse, così che in ogni caso tentano di porre la loro faccia superiore perpendicolarmente alla luce. È la stessa cosa per le foglie delle piante che sono inchiodate sopra una parete, o crescono davanti ad una finestra. Una moderata quantità di luce è già bastante per determinare tali movimenti; è soltanto necessario che essa colpisca obliquamente le piante per un tempo sufficiente. Relativamente alla torsione dei cotiledoni sopra menzionata, Franck ha fatto un gran numero di esperienze assai interessanti sopra foglie appartenenti a rami fissati antecedentemente in diverse posizioni o capovolte.

Nelle nostre osservazioni sui cotiledoni delle pianticelle siamo stati spesso sorpresi della persistenza della loro posizione orizzontale diurna, ed eravamo convinti,

(1) *Die Natürliche Wagerechte Richtung von Pflanzentheilen*, 1870. Vedi pure alcuni articoli interessanti dello stesso autore, *Zur Frage über Transversal-Geo-und Heliotropismus* (*Bot. Zeit.*), 1873, p. 17 e seg.

prima di aver letto il lavoro di Franck, che era necessario di dare una spiegazione speciale. De Vries ha dimostrato (1), che la posizione più o meno orizzontale delle foglie è, nella maggior parte dei casi, posta sotto l'influenza dell'epinastia, del loro proprio peso, e dell'apogeotropismo. Quando una foglia giovane od un cotiledone sia nato, è portato nella sua posizione speciale dall'epinastia (l'abbiamo già fatto notare), la quale secondo De Vries continua ad agire lungamente sulle nervature mediane e sui picciuoli. L'influenza del peso non può essere che appena apprezzabile per la maggior parte dei cotiledoni, ad eccezione di alcuni casi che citeremo, ma può prendere una importanza maggiore nelle foglie larghe e grosse. Quanto all'apogeotropismo, De Vries afferma che esso generalmente entra in funzione, e questo fatto sarà tosto da noi sostenuto con prove indirette. Ma oltre a queste forze ed altre costanti che agiscono sulle foglie e sui cotiledoni, crediamo che in molti casi (non diciamo in tutti) vi sia però nelle foglie e nei cotiledoni una tendenza preponderante a collocarsi in una direzione più o meno trasversale alla luce.

Nei casi citati delle pianticelle esposte ad una luce laterale coi loro ipocotili obbligati, è impossibile che l'epinastia, la gravità o l'apogeotropismo, in opposizione o combinati, possano determinare l'elevazione di uno dei cotiledoni e l'abbassamento dell'altro, poichè tali forze debbono agire egualmente, sopra ambedue gli organi; e siccome l'epinastia, la gravità e l'apogeotropismo agiscono tutti in un piano verticale, non possono determinare la torsione dei picciuoli, che si produce nelle pianticelle assoggettate alle condizioni di chiarore sopra indicate. Tutti questi movimenti dipendono evidentemente, in qualche modo, dall'obliquità della luce; non possono però prendere il nome di elitioropici, giacchè tale parola implica una inclinazione verso questo agente fisico, mentre che il cotiledone più vicino alla sorgente luminosa si allontana dirigendosi verso il basso, e che tutti due si dispongono, più che è possibile, in una posizione perpendicolare ai raggi luminosi. Tale movimento per conseguenza merita un nome particolare. Poichè i cotiledoni e le foglie oscillano continuamente in alto e basso, e pure conservano durante tutta la giornata la debita loro posizione colla faccia superiore diretta trasversalmente verso la luce, e se spostati riassumono la loro posizione, il diaeliotropismo deve essere considerato come una forma modificata della circumnutazione. Questo fatto era sopratutto evidente quando rilevammo i movimenti dei cotiledoni posti di fronte ad una finestra. Noi vediamo qualche cosa di analogo nelle foglie e nei cotiledoni che dormono, i quali dopo di aver oscillato verticalmente per tutta la giornata si alzano la sera fino a divenire verticali, ed al mattino successivo discendono per riprendere la loro posizione orizzontale o diaeliotropica, movimento che si effettua in opposizione all'eliotropismo. Questo

(1) *Arbeiten des Bot. Inst., in Würzburg*, Heft II, p. 223 277.

ritorno alla loro posizione diurna, che richiede spesso un movimento angolare di 90°, è analogo al movimento delle foglie sopra rami spostati, che riprendono la loro posizione primitiva. Bisogna notare che una forza qual è l'apogeotropismo, agirà con gradi diversi di energia (1) secondo le diverse posizioni di queste foglie o di questi cotiledoni, che hanno durante la giornata delle oscillazioni verticali considerevoli; questi organi riprendono tuttavia la loro posizione orizzontale o diaeliotropica.

Noi possiamo dunque concludere, che i movimenti diaeliotropici non possono spiegarsi completamente con l'azione diretta della luce, della gravitazione, del peso, ecc., più che i movimenti nictitropici dei cotiledoni e delle foglie. Nell'ultimo caso, questi organi si collocano in modo che le faccie superiori sieno esposte il meno possibile all'irradiazione notturna, di guisa che le faccie superiori delle foglioline opposte vengono spesso in contatto. Questi movimenti, che possono rendersi assai complicati, se non sono direttamente cagionati, sono però regolati dall'alternarsi della luce e dell'oscurità. Nel caso del diaeliotropismo i cotiledoni o le foglie si dispongono in modo che le faccie superiori sieno pienamente esposte alla luce; questo movimento è regolato dalla direzione dei raggi, senza esserne direttamente prodotto. In ambedue i casi il movimento è una modificazione della circumnutazione sotto l'influenza delle cause innate o costituzionali, nella stessa guisa come nelle piante rampicanti, la cui circumnutazione aumenta di ampiezza e diviene circolare, o nei cotiledoni e nelle foglie assai giovani, che dall'epinastia sono portate nella loro posizione orizzontale.

Noi ci siamo occupati fin qui soltanto delle foglie e dei cotiledoni che conservano costantemente una posizione orizzontale; ma molti di questi organi si dispongono in una situazione più o meno obliqua, ed alcuni divengono perpendicolari. La causa di queste differenze di posizione è sconosciuta; ma secondo le idee di Wiesner (che esporremo più avanti), è probabile che alcuni di questi organi soffrirebbero, se ricevessero perpendicolarmente tutta la luce solare.

Abbiamo visto nel secondo e nel quarto capitolo, che i cotiledoni e le foglie, in cui i cambiamenti notturni di posizione non sono abbastanza significanti per meritare il nome di sonno, si elevano generalmente un poco nella sera per ridiscendere al mattino successivo in modo che di notte sono alquanto più inclinati in alto che a metà della giornata. È impossibile ammettere che un movimento di ascesa di 2° o 3° od anche di 10° o 20° possa essere di qualche utilità per la pianta e sia stato acquistato a questo scopo. Tale movimento deve risultare da cambiamenti periodici nelle condizioni alle quali sono assoggettati questi organi, e si può appena dubitare che si tratti di alternazioni quotidiane di luce o di oscu-

(1) Vedi più sopra la nota relativa alle osservazioni di Sachs sopra questo soggetto.

rità. De Vries dice, nel lavoro di cui abbiamo già parlato, che la maggior parte dei picciuoli e delle nervature mediane sono apogeotropiche (1), e l'apogeotropismo può dare la spiegazione di questo movimento di ascesa, sì comune ad un numero considerevole di specie distinte, se supponiamo che esso movimento sia annullato a metà della giornata dal diaeliotropismo, per tutto il tempo cioè che è utile alla pianta di avere le sue foglie ed i suoi cotiledoni pienamente esposti all'azione della luce. L'ora esatta della sera, nella quale incomincia questo leggiero movimento di ascesa, e la sua stessa ampiezza dipenderebbero dalla sensibilità degli organi all'influenza della gravitazione e del loro potere di resistenza alla di lei azione durante la giornata, come ancora dall'ampiezza dei loro movimenti circumnutanti ordinari; e siccome queste diverse facoltà differiscono grandemente secondo le specie, dobbiamo attenderci che l'ora del movimento di ascesa differisca pure di molto, come invero accade. Oltre all'apogeotropismo, è possibile che per determinare questo movimento di ascesa entri direttamente od indirettamente in azione qualche altro agente. Così una giovane fava (*Vicia faba*) germogliando in un piccolo vaso, fu posta davanti ad una finestra sopra un clinostato, e la notte le foglie si elevarono un poco, benchè l'azione dell'apogeotropismo fosse affatto eliminata. Tuttavia si elevarono assai meno che se fossero state sottomesse all'apogeotropismo. Non è egli possibile, e forse probabile, che le foglie ed i cotiledoni che si elevarono alla sera sotto l'azione dell'apogeotropismo durante innumerevoli generazioni, abbiano ereditato una tendenza a questo movimento? Abbiamo visto che gli ipocotili di molte Leguminose hanno, da un'epoca lontana, ereditato una tendenza ad incurvarsi, e sappiamo ancora che i movimenti di sonno delle foglie sono fino ad un certo punto ereditarie, indipendentemente dall'azione delle alternanze della luce e dell'oscurità.

Nelle nostre osservazioni sui movimenti circumnutanti delle foglie e dei cotiledoni che non dormono, troviamo appena un caso manifesto di movimento di discesa nella sera e di ascesa nella mattina, — ossia di movimenti inversi da quelli di cui abbiamo parlato. Non dubitiamo che possano presentarsi casi simili, poichè le foglie di molte piante dormono discendendo verticalmente. Come si possano spiegare i pochi casi che abbiamo potuto osservare, è cosa dubbiosa. Le giovani foglie di *Cannabis sativa* discendono di notte di 30° a 40° al disotto del-

(1) Secondo FRANCK (*Die Nat. Wagerechte Richtung von Pflanzentheilen*, 1870, pag. 46), le foglie radicali di molte piante, poste nell'oscurità, si elevano e divengono persino verticali; lo stesso dicasi in alcuni casi, per i giovani germogli (V. RAUWENHOFF, *Archives Neerlandaises*, t. XII, p. 32). Questi movimenti indicano l'apogeotropismo; ma, quando gli organi sono stati lungo tempo nell'oscurità, la quantità d'acqua e di materie minerali ch'essi contengono, è così fortemente alterata, ed il loro accrescimento regolare così turbato, che non sarebbe forse conveniente il fondarsi sui loro movimenti, per sapere ciò che accadrà, nelle condizioni normali (Ved. GODLEWSKI, *Bot. Zeitung*, 14 febbraio 1879).

l'orizzonte, e Kraus attribuisce questo fatto all'epinastia ed all'assorbimento di acqua. Quando l'accrescimento epinastico è vigoroso, esso può nella sera superare il diaeliotropismo, poichè, a questo momento non sarebbe di alcun interesse per la pianta di mantenere le sue foglie orizzontali. I cotiledoni di *Anoda Wrightii*, di una varietà di *Gossypium*, e di parecchie specie d'*Ipomœa*, rimangono orizzontali nella sera, mentre sono ancora giovani ma quando sono divenuti alquanto più vecchi, s'inclinano un poco verso il basso, e, quando sono grandi e tozzi, la loro incurvatura è così forte che possono essere considerati come dormenti. Per l'*Anoda* e per parecchie specie d'*Ipomœa* è stato provato, che il movimento di discesa non dipendeva dal peso dei cotiledoni; ma se il movimento si rende tanto pronunciato quando questi organi sono grandi e tozzi, possiamo supporre che, in origine, la gravità avesse una parte nel fenomeno, e che sia essa che ha determinata la direzione secondo la quale si è modificato il movimento circumnutante.

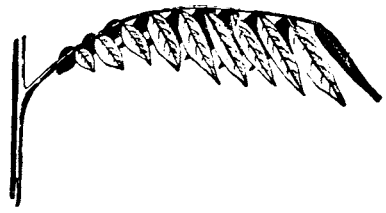
Il così detto sonno diurno delle foglie o Pareliotropismo. — V'ha un'altra categoria di movimenti che dipendono dall'azione della luce e che convalidano l'opinione che fino ad un certo punto gli stessi fenomeni descritti più sopra non sieno che indirettamente dovuti all'influenza di lei. Vogliamo parlare dei movimenti proprii alle foglie ed ai cotiledoni, che si fanno diaeliotropici quando sono esposti a luce moderata, ma cambiano di posizione e presentano i loro bordi alla luce, quando il sole li illumina intensamente. Questi movimenti hanno talvolta ricevuto il nome di sonno diurno, ma differiscono affatto nello scopo da quelli che propriamente si dicono nictitropici e in alcuni casi, la posizione diurna è inversa alla posizione notturna.

Si sa da molto tempo (1) che quando splende il sole, le foglioline di *Robinia* si levano in modo da presentargli i loro bordi, mentre nella loro posizione notturna questi organi pendono verticalmente in basso. Abbiamo osservato il medesimo movimento quando il sole rischiarava fortemente le foglioline di un'Acacia australese. Le foglioline di *Amphicarpæa monoica* rivolgono i loro bordi verso il sole, ed il movimento analogo delle piccole foglioline basilari, quasi rudimentali, di *Mimosa albida*, era in un caso così rapido, che si poteva distintamente vederlo colla lente. Le prime foglie allungate ed unifogliolate di *Phaseolus Roxburghii* erano alle 7 del mattino a 20° al disopra dell'orizzonte, e senza dubbio discesero in seguito alquanto più in basso. A mezzodì, dopo di essere rimaste esposte 2 ore circa alla viva luce del sole, raggiungevano 56° sopra l'orizzonte; poscia vennero protette contro i raggi solari, ma rimanevano ancora ben rischiarate dall'alto, e dopo 30 m. erano discese di 40°, poichè non avevano più di 16° sopra l'orizzonte. Alcune giovani piante di *Phaseolus Hermandesii* furono esposte alla stessa luce del sole, e le loro prime foglie, larghe ed unifogliolate, erano allora quasi od affatto verticali, come molte fra le foglioline laterali delle foglie secondarie trifogliolate; alcune di queste foglioline avevano inoltre, senza elevarsi, girato su se stesse fino a 90°, in modo

(1) PFEFFER dà i nomi di molti autori antichi e le date dei loro lavori nella *Period. Beweg*, p. 62.

da presentare i loro bordi ai raggi luminosi. Le foglioline di una stessa foglia si comportavano talvolta in questi due modi differenti, ma il risultato del movimento era sempre una diminuzione nell'intensità dell'illuminazione. Queste piante furono allora protette contro il sole, ed osservate 1 ora e 1/2 dopo; tutte le foglie e le foglioline avevano ripreso la loro posizione ordinaria suborizzontale. I cotiledoni color di rame di alcune pianticelle di *Cassia mimosoides* erano orizzontali alla mattina, ma dopo che avevano sentito l'influenza del sole si erano elevati fino a 45° 1/2 al disopra dell'orizzonte. Il movimento, in questi differenti casi, non deve essere confuso colla chiusura repentina delle foglioline di *Mimosa pudica*, che si può osservare talvolta quando una pianta tenuta per qualche tempo nell'oscurità è bruscamente esposta al sole; in questo caso, infatti, la luce sembra agire nello stesso modo come un contatto.

Fig. 180.



Averrhoa bilimbi: Foglia con foglioline inclinate verso il basso dopo l'esposizione al sole. Le foglioline sono talvolta più fortemente inclinate di quello che lo indica la figura.

Secondo le osservazioni del professor Wiesner è probabile che i movimenti, di cui parliamo, sieno stati acquistati ad uno scopo speciale. Siccome la clorofilla soffre spesso per una luce troppo intensa, questo scienziato crede ch'essa sia protetta da mezzi diversi, quali sono la presenza dei peli, delle materie coloranti, ecc. (1). Fra questi mezzi sarebbero da notare i cambiamenti di posizione delle foglie, che presentando i loro bordi al sole ricevono evidentemente da questo astro una quantità assai minore di luce. Egli ha esperimentato sulle giovani foglie di *Robinia*, fissandole in modo che non potessero evitare di venire completamente rischiarate, mentre altre potevano prendere una posizione obliqua; le prime, in capo a due giorni, cominciavano a soffrire per l'azione della luce.

Nei casi che abbiamo citati le foglioline si dirigono in alto, o si girano lateralmente, in modo da disporre i loro bordi nella direzione dei raggi solari. Ma Cohn ha osservato da lungo tempo, che le foglioline di *Oxalis* s'inclinano in basso, quando sieno pienamente esposte all'azione della luce. Abbiamo trovato un esempio calzante di questo movimento nelle grandi foglioline d'*O. Ortegesii*. Si può frequentemente osservare un movimento simile nelle foglioline d'*Averrohа bilimbi* (Ossalidacee); diamo qui (fig. 180) la figura di una foglia, sulla quale caddero direttamente i raggi del sole. Nel capitolo precedente abbiamo dato un diagramma (fig. 134) rappresentante le oscillazioni col mezzo delle quali in queste condizioni una fogliolina discese rapidamente. Si può vedere che il movimento somiglia molto a quello (fig. 133), per il quale la fogliolina prende la sua posizione notturna. Il prof. Batalin

(1) *Die Natürlichen Einrichtungen zum Schutze des Chlorophylls, ecc.*, 1876. PRINGSHEIM ha recentemente osservato al microscopio la distruzione della clorofilla in pochi minuti sotto l'azione della luce solare concentrata, in presenza dell'ossigeno. Vedi pure STAHL, sulla protezione della clorofilla contro una luce intensa, nel *Bot. Zeit.*, 1880.

ci comunica con una lettera, in data del 2 febbraio 1879, un fatto interessante, che si connette col soggetto che ora trattiamo: le foglioline d'*Oxalis acetosella* possono di giorno essere esposte al sole per parecchie settimane, senza soffrire alcun danno se possono abbassarsi; ma se ciò s'impedisce, perdono il loro colore ed in due o tre giorni si fanno bianche. E tuttavia la durata di una foglia è di circa due mesi, quando è esposta alla luce soltanto diffusa, ed in questo caso le foglioline non si abbassano mai durante la giornata.

Poichè è provato che i movimenti di ascesa delle foglioline di *Robinia*, e quelli di discesa delle foglioline di *Oxalis* sono di grande utilità per queste piante, quando sono esposte ad un sole brillante, pareva probabile che essi fossero stati acquistati allo scopo speciale di evitare una luce troppo intensa. Siccome nei casi che abbiamo ricordati sarebbe stato assai difficile di attendere un'occasione propizia e di rilevare i movimenti delle foglie completamente esposte ai raggi del sole, così non abbiamo potuto determinare, se il pareliotropismo sia sempre una forma modificata della circumnutazione. Questo fu però certamente il caso per le foglie d'*Averrhoa*, e probabilmente per quelle di altre specie, poichè questi organi sono in circumnutazione continua.

CAPITOLO IX.

SENSIBILITÀ DELLE PIANTE ALL'AZIONE DELLA LUCE; TRASMISSIONE DEI SUOI EFFETTI.

Utilità dell'eliotropismo — Le piante insettivore e le rampicanti non sono eliotropiche. — Il medesimo organo può essere eliotropico in un momento del suo sviluppo, e non in un altro. — Sensibilità straordinaria di alcune piante all'azione della luce. — Gli effetti della luce non sono in rapporto colla sua intensità. — Effetto di una illuminazione anteriore. — Tempo necessario per l'azione della luce. — Effetti susseguenti della luce. — L'apogeotropismo agisce appena diminuisce la luce. — Esattezza della direzione delle piante verso la luce. — Essa dipende dall'illuminazione di un intero lato della parte. — Sensibilità localizzata all'azione luminosa, e trasmissione dei suoi effetti. — Modo di inclinarsi dei cotiledoni di *Phalaris*. — Risultati della esclusione della luce sulle loro estremità. — Effetti trasmessi al disotto della superficie del suolo. — L'illuminazione laterale dell'estremità determina la direzione dell'incurvatura della base. — Cotiledoni di *Avena*; incurvatura della loro base, in causa dell'illuminazione della loro estremità superiore. — Risultati simili ottenuti negli ipocotili di *Brassica* e di *Beta*. — Afeliotropismo delle radichette di *Sinapis*, dovuto alla sensibilità delle loro estremità. — Osservazioni finali e riassunto del capitolo. — Mezzi coi quali la circumnutazione si cambia in eliotropismo ed afeliotropismo.

Nessuno può esaminare le piante che germogliano sopra un pendio, od ai margini di un bosco fitto, e poi dubitare che i loro giovani fusti e le loro foglie prendano le posizioni convenienti perchè le foglie stesse sieno bene illuminate e rese così capaci di operare la decomposizione dell'acido carbonico. Ma i cotiledoni inguainati di alcune Graminacee, per es., quelli di *Phalaris*, non sono verdi, e non contengono che una piccola quantità di amido, laonde possiamo concludere che non decompongono che pochissimo, o affatto, l'acido carbonico. Sono nondimeno assai eliotropici, e questa facoltà ha probabilmente per essi altri vantaggi, e cioè quello di renderli capaci di abbandonare il seme sotterrato e quello di permettere loro di arrivare all'aria ed alla luce, attraverso alle fessure del suolo ed agli ostacoli opposti dalla vegetazione circostante. Questa ipotesi è appoggiata dal fatto, che nella *Phalaris* e nella *Avena*, la prima vera foglia, che è brillantemente colorata in verde, e che senza dubbio decompone l'acido carbonico, è appena eliotropica. I movimenti eliotropici di molte altre pianticelle le aiutano probabilmente nello stesso modo a uscire da terra, poichè l'apogeotropismo le guiderebbe ciecamente in alto contro gli ostacoli soprastanti.

L'eliotropismo è così diffuso fra le piante più elevate, che non ve ne ha che un numero assai limitato di cui una parte qualsiasi (fusto, peduncoli fiorali, picciuoli o foglie) non s'inclini verso una luce laterale. La *Drosera rotundifolia* è

una delle pochissime piante, in cui le foglie non mostrino alcuna traccia d'eliotropismo. Nè se ne trova nella *Dionæa*, benchè quest'ultima pianta non sia stata osservata con cura. J. Hooker ha esposto per qualche tempo ad una luce laterale gli ascidii di *Sarracenia*, senza osservare l'inclinazione (1). Noi possiamo bene comprendere la ragione, per la quale queste piante insettivore non sono eliotropiche, giacchè non vivono principalmente della decomposizione dell'acido carbonico; è invece assai più importante per esse di disporre le loro foglie nella posizione più conveniente per la cattura degli insetti, che non in quella che assicurerebbe loro una migliore illuminazione.

I viticci, che sono modificazioni delle foglie o di altri organi, ed i fusti delle piante rampicanti, sono raramente eliotropici, come già molto tempo addietro ha osservato il Mohl; ed anche qui possiamo comprendere la ragione perchè così sia, giacchè se questi organi si dirigessero verso una luce laterale, sarebbero allontanati dai loro sostegni. Ma alcuni viticci sono afeliotropici, per es. quelli di *Bignonia capreolata* e di *Smilax aspera*, ed i fusti di alcune piante che arrampicano col mezzo di radici come l'edera e la *Tecoma radicans*, sono pure afeliotropiche, e tale facoltà permette loro di trovare più facilmente un sostegno. D'altra parte, le foglie della maggior parte delle piante rampicanti sono eliotropiche, ma non abbiamo potuto trovare alcuna traccia di un tale movimento in quelle di *Mutisia clematis*.

Siccome l'eliotropismo è ampiamente diffuso, e le piante rampicanti sono distribuite in tutta la serie delle piante vascolari, ci parve che la mancanza apparente di ogni tendenza all'eliotropismo nei fusti di questi vegetali, meritasse delle ricerche più accurate, poich'essa indicherebbe che l'eliotropismo può essere facilmente eliminato. Quando piante rampicanti sono esposte ad una luce laterale, i loro fusti continuano a volgersi o circumnutare intorno ad un posto senza mostrare alcuna incurvatura visibile verso la sorgente luminosa. Ma pensammo che si potrebbero trovare alcune traccie d'eliotropismo, confrontando la velocità media dei fusti nelle loro rivoluzioni verso la luce con quella che si manifesta nelle rivoluzioni compiute in senso opposto (2). Tre giovani piante (alte circa un piede) d'*Ipomœa cœrulea* e quattro d'*I. purpurea*, poste in vasi separati, furono esposte, in una bella giornata, davanti ad una finestra al N.-E., in modo che le estremità dei loro fusti erano rivolte verso questa finestra, unica che rischiarava il locale. Quando l'estremità del

(1) Secondo F. Kurtz (*Verhandl. des Bot. Vereins des Provinz Brandenburg*, Bd. xx, 1878), le foglie o ascidii di *Darlingtonia Californica* sono fortemente afeliotropici. Non abbiamo potuto rilevare questo movimento in una pianta che è rimasta in nostro possesso per poco tempo.

(2) Disgraziatamente abbiamo dato su questo soggetto alcuni risultati erronei nel lavoro: *The Movements and Habits of Climbing Plants*, 1875, pp. 28, 32, 40 e 53. Le nostre conclusioni erano state tratte da osservazioni troppo poco numerose, poichè non conoscevamo allora l'ineguaglianza di celerità che possedono talvolta i fusti ed i viticci delle piante rampicanti nelle differenti parti della loro rivoluzione.

fusto di ogni pianta si dirigeva nel senso opposto alla luce, e poi verso quest'ultima, notammo il tempo. Continuammo l'esperienza dalle 6,45 del mattino fino dopo le 2 di sera, del 17 giugno. Dopo alcune osservazioni potemmo calcolare la durata di ogni mezza rivoluzione, con un limite d'errore di 5 minuti al più. Benchè vi fossero delle grandi differenze nella celerità del movimento, a differenti punti della stessa rivoluzione, la pianta completò 22 semicircoli diretti verso la luce, con una durata media di 73,95 minuti per ciascheduno. I 22 semicircoli diretti nel senso opposto avevano una durata media di 73,5 minuti. Si può dunque dire che i fusti si muovevano verso la luce e nella direzione opposta con la stessa velocità media; è però probabile che l'esattezza dei risultati ottenuti sia stata in parte accidentale. Nella sera, questi fusti non erano punto curvati verso la finestra, tuttavia sembrava esservi una traccia di eliotropismo, poichè in 6 di queste 7 piante il primo semicircolo descritto, per allontanarsi dalla luce, impiegò un tempo maggiore, ed il primo semicircolo descritto verso questo agente adoperò molto meno della media durata; tali movimenti erano eseguiti di mattina per tempo, dopochè la pianta aveva passata tutta la notte nell'oscurità, ciò che aveva probabilmente aumentata la sua sensibilità. Così, per queste 7 piante, prese insieme, la durata media del primo semicircolo descritto allontanantesi dalla sorgente luminosa fu di 73,5 minuti, che è la celerità media di tutti i semicircoli che, nel corso della giornata, sono diretti nello stesso senso; mentre che la durata media del primo semicircolo diretto verso la luce non era che di 63,1 m., in luogo di 73,95 m., celerità media di tutti i semicircoli descritti in questo stesso senso durante la giornata.

Analoghe osservazioni furono fatte sulla *Wistaria Sinensis*, e trovammo che la durata media di nove semicircoli descritti, allontanantisi dalla luce, era di 117 minuti, e quella di 7 semicircoli descritti verso di essa di 122 minuti; questa differenza non sorpassava il limite probabile d'errore. Durante i tre giorni che durò l'esposizione al sole, il fusto non mostrò alcuna incurvatura verso la finestra davanti alla quale era posto. In questo caso il primo semicircolo descritto, nella mattina, per allontanarsi dalla luce, impiegò un *po' meno* di tempo del primo semicircolo diretto nel senso opposto, e questo risultato, se non era accidentale, pareva indicare che il fusto conservava una traccia della sua primitiva tendenza afeliotropica. Nella *Lonicera brachypoda*, i semicircoli descritti verso la luce e nel senso opposto hanno delle durate assai differenti; poichè 5 semicircoli nella direzione opposta alla luce impiegarono in media 202,4 m., e 4 descritti verso di essa 229,5 m., ma il movimento del fusto era assai irregolare, ed in queste circostanze le osservazioni furono troppo poche.

È notevole che la medesima parte della stessa pianta può essere impressionata dalla luce in modo assai diverso secondo l'età, e forse anche secondo la stagione. I fusti ipocotiledoni d'*Ipomœa cœrulea* e *purpurea* sono eminentemente eliotro-

pici, mentre che quelli di piante più vecchie, alte solo un piede, sono, come abbiamo visto, assolutamente insensibili all'azione luminosa. Sachs disse (ed abbiamo osservato lo stesso fatto anche noi) che gli ipocotili di edera (*Hedera helix*) sono leggermente eliotropici; mentre i fusti di piante pervenute a pochi pollici di altezza divengono così fortemente afeliotropiche che s'inclinano in direzione perpendicolare, opposta a quella della luce. Nondimeno alcune giovani piante, che si erano comportate in questa guisa al principiar della state, divennero ancora distintamente eliotropiche in principio di settembre; il cammino onduloso dei loro fusti, mentre si curvavano lentamente verso una finestra al N.-E. venne rilevato per 10 giorni. I fusti delle pianticelle giovanissime di *Tropœolum majus* sono fortemente eliotropici, mentre quelli delle piante più vecchie, sono, secondo Sachs, leggermente afeliotropici. In tutti i casi, l'eliotropismo dei fusticini serve ad esporre in piena luce i cotiledoni, o le prime vere foglie, se sono ipogei, e la perdita di questa facoltà dei fusti più vecchi, o la trasformazione di questo movimento in afeliotropismo, è in rapporto colla loro abitudine di rampicare.

La maggior parte delle pianticelle sono fortemente eliotropiche, e tale facoltà è senza dubbio un grande vantaggio per esse nella lotta per l'esistenza, poichè permette loro di esporre al sole i loro cotiledoni nel modo più rapido e completo possibile allo scopo di avere del carbonio. Abbiamo dimostrato nel primo capitolo, che la maggior parte delle pianticelle circumnutano largamente e con rapidità, e siccome l'eliotropismo non è che una modificazione della circumnutazione, siamo tentati di vedere una connessione nel grande sviluppo di queste due facoltà delle pianticelle. Non sappiamo dire, se vi sieno delle piante che essendo fortemente eliotropiche, circumnutino lentamente e sopra un piccolo spazio; ma ve ne sono parecchie, e ciò non fa punto sorpresa, che circumnutano largamente, non essendo che assai poco eliotropiche, od anche non essendolo affatto. La *Drosera rotundifolia* ci offre un bellissimo esempio di quest'ultimo caso. Gli stoloni di fragola circumnutano presso a poco come i fusti delle piante rampicanti, e non subiscono affatto l'azione di una luce moderata; ma se alla fine della state si espongono ad una luce abbastanza forte, si fanno leggermente eliotropici; secondo De Vries alla luce del sole sono afeliotropici. Le piante rampicanti circumnutano più largamente di tutte le altre, e tuttavia non sono affatto eliotropiche.

Benchè i fusti della maggior parte delle pianticelle sieno fortemente eliotropici alcuni però non lo sono che assai poco, senza che possiamo darci alcuna ragione di questo fenomeno. Questo caso si presenta nell'ipocotilo di *Cassia tora*, e l'osservammo con sorpresa in molte altre pianticelle, per es. in quelle di *Reseda odorata*. Quanto al grado di sensibilità delle specie più impressionabili, abbiamo dimostrato nel capitolo precedente, che le pianticelle di parecchie specie poste davanti ad una finestra (al N.-E., e munita di più tende) ed esposte dal di dietro alla luce diffusa dell'ambiente, si muovevano senza errare verso la finestra, benchè fosse

impossibile di giudicare da quale parte venisse più luce senza ricorrere all'ombra gettata da una matita sopra un pezzo di carta bianca, così che la luce in più da una parte era piccolissima.

Un vaso munito di pianticelle di *Phalaris Canariensis*, cresciute nell'oscurità, fu collocato in un ambiente completamente oscuro ad una distanza di 12 piedi da una lampada piccolissima. Dopo 3 ore i cotiledoni avevano una incurvatura dubbia verso la luce, e 7 ore e 40 m. dopo il principio dell'esperienza, erano nettamente, benchè in grado leggero, curvati verso la lampada. Però a questa distanza di 12 piedi, la luce era così debole, che non si potevano vedere nemmeno le pianticelle, nè leggere le grandi cifre romane tracciate sul quadrante di un orologio, nè si poteva scorgere la traccia di un lapis sulla carta, e appena si distingueva una linea nera tracciata coll'inchiostro di Cina. Fummo sorpresi ancora più osservando che un lapis non gettava sulla carta bianca nessuna ombra visibile, per cui le pianticelle subivano l'azione di una piccola differenza di luce sopra una delle loro faccie, che l'occhio umano non poteva percepire. In un altro caso, l'azione fu esercitata da una luce ancora più debole, poichè alcune pianticelle di *Phalaris* s'inclinarono leggermente verso la stessa lampada posta lontana 20 piedi; a tale distanza non si poteva vedere una macchia di mm. 2,29 di diametro, fatta con l'inchiostro di Cina sopra una carta bianca, ed appena si percepiva una macchia della stessa natura di mm. 3,56 di diametro, sebbene una macchia della prima grandezza sopra indicata apparisca assai grande alla luce ordinaria (1).

Determinammo in seguito la grandezza che doveva avere un fascio luminoso per esercitare la sua azione, poichè ciò interessa pel fatto che la luce serve di guida alle pianticelle mentre escono dal suolo attraverso alle fenditure, ed agli oggetti che ingombrano il passaggio. Un vaso munito di pianticelle di *Phalaris* fu coperto da una campana di stagno perforata sopra uno dei lati da un foro circolare di mm. 1,23 di diametro. Il vaso fu collocato di fronte ad una lampada, ed un'altra volta, davanti ad una finestra; in ambo i casi, le pianticelle, dopo alcune ore, erano distintamente curvate verso questo foro.

Facemmo poscia un esperimento più decisivo; alcuni piccoli tubi di vetro assai sottile, chiusi alla parte superiore e coperti di una vernice nera, furono posti al disopra dei cotiledoni di *Phalaris* (cresciuti nell'oscurità) in modo da coprirli intieramente. Su uno dei lati, pel quale soltanto poteva penetrare la luce, avevamo raschiato precedentemente delle strette fascie di vernice, e misurammo più tardi al microscopio le loro dimensioni. Per controllare la nostra esperienza scegliemmo dei tubi simili, ma sprovveduti di vernice, e trasparenti, e ne risultò che non impe-

(1) STRASBURGER disse (*Wirkung des Lichtes auf Schwärmsporen*, 1878, p. 52), che le spore d'*Hæmatococcus* si dirigevano verso una luce che permetteva appena la lettura dei cararatteri di stamperia di grandezza media.

divano ai cotiledoni d'inclinarsi verso la luce. Due cotiledoni furono posti davanti ad una finestra al Sud-Ovest; uno di essi era rischiarato attraverso ad un'apertura di mm. 0,1 soltanto di larghezza e di mm. 0,4 di lunghezza; l'altro da un'apertura di mm. 0,2 di larghezza e mm. 1,5 di lunghezza. Le pianticelle furono esaminate dopo un'esposizione di 7 ore 40 m., e le trovammo distintamente curvate verso la luce. Alcuni altri cotiledoni subirono contemporaneamente un trattamento analogo; solamente le aperture non erano dirette verso il sole, ma in modo da non ricevere che la luce diffusa dell'appartamento; questi cotiledoni non mostrarono alcuna incurvatura. Sette altri furono rischiarati attraverso a fascie strette, ma proporzionatamente lunghe, praticate coll'abrasione della vernice; esse misuravano da mm. 0,25 a 0,65 di larghezza e da mm. 3,75 a 7,5 di lunghezza. Tutti i cotiledoni s'inclinavano verso la parte per dove giungeva loro la luce, comunque fossero dirette le aperture, sia verso il sole che verso un lato della stanza. Ci pareva strano che la luce potesse determinare una incurvatura passando attraverso ad un'apertura larga soltanto 0,004 poll. e lunga 0,016 pollici.

Prima di conoscere l'estrema sensibilità dei cotiledoni di *Phalaris* all'azione luminosa, avevamo provato di rilevare la loro circumnutazione nell'oscurità con una piccola candela che collocammo per un minuto o due, ad ogni osservazione, press'a poco nello stesso sito, e cioè un poco a sinistra e davanti al vetro verticale sul quale tracciammo i movimenti. Osservammo così le pianticelle diecisette volte nella giornata, ad intervalli di mezz'ora e di tre quarti d'ora, e sul finire della sera constatammo, con grande sorpresa, che i 29 cotiledoni erano fortemente inclinati verso il vetro verticale, e si dirigevano un poco sulla sinistra, dove era stata collocata la candela. Il disegno provò ch'essi si erano mossi in linee a zig-zag.

Per conseguenza l'esposizione ad una luce debole ad intervalli brevi come erano quelli che abbiamo indicati, è bastata per determinare un movimento eliotropico pronunciato. Un fatto analogo venne osservato negli ipocotili di *Solanum lycopersicum*. Attribuimmo in principio questo fenomeno agli effetti consecutivi della luce, che in ogni caso si manifestano; ma dopo di aver letto le osservazioni di Wiesner (1), alle quali ci riferiremo nell'ultimo capitolo, non potemmo dubitare che una luce intermittente non fosse più efficace di una luce continua, giacchè le piante sono sensibili sopratutto al contrasto nell'intensità luminosa.

I cotiledoni di *Phalaris* s'inclinano molto più lentamente verso una luce fioca che verso una brillante. Così, nelle nostre esperienze sopra pianticelle poste in un locale oscuro a 12 piedi da una piccola lampada, l'incurvatura verso questa era dopo 3 ore ancora assai dubbiosa, ma manifesta dopo 4 ore. Dopo 8 ore e 40 m. le corde degli archi formate dai cotiledoni non si allontanavano dalla perpendico-

(1) *Sitz. der k. Akad. der Wissensch.* (Vienna), Jan. 1880, p. 12.

lare che di 16° in media. Se la luce fosse stata brillante, si sarebbero curvate assai più fortemente nel tempo di un'ora a due. Facemmo parecchie esperienze sopra pianticelle poste a diverse distanze da una piccola lampada in un ambiente oscuro, ma ne citeremo una sola. Furono lasciati dei vasi per 4 ore davanti ad una lampada a distanze di 2, 4, 8, 12, 16 e 20 piedi. Siccome l'intensità luminosa decresce in progressione geometrica, le pianticelle poste nel secondo vaso ricevevano 1/4, quelle del terzo 1/16, quelle del quarto 1/36, quelle del quinto 1/64, quelle del sesto 1/100 della luce che ricevevano le pianticelle del primo o del prossimo vaso. Era dunque da aspettarsi una enorme differenza nella loro incurvatura eliotropica, ed essa vi fu infatti fra le pianticelle più vicine e quelle più lontane dalla lampada, ma per i vasi fra loro più vicini la differenza era assai leggera. Per evitare ogni preconcetto, pregammo tre persone che non conoscevano lo scopo dell'esperienza, di disporre i vasi secondo il grado d'incurvatura dei cotiledoni. La prima persona li ordinò con esattezza, ma rimase lungamente indecisa fra il vaso posto a 12 e quello a 16 piedi dalla lampada, i quali tuttavia ricevettero la luce nel rapporto di 36 a 64. La seconda persona li dispose pure esattamente, ma esitò assai fra il vaso di 8 e quello di 12 piedi di distanza, che avevano ricevuto la luce nella proporzione di 16 a 36. La terza persona diede una disposizione sbagliata ed esitò per quattro vasi. Ciò mostra all'evidenza, come le curvature dei cotiledoni fossero poco diverse nei successivi vasi, malgrado le differenze considerevoli che esistevano nella quantità della luce ricevuta. Bisogna ancora notare che non vi fu eccesso di luce, poichè anche nel vaso più vicino l'incurvatura fu assai lenta e debole. Presso al sesto vaso, a 20 piedi dalla lampada, la luce ricevuta permetteva appena ancora di distinguere sulla carta bianca un punto d'inchiostro di Cina di mm. 3,56 di diametro, ma non un punto di mm. 2,29.

Il grado d'incurvatura dei cotiledoni di *Phalaris* in un tempo dato dipende non solo dalla quantità di luce che possono ricevere lateralmente, come anche da quella che avevano ricevuta prima dall'alto o dai lati. Abbiamo già indicato dei fatti analoghi per i movimenti nictitropici e periodici. Di due vasi contenenti delle pianticelle di *Phalaris* cresciute nell'oscurità, uno fu conservato di seguito nell'oscurità, ed un altro venne collocato alla luce nella serra durante un giorno coperto (26 settembre) ed al mattino successivo sereno. In questo mattino, del 27, i due vasi furono posti, in una scatola annerita all'interno ed aperta anteriormente, davanti ad una finestra al N.-E. difesa da una tenda di tela, da un'altra di mussolina e da una salvietta; in tal guisa la luce ricevuta era debolissima, benchè il cielo fosse sereno. Tutte le volte che osservammo i vasi, lo facemmo più rapidamente che era possibile, e tenemmo i cotiledoni trasversalmente in rapporto ai raggi luminosi, di guisa che la loro incurvatura non poteva essere nè aumentata nè diminuita. Dopo 50 minuti le pianticelle, che erano state prima nell'oscurità, erano forse, e certamente dopo 70 minuti, inclinate verso la finestra, ma però

leggermente. Dopo 85 m. alcune di quelle che erano state rischiarate antecedentemente erano appena impressionate, e dopo 100 m. alcune delle più giovani avevano preso una debole inclinazione verso la finestra. A questo momento (cioè dopo 100 m.) vi era una notevole differenza nell'incurvatura delle pianticelle dei due vasi. Dopo 2 ore 12 m. misurammo le corde degli archi formati da quattro delle pianticelle fra le più fortemente curvate di ogni vaso; quelle che erano state prima collocate nell'oscurità, formavano con la perpendicolare un angolo medio di 19°; quelle che erano state rischiarate, un angolo di 7° soltanto. Tale differenza non diminuì punto nel corso delle due ore che seguirono. Come controllo, le pianticelle dei due vasi furono riposte per due ore nell'oscurità completa, affinchè l'apogeotropismo potesse agire sopra di esse. Quelle che non avevano che una leggera incurvatura, si elevarono completamente e divennero verticali; quelle che nell'altro vaso erano più fortemente curvate, conservarono la loro incurvatura.

Due giorni dopo ripetemmo lo sperimento con la sola differenza che la luce che entrava dalla finestra era ancora più debole, giacchè passava attraverso ad una tenda di tela, una di mussolina e due salviette; di più, il tempo era un po' meno chiaro. Il risultato ottenuto fu però il medesimo, ma si produsse più lentamente. Le pianticelle che prima erano state conservate nell'oscurità, non offrivano la minima incurvatura dopo 54 m., e non cominciarono a curvarsi che dopo 70 m. Quelle che erano state prima più fortemente rischiarate, non furono impressionate che dopo 130, e soltanto in grado leggero. Dopo 145 m. alcune pianticelle dell'ultimo vaso erano decisamente curvate verso la luce; vi era inoltre fra i due vasi una differenza sensibile. Dopo 3 ore 45 m. misurammo in ogni vaso le corde degli archi disegnati da tre pianticelle; l'angolo medio formato con la perpendicolare da quelli del vaso antecedentemente tenuto nell'oscurità era di 16°, mentre per l'altro vaso non sorpassava i 5°.

L'incurvatura dei cotiledoni di *Phalaris* verso una luce laterale è dunque certamente influenzata dal grado di chiarore, cui furono in antecedenza esposti. Vedremo inoltre che l'influenza della luce sulla loro incurvatura continua ancora qualche tempo dopo l'allontanamento della luce. Questo fatto, come pure quello che l'incurvatura non cresce e non decresce in proporzione circa eguale della luce che ricevono, come fu dimostrato dalle diverse esperienze fatte sopra pianticelle davanti ad una lampada, indicano che la luce agisce come uno stimolo press'a poco nella stessa maniera che agisce sul sistema nervoso degli animali, e che la sua influenza non si esercita direttamente sulle cellule o pareti cellulari la cui espansione o contrazione determina l'incurvatura dell'organo.

Abbiamo già avuto l'occasione di dimostrare, quale sia la lentezza dell'incurvatura dei cotiledoni di *Phalaris* verso una luce fioca; ma quando questi stessi organi erano posti davanti ad una lampada che dava una luce brillante, le loro estremità s'inchinavano verso di essa ad angolo retto in 2 ore 20 m. Gli ipocotili

di alcune pianticelle di *Solanum lycopersicum* erano di mattina curvati rettangolarmente verso una finestra al N.-E. Ad un'ora di sera spostammo il vaso in modo, che l'incurvatura delle pianticelle fu diretta in senso opposto; ma alle 5 di sera essa era rovesciata e di nuovo diretta verso la finestra. Essi avevano dunque descritto un angolo di 180° in 4 ore, dopo che avevano già percorso, nella mattina, un angolo di 90° circa. Bisogna considerare però che la prima metà del rovesciamento dell'incurvatura era stata aiutata dall'apogeotropismo. Abbiamo osservato dei casi analoghi in altre pianticelle, ad esempio in quelle di *Sinapis alba.*

Procurammo di conoscere il tempo che impiegava la luce per agire sui cotiledoni di *Phalaris;* ma tale determinazione era resa assai difficile e dal loro rapido movimento di circumnutazione, e dalla loro sensibilità che differisce molto secondo il grado di vecchiaia; riferiremo tuttavia alcune delle nostre osservazioni. Dei vasi, muniti di pianticelle, furono posti sotto ad un microscopio munito di un oculare micrometrico, di cui ogni divisione eguagliava mm. 0,051; e le rischiarammo da principio con una lampada a paraffina, la cui luce traversava una soluzione di bicromato di potassio, allo scopo di evitare gli effetti dell'eliotropismo. Potemmo così osservare la direzione dei movimenti circumnutanti dei cotiledoni indipendentemente dall'azione della luce; e, spostando il vaso, potemmo indurre questi a circumnutare in direzione trasversale alla linea, nella quale la luce li colpirebbe qualora fosse levata la soluzione. Il fatto che la direzione del movimento circumnutante può cambiare ad ogni istante, e che la pianta può così inclinarsi sia verso la lampada, sia nel senso opposto indipendentemente dall'azione della luce, diede ai risultati un elemento d'incertezza. Quando venne levata la soluzione, 5 pianticelle che circumnutavano trasversalmente alla direzione della luce, cominciarono a muoversi verso di questa in 6, 4, 7 $^1/_2$, 6 e 9 minuti. In uno di questi casi l'estremità del cotiledone attraversò cinque divisioni del micrometro (ossia mm. 0,254) in 3 minuti. Di due pianticelle che al momento in cui venne levata la soluzione, si allontanavano dalla luce, una incominciò a muoversi verso la lampada in capo a 13 m., e l'altra in capo a 15. Quest'ultima pianticella fu osservata per più di un'ora, e continuò a dirigersi verso la luce; in un caso attraversò 5 divisioni del micrometro (mm. 0,254) in 2 m. 30 secondi. In tutte queste pianticelle, la celerità del movimento verso la luce era assai ineguale, ed i cotiledoni rimanevano talvolta stazionari per parecchi minuti; due di essi ebbero pure un leggero movimento retrogrado. Un'altra pianticella, che circumnutava trasversalmente alla direzione dei raggi luminosi, s'inclinò verso la luce 4 m. dopo la soppressione della soluzione; poi rimase quasi stazionaria per 10 m.; nei 6 m. che seguirono, attraversò 5 divisioni del micrometro, poi 8 divisioni in 11 m. Tale variabile velocità del movimento, interrotta da pause ed anche in principio da regressioni, s'accorda perfettamente colla nostra opinione che considera l'eliotro-

pismo come una circumnutazione modificata. Per poter osservare la durata degli effetti della luce, collocammo alle 10,40 del mattino, davanti ad una finestra al N.-E., un vaso munito di pianticelle di *Phalaris*, cresciute nell'oscurità. Esse erano protette contro l'accesso della luce su tutti gli altri lati. Rilevammo sopra un vetro orizzontale, i movimenti di uno dei cotiledoni. Esso circumnutò attorno al medesimo posto durante i 24 primi minuti, poi si diresse rapidamente verso la luce per 1 ora 33 minuti. L'accesso di luce fu allora soppresso (dopo 1 ora e 57 m.) ed il cotiledone continuò a muoversi nella stessa direzione certamente per più di 15 m. e con ogni probabilità per 27 m. circa. Il dubbio qui espresso proviene dalla necessità in cui eravamo di non osservare con soverchia frequenza la pianticella per non esporla nemmeno momentaneamente, all'azione luminosa. Questa stessa pianticella fu allora lasciata nell'oscurità fino alle 2,18 di sera, ed in questo tempo riprese, sotto l'influenza dell'apogeotropismo, la sua posizione verticale primitiva; fu allora nuovamente esposta alla luce, mentre il cielo era coperto. Alle 3 di sera aveva percorso una brevissima distanza nella direzione della luce, poi, nei 45 m. che seguirono, il suo movimento si fece rapido. Dopo questa esposizione di 1 ora 27 m. ad una luce abbastanza fioca, la luce fu di nuovo soppressa, ed il cotiledone continuò a muoversi nello stesso senso per 14 m. circa; il limite possibile d'errore, in questa osservazione era debolissimo. La pianticella fu allora posta nell'oscurità, ed essa si diresse indietro e dopo 1 ora 7 m. si trovava nella stessa posizione che occupava alle 2,18 di sera. Queste osservazioni dimostrano che i cotiledoni di *Phalaris*, quando hanno subìto l'azione di una luce laterale, continuano ad inclinarsi nella stessa direzione per un quarto d'ora od una mezz'ora.

Nelle due esperienze che abbiamo esposto i cotiledoni si dirigevano indietro per allontanarsi dalla finestra, poco dopo che erano stati posti nell'oscurità; e tracciando la circumnutazione di parecchie specie di pianticelle esposte ad una luce laterale, osservammo, a parecchie riprese, che si dirigevano nel senso opposto alla sorgente luminosa, quando, verso sera, l'intensità dei raggi diveniva più debole. È ciò che mostrano parecchi dei diagrammi dati nel capitolo precedente. Volemmo sapere, se il movimento era posto intieramente sotto l'influenza dell'apogeotropismo, o se un organo, dopo di essersi inclinato verso la luce, non tendeva, per qualche altra causa, ad allontanarsi da essa quando la di lei intensità diminuiva. A questo scopo esponemmo per 8 ore davanti ad una lampada a paraffina due vasi di pianticelle di *Phalaris* ed uno di pianticelle di *Brassica*, ed in questo tempo i cotiledoni delle prime e gli ipocotili delle seconde s'inclinarono ad angolo retto verso la luce. I vasi furono allora tosto disposti orizzontalmente, in modo che le parti superiori dei cotiledoni e degli ipocotili di 9 pianticelle si dirigevano verticalmente in alto, come lo dimostrò il filo a piombo. In tale posizione questi organi non potevano subire l'azione dell'apogeotropismo, e se avevano qualche

tendenza a raddrizzarsi, od a curvarsi in una direzione opposta a quella del loro primo movimento eliotropico, tale tendenza doveva manifestarsi, poichè nei primi momenti non poteva essere contrariata che pochissimo dall'apogeotropismo. Le pianticelle si conservarono all'oscuro per 4 ore, ed in questo intervallo furono osservate due volte; ma non potemmo constatare alcuna incurvatura uniforme, opposta al loro primo movimento eliotropico. Abbiamo detto incurvatura *uniforme*, poichè nella loro nuova situazione le pianticelle circumnutavano, e dopo 2 ore erano inclinate in diverse direzioni formanti colla perpendicolare degli angoli di 4° a 11°. Dopo due altre ore le loro posizioni erano nuovamente modificate, come lo erano anche al mattino successivo. Noi possiamo dunque concludere, che nelle piante l'incurvatura retrograda che le allontana dalla luce, quando questa è diminuita o soppressa, è intieramente dovuto all'apogeotropismo (1).

Nelle diverse nostre esperienze rimanemmo spesso meravigliati della direzione rettilinea che tenevano delle pianticelle per portarsi verso una luce anche di poca intensità. Per dimostrare questo fatto si posero parecchie pianticelle di *Phalaris*, che avevano germogliato all'oscuro in una scatola assai stretta e lunga parecchi piedi, in un locale oscuro davanti e molto vicino ad una lampada provveduta di uno stoppino piccolo e cilindrico. Per conseguenza, alle due estremità ed al centro della scatola, i cotiledoni per guardare la luce dovevano curvarsi in direzioni molto differenti. Quando la loro incurvatura era divenuta rettangolare, fu teso da due persone un filo lungo e bianco immediatamente al disopra e parallelo prima ad un cotiledone e poi ad un altro, e quasi sempre il filo venne ad intersecare il piccolo stoppino cilindrico della lampada che era allora spenta. Per quanto potemmo giudicare, la deviazione dalla vera direzione non sorpassava mai un grado o due. A primo aspetto tale estrema esattezza pareva sorprendente, ma in realtà non lo è, poichè un fusto cilindrico verticale, qualunque sia la sua posizione relativamente alla luce, avrà esattamente una metà della sua circonferenza rischiarata, ed una metà nell'ombra; se la differenza nell'illuminazione delle due faccie è la causa determinante l'eliotropismo, un fusto cilindrico dovrà dunque inclinarsi verso la luce con grande esattezza. Però i cotiledoni di *Phalaris* non sono cilindrici; ma hanno una sezione ovale, il cui grande arco sta al piccolo come 100 sta a 70 (almeno in quello che abbiamo misurato). Non si poteva tuttavia trovare alcuna differenza nell'esattezza delle loro incurvature, sia che le loro faccie strette, oppure le larghe fossero dirette verso la luce, o che occupassero di fronte ad essa una posizione intermedia. Era la stessa cosa per i cotiledoni di *Avena sativa*, la cui sezione è pure ovale. Per poco che si rifletta, si capirà che qua-

(1) Da quanto riferisce WIESNER (*Die undulirende Nutation der Internodien*) apparisce che H. Müller, di Thurgau, avrebbe trovato, che un fusto che s'inclina eliotropicamente procura nello stesso tempo, sotto l'influenza dell'apogeotropismo, di elevarsi in una posizione verticale.

lunque sia la posizione di questi cotiledoni, vi deve essere una linea di massima luce posta esattamente di faccia alla sorgente luminosa, e che da ogni parte di questa linea, l'organo riceverà una eguale quantità di luce; ma se l'ovale è posta obliquamente, rispetto alla luce, quest'ultima si estenderà sopra uno spazio più grande da una parte della linea che dall' altra. Possiamo dire per conseguenza, che la stessa quantità di luce, sia essa diffusa sopra una superficie maggiore, o concentrata su piccolo spazio, produce esattamente i medesimi risultati; i cotiledoni, infatti, nella lunga scatola di cui abbiamo parlato, occupavano relativamente alla luce tutte le possibili posizioni, eppure tutti erano diretti esattamente verso di essa.

Che l'incurvatura dei cotiledoni verso la luce dipenda dall' illuminazione di una delle loro faccie tutta intera, o dal rimanere l'altra oscura, e non dall'azione dei raggi luminosi sopra una stretta zona longitudinale posta sulla linea di questi raggi, venne dimostrato dagli effetti che produsse la dipintura longitudinale con inchiostro della Cina di un lato di cinque cotiledoni di *Phalaris*. Dei cotiledoni in cui una metà era annerita, come abbiamo detto, furono posti sopra una tavola presso ad una finestra posta al N.-E., la faccia annerita era indifferentemente diretta a destra od a sinistra. Ne risultò che in luogo d' incurvarsi in linea retta verso la finestra, si allontanarono da essa, per inclinarsi verso la parte sprovveduta di nero descrivendo gli angoli seguenti: 35°, 83°, 31°, 43° e 39°. Bisogna notare che era quasi impossibile di annerire esattamente una metà dell'organo, o di collocare tutte queste pianticelle a sezione ovale perfettamente nella stessa posizione relativamente alla luce; è ciò che spiega la differenza che esiste fra gli angoli descritti. Cinque cotiledoni di avena furono inoltre trattati nello stesso modo, ma con maggior cura, ed essi s'inclinarono in una direzione laterale relativamente alla posizione della finestra, e verso la parte non dipinta secondo gli angoli di 41°, 44°, 55°, 51 e 57°. È facile di comprendere perchè i cotiledoni incurvandosi si allontanassero dalla finestra, poichè tutta la parte che non era stata annerita deve aver ricevuto una certa quantità di luce, mentre la parte opposta annerita non ne ebbe affatto. Ma la maggior quantità di luce doveva essere ricevuta da una zona stretta del lato non annerito, diretta verso la finestra, e tutte le porzioni poste di dietro (la cui sezione era semiovale) ne ricevevano sempre di meno, laonde possiamo concludere che l'angolo d' incurvatura è la risultante dell'azione della luce su tutta la parte non annerita.

Era d'uopo premettere che l'applicazione dell' inchiostro di Cina non fa soffrire alle piante alcun danno, almeno per parecchie ore, nè potrebbe del resto essere nociva che arrestando la respirazione. Per sapere, se ne risultava rapidamente un danno, coprimmo con un grosso strato di materia trasparente le metà superiori di 8 cotiledoni d'*Avena*, quattro con gomma, e quattro con gelatina, e li ponemmo durante la mattina davanti ad una finestra; nella sera essi erano normalmente

curvati verso la luce, benchè lo strato trasparente formasse allora una crosta grossa di gomma o di gelatina. Di più, se le pianticelle con inchiostro di Cina avessero sofferto sulla parte annerita, il lato opposto avrebbe continuato a crescere, di guisa che vi sarebbe stato incurvamento verso la faccia annerita; al contrario, abbiamo visto che l'incurvatura si produceva sempre nel senso opposto, cioè verso la parte non annerita che subiva l'azione della luce. Abbiamo anche osservato gli effetti prodotti da una lesione longitudinale di un lato dei cotiledoni d'*Avena* e di *Phalaris:* infatti prima di sapere che i corpi grassi erano loro nocivi, ne avevamo coperto parecchi sopra un lato con una mescolanza d'olio e di nerofumo, e li avevamo così posti davanti ad una finestra; più tardi conservammo nell'oscuro molti cotiledoni trattati nello stesso modo. Essi s'incurvarono ben presto manifestamente verso la parte annerita, ciò che è dovuto senza dubbio al fatto che per l'applicazione d'un corpo grasso, il loro accrescimento è stato arrestato sopra questa parte, mentre continua sull'altra. Bisogna notare però che l'incurvatura differisce da quella provocata dall'impressione luminosa, che da ultimo diviene repentina presso al suolo. Queste pianticelle non morirono, ma soffrirono assai e germogliarono male.

SENSIBILITÀ LOCALIZZATA ALL'AZIONE DELLA LUCE
TRASMISSIONE DEI SUOI EFFETTI.

Phalaris Canariensis. — Osservando l'esattezza con la quale i cotiledoni di questa pianta s'inclinano verso la luce di una piccola lampada, pensammo che la parte superiore determinava la direzione dell'incurvatura della parte inferiore. Quando i cotiledoni sono esposti all'azione di una luce laterale, la parte superiore s'incurva la prima, e la incurvatura si stende in seguito gradatamente verso il basso fino alla base, e perfino, come vedremo, un poco sotto terra. Questo fatto è visibile anche nei cotiledoni di meno di 0,1 poll. (abbiamo osservato quest'azione sopra un cotiledone alto soltanto 0,03 pollici) fino a circa 0,5 pollici; ma quando raggiungono un'altezza di 1 poll. circa, la parte basilare, per una lunghezza di 0,15 a 0, 20 poll. sopra il suolo, cessa di curvarsi. Poichè nei giovani cotiledoni la parte inferiore continua a curvarsi dopo che la parte superiore si è già fortemente inclinata verso la luce, l'estremità si troverebbe alla fine diretta verso la terra e non verso la sorgente luminosa, se la parte superiore non cambiasse il senso della sua incurvatura e non si raddrizzasse, appena la superficie convessa superiore della parte arcuata riceve più luce della superficie inferiore concava. La fig. 181 mostra la posizione definitiva che prendono i giovani cotiledoni eretti, assoggettati ad una luce proveniente obliquamente dall'alto attraverso ad una finestra. Si può vedere che la parte superiore tutta intiera si è raddrizzata quasi completamente. Quando i cotiledoni erano esposti davanti ad una lampada a luce brillante posta al loro

livello, la parte superiore che in principio era fortemente curvata verso la luce, si raddrizzava e si disponeva parallela alla superficie della terra dei vasi; la parte basilare era allora curvata a rettangolo. Tale notevole incurvatura, ed il raddrizzamento susseguente della parte superiore, si compievano sovente in alcune poche ore.

Fig. 181.

Phalaris Canariensis: posizioni prese da tre giovani cotiledoni assoggettati all'influenza di una luce laterale.

Quando la parte superiore si è un poco incurvata verso la luce, il suo peso deve tendere ad aumentare l'incurvatura della parte inferiore; ma è stato dimostrato in molti modi che una tale azione non poteva essere che affatto insignificante. Quando collocammo all'estremità dei cotiledoni delle piccole cappe di stagno (che descriveremo più avanti), il peso veniva considerevolmente aumentato, senza che vi fosse aumento nella celerità o grandezza dell'incurvatura. Ma la prova migliore ci fu offerta quando ponemmo davanti ad una lampada delle pianticelle di ***Phalaris*** in tale posizione, che i cotiledoni erano distesi orizzontalmente, e perpendicolari alla direzione dei raggi luminosi. In 5 ore 1/2 questi cotiledoni erano diretti verso la luce, e le loro basi si curvarono ad angolo retto; tale brusca curvatura non poteva in nessun modo essere favorita dal peso della parte superiore, che agiva perpendicolarmente al piano della curvatura.

Dimostreremo che quando la parte superiore dei cotiledoni di ***Phalaris*** e di ***Avena*** era coperta di piccoli astucci di stagno e di vetro annerito, ed era così meccanicamente impedito il suo incurvamento, la parte inferiore e non racchiusa non si curvava più, quando veniva esposta all'azione della luce laterale. Pensammo che questo fatto poteva essere dovuto non all'esclusione della luce dalla parte superiore, ma alla necessità dell'incurvatura di prodursi gradatamente secondo la lunghezza dell'organo; di guisa che la parte inferiore non potesse curvarsi prima della parte superiore, qualunque fosse la forza dell'eccitazione. Era necessario di verificare la verità di questa ipotesi, e la trovammo falsa; infatti, la metà inferiore di parecchi cotiledoni si curvava verso la luce, benchè la parte superiore fosse chiusa in un piccolo tubo di vetro non annerito, che impediva, per quanto si poteva giudicare, l'incurvatura. Siccome però era possibile che la parte chiusa nel tubo potesse inclinarsi un poco, fissammo, con la gomma lacca, delle piccole bacchette rigide e delle scheggie di vetro sopra una faccia della parte superiore di 15 cotiledoni; in sei casi questi corpi furono inoltre attaccati con dei fili. Essi vennero in tale guisa costretti a rimanere retti. Ne risultò che le metà inferiori di tutti questi cotiledoni si curvarono verso la luce, ma, in generale tale incurvatura non fu così notevole di quella dei cotiledoni lasciati liberi nei vasi; si può forse spiegare questa differenza ammettendo che l'applicazione della gomma lacca sopra una superficie considerevole dell'organo avesse leggermente danneggiato quest'ultimo. Si può aggiungere che quando i cotiledoni di ***Phalaris*** e di ***Avena*** subiscono l'azione dell'apogeotropismo, si è la parte superiore che si curva la prima; e quando questa è resa rigida nel modo sopra descritto, l'incurvatura in alto della parte basilare non ne è impedita.

Allo scopo di esaminare la nostra opinione, che cioè si è la parte superiore dei cotiledoni di *Phalaris* che regola l'incurvatura della parte inferiore, sotto l'azione di una luce laterale, abbiamo istituito molte esperienze, ma i nostri primi tentativi furono quasi tutti inutili, per ragioni che qui non crediamo opportuno d'indicare. Tagliammo gli apici di 7 cotiledoni, sopra delle lunghezze di 0,1 a 0,16 pollici, e questi organi, esposti tutto il giorno ad una luce laterale, rimasero eretti. In un altro gruppo di 7 cotiledoni, le estremità furono tagliate soltanto sopra una lunghezza di mm. 1,27 circa, e tali organi s'inclinarono verso una luce laterale, ma non così fortemente delle pianticelle intatte che si trovavano nello stesso vaso. Quest'ultimo caso mostra, che l'ablazione dell'estremità non è, per se stessa, abbastanza pregiudizievole alla pianta da impedire l'azione dell'eliotropismo; ma pensammo allora che un danno abbastanza grave doveva provenire dall'ablazione di una lunghezza più forte, come nella nostra prima esperienza. Non tentammo altre esperienze di questo genere, ciò che oggi deploriamo, poichè più tardi trovammo che tagliando le estremità di tre cotiledoni sopra una lunghezza di pollici 0,2, e quelle di quattro altri sopra lunghezze di poll. 0,14, 0,12, 0,1 e 0,07 e distendendoli orizzontalmente, tale amputazione non impediva loro affatto d'inclinarsi in alto sotto l'azione dell'apogeotropismo, similmente agli esemplari intatti. È dunque assai improbabile che l'amputazione delle estremità sopra delle lunghezze di poll. 0,1 a 0,14 abbia potuto portare tale pregiudizio da impedire l'incurvatura della parte inferiore verso la luce.

Tentammo allora di coprire la parte superiore dei cotiledoni di *Phalaris* con piccoli cappucci opachi, e di lasciare in seguito la parte inferiore affatto esposta davanti ad una finestra al S.-O, o davanti ad una lampada a paraffina. Alcuni di questi cappucci erano fatti con foglie di stagno assai sottili, annerite all'interno; essi avevano lo svantaggio d'essere talvolta, benchè raramente, troppo pesanti sopratutto quando erano piegati due volte. I bordi basali potevano essere pressi fino al perfetto contatto coi cotiledoni, sebbene ciò richiedesse molte precauzioni per evitare che venissero danneggiati. Nondimeno si poteva facilmente vedere se tale danno era avvenuto, levando i cappucci ed osservando se i cotiledoni erano allora sensibili all'azione della luce. Altri cappucci si costruirono con dei tubi di vetro assai sottili, anneriti all'interno; questi erano pure molto utili, ma presentavano lo svantaggio di non poter essere pressi contro ai cotiledoni e messi in contatto perfetto con essi. Impiegammo però dei tubi che si adattavano esattamente ai cotiledoni, ed inoltre il suolo intorno a ciascuna pianticella fu coperto di carta nera per evitare la riflessione della luce. Questi tubi erano per altro migliori dei cappucci di foglie di stagno, poichè era possibile di coprire nello stesso tempo dei cotiledoni con tubi trasparenti ed altri con tubi opachi, e controllare così le nostre esperienze. Non si deve dimenticare che scegliemmo sempre dei cotiledoni giovani, e che questi, quando non erano disturbati, si curvavano verso terra, nascondendosi alla luce.

Comincieremo colle esperienze fatte coi tubi di vetro. Si chiusero le sommità di 9 cotiledoni, di altezze diverse, fino a poco meno della metà della loro lunghezza in tubi incolori e trasparenti, e si esposero per 8 ore davanti ad una finestra al S.-O. in una giornata chiara. Tutti s'inclinarono fortemente verso la luce, allo stesso grado di molte altre pianticelle lasciate libere nei medesimi vasi; di guisa che i tubi di vetro non impedivano affatto ai cotiledoni di dirigersi verso la luce. Diecinove altri cotiledoni furono coperti nel medesimo tempo e nello stesso modo da tubi portanti un forte strato d'inchiostro di Cina. Su cinque di questi tubi, con nostra sorpresa, lo strato nero si contrasse in presenza del sole, e si formarono delle piccole screpolature che lasciavano passare la luce; queste cinque piantine furono messe da parte. Dei 14 cotiledoni che restavano, e le cui metà inferiori erano

rimaste tutto il tempo esposte ai raggi solari, 7 rimasero verticali, uno s'inclinò fortemente verso la luce, e 6 non s'inclinarono che leggermente, ma le basi della maggior parte di essi rimasero diritte o quasi. È possibile che una certa quantità di luce sia stata riflessa verso l'alto del suolo, e sia così entrata per la base di questi 7 ultimi tubi, quantunque fossero stati disposti sul terreno, ed intorno ad essi, dei pezzi di carta nera, essendo la luce del sole assai intensa. Però i 7 cotiledoni inclinati ed i 7 che erano rimasti diritti, presentavano in apparenza il contrasto più spiccato colle pianticelle poste negli stessi vasi, e che non avevano subìto alcun trattamento. Furono allora levati i tubi anneriti a dieci di queste pianticelle, e furono esposti per otto ore davanti ad una lampada: nove di esse si curvarono molto verso la luce ed una lo fece debolmente; questo fatto prova che la mancanza anteriore d'incurvatura nella parte basilare, o la presenza di una incurvatura leggerissima, erano dovute all'esclusione della luce dalla parte superiore.

Analoghe osservazioni si fecero sopra 12 cotiledoni più giovani, le cui metà superiori erano chiuse in tubi di vetro annerito, mentre le metà basilari erano esposte totalmente al sole. In queste pianticelle più giovani la zona sensibile pareva estendersi alquanto più in basso, come l'abbiamo osservato in molte altre occasioni, poichè due di esse s'inclinarono tanto verso la luce quanto le pianticelle libere; le altre dieci erano curvate leggermente, benchè la loro parte basilare, che in condizioni normali s'inclina più fortemente che ogni altra, mostrasse appena delle traccie d'incurvatura. Queste 12 pianticelle prese insieme differivano fortemente, quanto al grado d'incurvatura, da tutte le altre lasciate libere negli stessi vasi.

Prove migliori dell'efficacia dei tubi anneriti ci offersero alcune esperienze che daremo in seguito e nelle quali le metà superiori di 14 cotiledoni furono chiuse in tubi, dai quali si aveva levata una fascia sottile di vernice nera. Queste fascie chiare non erano dirette verso la finestra, ma obliquamente verso un lato della camera, di guisa che una piccolissima quantità di luce poteva esercitare la sua azione sulla parte superiore dei cotiledoni. Queste 14 pianticelle rimasero 8 giorni davanti ad una finestra al S.-O., ad un cielo coperto, e tutte si mantennero diritte, mentre le altre rimaste libere negli stessi vasi s'inclinavano fortemente verso la luce.

Arriviamo ora alle esperienze fatte con dei cappucci di foglie di stagno assai sottili. Questi furono disposti, in tempi diversi, sulle estremità di 24 cotiledoni, in modo da coprirli sopra una lunghezza di poll. 0,15 a 0,20. Le pianticelle furono esposte all'azione di una luce laterale per dei periodi che variavano fra 6 ore m. 30 e 7 ore 45 m., e che bastarono per determinare l'incurvatura quasi rettangolare di tutte le altre pianticelle rimaste libere negli stessi vasi. Esse erano lunghe da 0,04 a 1,15 pollici, ma moltissime misuravano circa 0,75 pollici. Dei 24 cotiledoni assoggettati all'esperienza, 3 s'inclinarono fortemente, ma non verso la luce, e siccome la notte seguente non si raddrizzarono sotto l'azione dell'apogeotropismo, o i cappucci erano troppo pesanti, oppure le piante erano deboli; non possiamo per conseguenza tener conto di questi tre casi. Ci restano dunque da considerare 21 cotiledoni; di questo numero, 17 rimasero tutto il tempo assolutamente diritti; i 4 altri s'inclinarono leggermente verso la luce, ma assai meno fortemente di quelli che erano rimasti liberi negli stessi vasi. Poichè i tubi di vetro, quando non erano anneriti, non impedivano ai cotiledoni di curvarsi fortemente, non si poteva supporre che i cappucci di foglie di stagno assai sottili impedissero questo movimento altrimenti che escludendo la luce. Per provare che le piante non avevano sofferto per il trattamento da esse subìto, levammo i cappucci di 6 pianticelle ed esponemmo queste ultime davanti ad una lampada per lo stesso spazio di tempo di prima: tutte ebbero una incurvatura considerevole nella direzione della luce.

Poichè restava così provato, che i cappucci da 0,15 a 0,20 poll. di profondità erano più che sufficienti per impedire ai cotiledoni d'inclinarsi verso la sorgente luminosa, ne coprimmo 8 altri con dei cappucci lunghi soltanto da 0,06 a 0,12 pollici. Di essi, 2 rimasero verticali, uno si curvò fortemente, e 5 leggermente verso la luce, ma molto meno delle pianticelle lasciate libere negli stessi vasi.

Un'altra esperienza fu fatta con un metodo differente: circondammo con dei pezzi di foglie di stagno la parte superiore, ma non la punta reale, di 8 pianticelle abbastanza giovani, lunghe poco più di un pollice. Le sommità e le basi dei cotiledoni rimasero dunque così affatto esposte all'azione di una luce laterale per 8 ore, mentre una zona intermediaria superiore era protetta. In quattro di queste pianticelle le estremità rimasero libere sopra una lunghezza di poll. 0,05 e due di esse si curvarono verso la luce, ma la loro parte inferiore tutta intera rimase verticale; al contrario, le due altre, su tutta la loro lunghezza, mostrarono una leggera incurvatura. Le cime delle quattro altre pianticelle erano esposte al sole sopra una lunghezza di pollici 0,04 e di esse una rimase quasi verticale, mentre le tre altre si curvarono considerevolmente verso la luce. Le pianticelle lasciate libere negli stessi vasi si curvarono tutte fortemente.

Da queste diverse esperienze, comprese quelle fatte coi tubi di vetro, e quelle in cui furono tagliate le punte, possiamo dedurre che l'esclusione della luce dalla parte superiore dei cotiledoni di *Phalaris* impedisce alla parte inferiore di curvarsi, bench'essa sia intieramente esposta al sole. L'apice ha, sebbene sia sensibile e si diriga verso la luce, una debole azione sull'incurvatura della parte basilare. Inoltre l'esclusione della luce sopra una lunghezza di poll. 0,1 dall'estremità, non esercita una grande influenza sull'incurvatura della parte inferiore. D'altra parte l'esclusione di questo stesso agente sopra una lunghezza di poll. 0,15 e 0,20, o da tutta la metà superiore impedisce completamente alla porzione inferiore ben rischiarata d'incurvarsi, come (vedi fig. 181) accade sempre quando un cotiledone libero è illuminato lateralmente. Nelle pianticelle giovanissime, la zona sensibile pareva estendersi un po' più in basso, relativamente alla loro altezza, che nelle pianticelle più vecchie. Dobbiamo dunque concludere che quando le pianticelle sono esposte all'azione di una luce laterale, l'influenza è trasmessa dall'estremità alla parte basilare, per determinare l'incurvatura di quest'ultima.

Questa conclusione è ancora confermata, da quanto si può osservare, in grado limitato sopratutto nei giovani cotiledoni, senza esclusione artificiale della luce: questi organi infatti s'inclinano al disotto della terra, dove non può penetrare alcun raggio luminoso. Dei semi di *Phalaris* furono coperti con uno strato di sabbia fina di 1/4 di pollice di grossezza, formata da granelli di silice piccolissimi, coperti da ossido di ferro. Uno strato di questa sabbia, allo stesso grado d'umidità di quella posta sui semi, fu disteso sopra una lamina di vetro; quando lo strato raggiunse uno spessore di poll. 0,05 (misurato con cura) non si vedeva passare attraverso nessun raggio luminoso a cielo sereno, a meno che non si osservasse attraverso ad un lungo tubo annerito: si scopriva allora una traccia di luce, ma molto probabilmente troppo debole per impressionare la pianta. Uno strato di poll. 0,1 di spessore era assolutamente opaco, se lo si giudicava con l'aiuto di un tubo annerito. Si può aggiungere che lo strato anche disseccato conservava la stessa opacità. Questa sabbia, quando era umida, cedeva ad una leggerissima pressione, ed in questo stato non si contraeva e non presentava screpolature. In una prima esperienza furono esposti per 8 ore davanti ad una lampada dei cotiledoni che avevano raggiunto una altezza moderata e si curvarono fortemente. Alla loro base, sulla faccia opposta alla luce, si erano formate delle screpolature ben distinte che, viste al microscopio munito di micrometro, raggiungevano una larghezza di poll. 0,02 a 0,03 ed esse

si erano evidentemente generate dall'incurvatura verso la luce delle basi interrate dei cotiledoni. Sul lato rischiarato, i cotiledoni erano in intimo contatto colla sabbia, che era assai poco sollevata. Levando con un sottile coltello la sabbia sopra un lato dei cotiledoni, nella direzione della luce, trovammo che la parte curvata, e le screpolature aperte nella sabbia si estendevano ad una profondità di circa poll. 0,1, profondità alla quale la luce non poteva penetrare. Le corde dei brevi archi sotterrati formavano in quattro casi degli angoli di 11°, 13°, 15° e 18° con la perpendicolare. Al mattino successivo queste brevi porzioni curvate si erano raddrizzate sotto l'azione dell'apogeotropismo.

Nell'esperienza seguente, trattammo nello stesso modo dei cotiledoni molto più giovani, ma esponendoli ad una illuminazione laterale abbastanza debole. Dopo alcune ore, un cotiledone curvato, alto 0,3 poll., presentava, nella sabbia, sopra una faccia ombreggiata, una fenditura larga pollici 0,04; un altro, alto soltanto 0,13 poll. aveva determinato una fenditura di poll. 0,03. Ma il caso più curioso fu quello di un cotiledone che stava uscendo da terra, il quale non misurava che 0,03 pollici di altezza e che trovammo curvato nella direzione della luce fino ad una profondità di poll. 0,2 sotto la superficie. Poichè conosciamo l'impenetrabilità che presenta la sabbia alla luce, bisogna ritenere in questi diversi casi, che l'illuminazione dell'estremità superiore abbia determinato l'incurvatura delle parti inferiori sotterrate. Ma qui può sospettarsi che vi sia una sorgente di dubbio: i cotiledoni essendo continuamente in circumnutazione, tendono a formare intorno alla loro base una minuta fenditura circolare, che lascierà passare la luce da tutte le parti; questo fatto però non potrà prodursi quando i cotiledoni sieno rischiarati lateralmente, poichè sappiamo che s'inclinano rapidamente verso una luce laterale, e premono allora così fortemente sulla sabbia nella direzione della luce, che la solcano, e ciò basta per escludere la luce da questo lato. Ogni raggio che arrivasse sulla faccia opposta od ombreggiata, dove si è aperta una screpolatura, tenderebbe a diminuire l'incurvatura verso la lampada o qualsiasi altra sorgente luminosa. Si può aggiungere, che in queste esperienze è indispensabile d'impiegare della sabbia fina ed umida, che cede facilmente alla pressione; infatti delle pianticelle poste in un terreno comune, non mantenuto umido, ed esposte per 9 ore 30 m. ad una forte luce laterale, non formavano alla loro base alcuna screpolatura nel terreno, e non erano curvate verso la luce sotto la superficie.

La prova più evidente dell'azione esercitata dalla parte superiore sulla inferiore dei cotiledoni di *Phalaris* quando sono rischiarati lateralmente, ci è forse stata fornita dai tubi di vetro anneriti (di cui abbiamo già parlato), sopra una faccia dei quali era stata levata una stretta fascia di vernice nera, che lasciava passare un piccolo fascio di luce. La larghezza di queste fascie o striscie trasparenti variava fra 0,01 e 0,02 poll. Dei cotiledoni, le cui metà superiori erano chiuse in cotesti tubi, furono collocati davanti ad una finestra al S.-O., in posizione tale che le striscie trasparenti non guardassero direttamente la finestra, ma fossero collocate obliquamente verso un lato.

Le pianticelle vennero esposte per 8 ore, e prima della fine di questo intervallo, le numerose altre pianticelle rimaste libere negli stessi vasi si erano inclinate fortemente verso la luce. In tali condizioni, le metà inferiori dei cotiledoni i cui apici erano rinchiusi nei tubi anneriti, rimasero tutto il tempo esposte al sole, mentre che le metà superiori non ricevevano che la luce diffusa dell'appartamento attraverso ad una strettissima fenditura. Se l'incurvatura della porzione inferiore fosse stata determinata dall'illuminazione di questa stessa parte, tutti i cotiledoni si sarebbero curvati verso la finestra; ma ciò non avvenne. Dei tubi simili a quelli che abbiamo descritti furono posti, più volte, sulle metà superiori di 27 cotiledoni;

14 di essi rimasero assolutamente verticali, così che la luce diffusa che penetrava per la fenditura laterale non era sufficiente per produrre un effetto qualsiasi; i cotiledoni si comportavano nella stessa guisa di quelli, la cui parte superiore era chiusa in tubi anneriti completamente. Le metà inferiori dei 13 altri non si curvarono direttamente verso la finestra, ma obliquamente verso di essa; uno formava colla direzione di essa un angolo di 18° soltanto, ma 12 originarono degli angoli che variavano fra 45° e 62°. Al principio dell'esperienza erano stati fissati nella terra degli spilli nella direzione delle fenditure dei tubi, e da questa parte soltanto entrava una piccola quantità di luce. Alla fine dell'esperienza, 7 dei cotiledoni curvati si dirigevano esattamente verso gli spilli, e 6 verso un punto intermedio fra gli spilli e la finestra. Tale posizione intermedia è facile da comprendere, poichè ogni raggio luminoso penetrato obliquamente dal cielo per la stretta apertura doveva esercitare un'azione molto più forte della luce diffusa che entrava direttamente. Dopo un'esposizione di 8 ore vi era un contrasto sorprendente fra questi 13 cotiledoni e tutte le altre pianticelle poste negli stessi vasi, le quali erano tutte (ad eccezione delle 14 di cui abbiamo parlato più sopra) fortemente curvate verso la finestra, seguendo delle linee rette e parallele. È dunque certo che una debolissima quantità di luce, che colpisca la metà superiore dei cotiledoni di *Phalaris*, è assai più adatta a determinare la direzione della curvatura della metà inferiore, che la piena illuminazione di quest'ultima parte per tutta la durata dell'esperienza.

Per confermare i risultati precedenti, crediamo utile d'indicare qui l'effetto che abbiamo ottenuto coprendo con uno strato abbondante d'inchiostro di Cina una faccia della parte superiore di tre cotiledoni di *Phalaris*, sopra una lunghezza di pollici 0,2 a partire dall'estremità. Questi cotiledoni furono disposti in modo che la faccia non annerita non fosse diretta verso la finestra, ma un po' lateralmente. Tutti e tre si curvarono verso questa faccia e formarono colla direzione della finestra degli angoli di 31°, 35° e 83°. La curvatura in questa direzione si estese fino alla loro base, benchè tutta la parte inferiore fosse esposta pienamente alla luce venuta dalla finestra.

Finalmente, benchè non si possa dubitare che l'illuminazione della parte superiore dei cotiledoni di *Phalaris* influisca notevolmente sulla facoltà e sul modo dell'incurvatura della porzione inferiore, alcune osservazioni rendono però probabile che l'eccitazione simultanea della parte inferiore favorisca di molto l'incurvatura, o sia all'uopo quasi necessaria; ma le nostre esperienze non furono concludenti, giacchè era assai difficile d'impedire l'accesso della luce sulla metà inferiore di un cotiledone senza portare un ostacolo meccanico alla sua incurvatura.

Avena sativa. — I cotiledoni di questa pianta si curvano rapidamente verso una luce laterale, nella stessa maniera come quelli di *Phalaris*. Facemmo sopra di essi delle esperienze simili alle precedenti, e ne indicheremo i risultati più brevemente che sarà possibile. Esse sono un po' meno concludenti di quelle sui cotiledoni di *Phalaris;* ciò che si può attribuire al fatto che la zona sensibile varia nella sua estensione, in una specie così poco costante e coltivata da tanto tempo come è l'avena comune. Per le nostre esperienze furono scelti dei cotiledoni che non raggiungevano i 3/4 di poll. di altezza; sei ebbero le loro estremità protette contro la luce con dei cappucci di foglie di stagno alti 0,25 poll., e due altri con dei cappucci di 0,3 poll. Di questi 8 cotiledoni, 5 rimasero eretti durante otto ore di esposizione, sebbene la loro parte inferiore fosse pienamente esposta alla luce durante tutto questo tempo; due si curvarono leggermente verso di essa, ed uno in modo considerevole. Dei cappucci di 0,20 o 0,22 poll. soltanto furono posti sopra 4 altri cotiledoni; di essi uno solo rimase eretto, uno si curvò un poco verso la luce, e gli altri due si curvarono considerevolmente. In questo caso, e nei seguenti, tutte

le pianticelle lasciate libere negli stessi vasi s'inclinarono fortemente verso la sorgente luminosa.

Le esperienze che seguono vennero fatte con piccoli frammenti di penna, assai trasparenti; i tubi di vetro d'un diametro sufficiente per coprire i cotiledoni sarebbero stati troppo pesanti. In primo luogo le estremità di 13 cotiledoni furono coperte di cannuoli di penna non anneriti; su questo numero, 11 si curvarono fortemente, e due moderatamente verso la sorgente luminosa, così che la semplice inclusione del cotiledone nel tubo di penna non impediva che la sua parte inferiore si curvasse. In secondo luogo, le estremità di 11 cotiledoni furono coperte di tubi di penna lunghi 0,3 poll. anneriti ed opachi; di essi 7 non si curvarono punto verso la luce, ma 3 si curvarono più o meno trasversalmente in rapporto alla direzione dei raggi luminosi, e forse di questi non si dovrebbe tener conto alcuno; un solo era leggermente curvato verso la luce. Dei cannuoli di penna anneriti, lunghi 0,25 poll. furono posti sulle estremità di 4 altri cotiledoni; uno solo di questi ultimi rimase verticale; un secondo s'inclinò leggermente, e due altri si curvarono verso la luce quanto le pianticelle lasciate libere negli stessi vasi. Questi due ultimi casi sono inesplicabili, se si considera che i cappucci misuravano 0,25 poll.

Finalmente le estremità di 8 cotiledoni furono coperte da una sottile e trasparente fogliolina d'oro, e tutte s'inclinarono così fortemente quanto le pianticelle libere. Le estremità di nove altri cotiledoni furono pure coperte da una fogliolina d'oro ma annerita sopra una lunghezza di 0,25 a 0,30 poll. e inaccessibile alla luce; 5 rimasero verticali e 4 si curvarono verso la luce quasi quanto le pianticelle lasciate libere. Questi quattro ultimi casi, come i due del paragrafo precedente, offrono una notevole eccezione alla regola che vuole che l'illuminazione della parte superiore determini l'incurvatura della metà inferiore. Nondimeno 5 di questi 8 cotiledoni rimasero eretti, benchè la loro parte inferiore fosse rimasta illuminata durante tutta l'esperienza, e sarebbe stato quasi un miracolo di trovare pianticelle libere ancora erette dopo un'esposizione di molte ore ad una luce laterale. I cotiledoni d'*Avena* come quelli di *Phalaris*, quando si sviluppano nella sabbia fina ed umida, lasciano sulla loro faccia non rischiarata una screpolatura che è determinata dal loro incurvarsi verso la luce. Si curvano al disotto della superficie ad una profondità dove, come sappiamo, i raggi luminosi non possono penetrare. Le corde degli archi formati dalle porzioni curvate sotterra facevano, in due casi, con la perpendicolare degli angoli di 20° e 21°. Le screpolature lasciate sulla faccia non illuminata avevano, in quattro casi, larghezze di pollici 0,008, 0,016, 0,024 e 0,024.

Brassica oleracea. — Dimostreremo qui che la parte superiore dell'ipocotilo del cavolo, quando è rischiarata da una luce laterale, determina l'incurvatura della parte inferiore. È necessario di esperimentare sulle giovani pianticelle, alte 1/2 poll. o un po' meno, poichè quando hanno raggiunto un pollice o più la base cessa di curvarsi. Nelle nostre prime esperienze, coprimmo gl' ipocotili con inchiostro di Cina, o tagliammo le loro estremità sopra lunghezze variabili, ma non è necessario di riportare queste esperienze, benchè confermino, per quanto si possa affidarvisi, i risultati delle seguenti. Queste ultime furono fatte circondando la metà superiore dei giovani ipocotili con un frammento di fogliolina d'oro, che si coprì con uno strato d'inchiostro di Cina, o con una miscela di grasso nero. Come controllo furono fissati intorno alla parte superiore di 12 ipocotili dei pezzi della stessa fogliolina non annerita; questi s'inclinarono tutti fortemente verso la luce, ad eccezione di uno solo che non era curvato che moderatamente. Venti altri giovani ipocotili avevano la loro parte superiore circondata con una fogliolina d'oro annerita, mentre la loro metà inferiore rimaneva intieramente rischiarata. Queste pianticelle furono allora esposte per 7 od 8 ore, in una scatola annerita all'interno e davanti

aperta, sia di fronte ad una lampada, sia davanti ad una finestra al S.-O. Questa durata d'esposizione era più che sufficiente, come lo mostrava il forte eliotropismo di tutte le altre pianticelle, assai numerose, lasciate libere negli stessi vasi; nondimeno alcune rimasero esposte molto più lungamente. Sopra questi 20 ipocotili, 14 restarono perfettamente eretti, e 6 si curvarono leggermente verso la luce; ma due di questi ultimi non costituivano delle vere eccezioni, poichè quando levammo la fogliolina d'oro, vedemmo che l'annerimento era imperfetto, e che si trovavano parecchi spazi trasparenti sul lato onde entrava la luce. Di più, in due altri casi, la fogliolina d'oro non copriva del tutto la metà dell'ipocotilo. Nel complesso v'era un contrasto notevole nei diversi vasi, fra questi 20 ipocotili e le altre pianticelle lasciate libere, le quali tutte erano fortemente curvate alla loro base nella direzione della luce ed alcune stavano perfino sdraiate sul suolo.

È bene qui indicare in dettaglio quella fra le nostre esperienze (compresa nei risultati precedenti) che ottenne il maggior successo. Erano scelte sei giovani pianticelle, i cui ipocotili raggiungevano in altezza quasi 0,45 poll., ad eccezione d'uno che misurava 0,6 poll. dal suolo alla base dei picciuoli. Le loro metà superiori, misurate a colpo d'occhio, furono coperte con lamine d'oro fittamente annerite con l'inchiostro di Cina. Esse vennero esposte in un ambiente oscuro davanti ad una lampada collocata allo stesso livello dei vasi che contenevano le pianticelle. Dapprima le osservammo dopo un intervallo di 5 ore 10 m., e 5 degli ipocotili protetti si trovarono perfettamente eretti, il sesto era leggermente curvato verso la luce; mentre tutte le altre pianticelle lasciate libere negli stessi vasi erano fortemente inclinate verso la lampada. Le esaminammo nuovamente dopo un'esposizione continua di 20 ore 35 m., ed allora il contrasto fra i due gruppi di pianticelle era ammirabile, poichè le pianticelle libere avevano i loro ipocotili distesi orizzontalmente verso la lampada, e si curvavano verso il suolo, mentre quelle la cui metà superiore era protetta dalla foglia d'oro annerita, e la cui metà inferiore rimaneva esposta alla luce, si trovavano ancora affatto erette, ad eccezione di una che conservava la stessa leggera incurvatura che manifestava già prima. Si trovò che quest'ultima pianticella era stata assai male annerita, poichè sul lato che guardava la lampada si poteva distinguere, attraverso lo strato d'inchiostro di Cina, il colore rosso dell'ipocotilo.

Esperimentammo in seguito sopra nove pianticelle più vecchie, i cui ipocotili variavano fra pollici 1 e 1,6 di altezza. La fogliolina d'oro che circondava la loro metà superiore fu coperta con un intonaco grasso, nero, sopra una lunghezza di 0,3 poll. soltanto, ossia sopra meno di 1/3, 1/4 o 1/5 della loro lunghezza totale. Furono esposte alla luce per 7 ore 15 m., ed il risultato dimostrava che la zona sensibile, che determina l'incurvatura della parte inferiore, non era tutta protetta contro l'azione luminosa. Infatti, tutte 9 s'inclinarono verso la luce, 4 assai leggermente, 3 alquanto di più, e 2 quasi quanto le pianticelle lasciate libere. Tuttavia le 9 pianticelle prese insieme differivano molto, quanto al grado d'incurvatura, da tutte le numerose pianticelle lasciate libere, e da quelle coperte con fogliolina d'oro non annerita, che si trovavano negli stessi vasi.

Si copersero dei semi con uno strato di sabbia fina come quella di cui abbiamo parlato a proposito della *Phalaris*, grosso 1/4 di pollice, e quando gl'ipocotili ebbero raggiunto un'altezza fra 0,4 a 0,55 pollici, furono esposti per 9 ore davanti ad una lampada, dopo che le loro basi erano state circondate fittamente da sabbia umida. Tutti s'inclinarono verso terra, di guisa che la loro parte superiore era assai avvicinata al suolo e quasi parallela ad esso. Dalla parte della luce le loro basi erano in intimo contatto colla sabbia che qui era alquanto ammonticchiata, dalla parte opposta vi erano delle screpolature semicircolari larghe oltre 0,01 poll.; ma non

erano nette e regolari come quelle ottenute colle pianticelle di *Phalaris* e di *Avena*, laonde non potemmo misurarle sotto al microscopio con facilità. Quando fu levata la sabbia, gl'ipocotili si trovarono curvati fino ad una profondità che, in tre casi, era almeno di 0,1 poll. sotto la superficie, in un quarto caso di 0,11 poll. ed in un quinto 0,15 poll. Le corde degli archi formate dalle porzioni corte sotterrate e curvate facevano colla perpendicolare degli angoli di 11° a 15°. Da quanto sappiamo intorno all'impermeabilità della sabbia alla luce, l'incurvatura degl'ipocotili si estendeva certamente ad una profondità dove quest'agente non poteva penetrare; è quindi necessario ritenere che l'incurvatura sia stata determinata da un'influenza trasmessa dalla parte superiore rischiarata.

Le metà inferiori di cinque giovani ipocotili furono circondate con foglioline d'oro trasparenti, e dopo 8 ore di esposizione davanti ad una lampada, tutte queste pianticelle erano inclinate verso la luce quanto le pianticelle lasciate libere. Le metà inferiori di dieci altri giovani ipocotili furono egualmente circondati con foglie d'oro, ma queste erano coperte con uno strato d'inchiostro di Cina; la loro metà superiore, esposta alla luce, si curvò molto nella direzione di questa, ma la parte inferiore protetta rimase verticale, fuori che in un caso in cui lo strato d'inchiostro di Cina era imperfettamente disteso. Questo risultato sembra provare, che l'influenza trasmessa dalla parte superiore non è sufficiente per determinare l'incurvatura del resto dell'ipocotilo, se questo non è contemporaneamente rischiarato. Ma è ancor dubbio, come per la *Phalaris*, se la fogliolina d'oro coperta d'inchiostro di Cina non abbia portato al movimento un ostacolo meccanico.

Beta vulgaris. — Furono tentate alcune poche esperienze analoghe sopra questa pianta che all'uopo non si presta troppo bene, giacchè la parte basilare dell'ipocotilo, dopo aver raggiunto un'altezza di circa 1/2 pollice non s'inclina molto se viene esposta ad una luce laterale. Quattro ipocotili furono circondati, presso alla base dei picciuoli, da porzioni di foglie di stagno, larghe 0,2 poll., ed essi rimasero diritti dopo di essere stati esposti tutta la giornata davanti ad una lampada; due altri furono circondati da striscie larghe 0,15 poll., ed uno di essi rimase diritto, mentre l'altro si curvò. In due altri casi le foglie non avevano che 0,1 poll. di larghezza, e questi due ipocotili si curvarono, uno di essi però debolmente, verso la luce. Le pianticelle lasciate libere negli stessi vasi erano tutte nettamente dirette verso la sorgente luminosa, e si raddrizzavano quasi completamente durante la notte. I vasi furono allora girati e posti davanti ad una finestra in modo che la luce cadeva sulle parti opposte delle pianticelle; gl'ipocotili liberi s'inclinarono da questa parte in 7 ore. Sette delle otto pianticelle circondate di foglie di stagno rimasero verticali, ma una, protetta sopra una larghezza di 0,1 poll., si curvò verso la luce. In un altro caso, la metà superiore di sette pianticelle fu circondata di foglie d'oro annerite; sopra questo numero, quattro rimasero verticali, e tre si curvarono un poco verso la luce. Nello stesso tempo, quattro pianticelle circondate da foglia d'oro che non era stata annerita, al pari di quelle lasciate libere negli stessi vasi, s'inclinavano verso la lampada, davanti alla quale erano rimaste esposte per 22 ore.

Radichette di Sinapis alba. — Le radichette di alcune piante sono indifferenti, per quanto concerne l'incurvatura, all'azione della luce; altre vi s'inclinano o si muovono in senso opposto (1). È difficile il dire se questi movimenti sieno di qualche utilità per la pianta, almeno per le radici sotterranee; essi risultano probabilmente da ciò che le radichette sono sensibili al contatto, all'umidità, alla gravitazione, e come conseguenza a tutti gli altri eccitanti nei quali naturalmente non s'imbattono.

(1) SACHS, *Phisiologie vegetale*, 1868, p. 44.

Le radichette di *Sinapis alba*, immerse nell'acqua ed esposte ad una luce laterale, si allontanano da questa; esse sono dunque afeliotropiche. L'incurvatura si estende a circa 4 mm. dall'estremità. Per determinare, se questo movimento si presenta generalmente, collocammo nell'acqua ed esponemmo ad una luce laterale 41 radichette che si erano sviluppate nella segatura umida, e tutte, ad eccezione di due casi dubbi, si curvarono per allontanarsi dalla luce. Nello stesso tempo, le estremità di 54 altre radichette esposte nelle medesime condizioni, furono leggermente toccate col nitrato d'argento. Esse si annerirono sopra una lunghezza di mm. 0,05 a mm. 0,7, e probabilmente furono bruciate; ma potemmo osservare che ciò non portava un ostacolo essenziale all'accrescimento della parte superiore, poichè parecchie che furono misurate, si allungarono, in 8 o 9 ore soltanto, di 5 a 7 mm. Sulle 54 radichette cauterizzate, un caso rimase dubbio; 25 si curvarono per allontanarsi dalla luce come al solito; e 28, ossia più di metà, non mostrarono la minima tendenza all'afeliotropismo. Vi era una differenza notevole, di cui non potemmo scoprire la causa, fra i risultati delle esperienze fatte verso la fine d'aprile e alla metà di settembre. Quindici radichette (prese fra le 54) furono cauterizzate in questa prima epoca ed esposte al sole; su questo numero, 12 non furono afeliotropiche, 2 lo furono ancora, ed 1 rimase dubbia. In settembre, 39 radichette cauterizzate furono esposte alla luce da Nord ad una temperatura conveniente; 23 rimasero afeliotropiche come al solito, e 16 soltanto non mostrarono alcuna incurvatura. Se consideriamo insieme i risultati ottenuti in queste due epoche, non possiamo dubitare che la distruzione dell'estremità sopra una lunghezza di meno d'un millimetro abbia tolta, nella metà dei casi osservati, la sensibilità all'azione luminosa. È probabile che se le estremità fossero state cauterizzate sopra una lunghezza di 1 mm. intero, ogni traccia d'afeliotropismo sarebbe scomparsa. Si può supporre che quantunque l'applicazione d'un caustico non arresti l'accrescimento, esso possa però ritardarlo abbastanza per impedire il movimento nella parte superiore; ma bisogna respingere questa supposizione, poichè abbiamo visto, e vedremo ancora, che la cauterizzazione di un lato dell'estremità di parecchie specie di radichette determina effettivamente un movimento. Ci pare dunque necessario di concludere, che la sensibilità all'azione luminosa risiede nell'estremità della radichetta di *Sinapis alba*, e che quest'estremità, quando è stata in qualche modo eccitata, trasmette l'eccitazione alla parte superiore determinandone l'incurvatura. Da tale punto di vista, questo caso è parallelo a quello delle radichette di diverse piante, le cui estremità sono sensibili al contatto, ad altri eccitanti e alla gravità, come lo dimostreremo nell'undicesimo capitolo.

Osservazioni finali e Riassunto del Capitolo.

Non sappiamo se sia una regola generale per le pianticelle, che l'illuminazione della parte superiore determina l'incurvatura della inferiore. Ma siccome questo fenomeno si è prodotto nelle quattro specie che abbiamo esaminate, che appartengono alle famiglie ben distinte delle Graminacee, delle Crucifere e delle Chenopodiacee, è probabile che sia molto diffuso. È quasi impossibile che questo fenomeno non sia di una certa utilità per le pianticelle, perchè le aiuta a trovare il cammino più corto che dal seme sotterrato mette alla luce, per la stessa ragione per cui gli occhi degli animali inferiori che strisciano sono posti all'estremità anteriore

del loro corpo. È cosa assai dubbia, senelle piante perfettamente sviluppate l'illuminazione di una parte determini l'incurvatura di un'altra parte. Le estremità di cinque giovani piante d'*Asparagus officinalis* (di cui l'altezza variava fra 1,1 e 2,7 poll., e che si componevano di parecchi brevi internodii), furono coperte di cappucci di foglie di stagno, lunghi da 0,3 a 0,35 poll. e la parte inferiore lasciata libera s'inclinò verso una luce laterale così fortemente come quella delle pianticelle che erano rimaste libere negli stessi vasi. Altre pianticelle della stessa pianta ebbero le loro estremità coperte d'inchiostro di Cina; ottenemmo in questa guisa il medesimo risultato negativo. Dei pezzi di carta annerita furono incollati sui bordi e sulle pagine di parecchie foglie delle giovani piante di *Tropæolum majus* e di *Ranunculus ficaria;* essendo state poste in seguito queste piante in una scatola davanti ad una finestra, i picciuoli delle foglie protette si curvarono verso il sole quanto quelle delle foglie libere.

I casi precedenti, riferentisi a delle pianticelle, sono stati descritti con dettaglio non solo perchè la trasmissione dell'eccitazione luminosa è un fatto fisiologico nuovo, ma anche perchè riteniamo che questo fatto tenda a modificare di qualche poco il modo di considerare i movimenti eliotropici. Fino a questi ultimi tempi si credeva, che questi movimenti risultassero semplicemente da un aumentato accrescimento sopra la faccia ombreggiata dell'organo, oggi è generalmente ammesso (1), che la diminuzione della luce accresca la turgescenza delle cellule, o l'estensibilità delle membrane cellulari, o tutte e due contemporaneamente, sul lato posto all'ombra, e che questi effetti sieno seguiti da un accrescimento maggiore. Ma Pfeffer ha dimostrato che una differenza nella turgescenza delle due faccie del pulvino — organo composto da un ammasso di cellule in cui lo sviluppo ha cessato per tempo — è determinata da una ineguaglianza nelle quantità di luce ricevuta da queste due faccie; che, per conseguenza il movimento così causato non è accompagnato da aumento di crescenza sul lato più turgescente (2). Tutti gli osservatori sembrano credere, che l'azione luminosa si eserciti direttamente sulla parte che s'incurva; ma noi abbiamo visto che non è così nelle pianticelle che abbiamo descritto. Le loro metà inferiori furono brillantemente illuminate per parecchie ore, e tuttavia non s'inclinarono verso la sorgente luminosa, sebbene sia questa la parte che più s'incurva nelle circostanze ordinarie. È un

(1) Emil Godlewski ha dato (*Bot. Zeitung*, 1879, n. 6-9) un eccellente riassunto (p. 120) dello stato della questione. Vedi pure Vines (*Arb. des Bot. Inst.*, in *Würzb.*, 1878, B. II, pp. 114-147). Ugo de Vries ha pubblicato recentemente un articolo ancora più importante su questo soggetto (*Bot. Zeit.*, 19 e 26 dicembre 1879).

(2) *Die Period. Beweg. der Blattorgane*, 1875, p. 7, 63, 123, ecc. Frank ha pure insistito (*Die Natürliche wagerichte Richtung von Pflanzentheilen*, 1870, p. 53) sull'azione importante che hanno i pulvini delle foglioline delle foglie composte, portando queste foglioline in una posizione conveniente relativamente alla luce. Questo fatto è sopratutto visibile nelle piante rampicanti che sono disposte in tutte le posizioni possibili poco convenienti per favorire l'azione luminosa.

fatto anche più sorprendente, che l'illuminazione debole di una linea stretta sopra una faccia della parte superiore dei cotiledoni di *Phalaris* determinava il senso dell'incurvatura della porzione inferiore, così che quest'ultima parte non s'inclinava verso la luce brillante che la rischiarava, ma verso un lato posto obliquamente e per il quale non entrava che una debole quantità di raggi luminosi. Questi risultati sembrano accennare alla presenza, nella parte superiore della pianta, di una materia che sente l'azione luminosa e la trasmette alla parte inferiore. Abbiamo dimostrato che tale trasmissione è indipendente dall'incurvatura della parte superiore sensibile. Un caso simile di trasmissione l'abbiamo nella Drosera; quando una ghiandola è irritata, si è la parte basilare, e non la parte terminale del tentacolo che s'inclina. I filamenti flessibili e sensitivi di *Dionœa* trasmettono pure uno stimolo senza inclinarsi essi stessi; è la stessa cosa per il fusto di *Mimosa*.

La luce esercita un'influenza potente sulla maggior parte dei tessuti vegetali, e non vi è dubbio ch'essa tenda generalmente ad interromperne l'accrescimento. Ma quando le due faccie di una pianta sono rischiarate in grado alquanto differente non ne segue per necessità che l'incurvatura verso la parte meglio rischiarata abbia per causa dei cambiamenti nei tessuti della stessa natura di quelli che danno impulso ad aumentare l'accrescimento nell'oscurità. Noi sappiamo almeno che una parte può essere deflessa dalla luce, e che tuttavia il suo accrescimento non è necessariamente favorito dalla luce. È ciò che accade per le radichette di *Sinapis alba*, che sono perfettamente afeliotropiche; il loro accrescimento è però più forte nell'oscurità che alla luce (1). È la stessa cosa per parecchie radici aeree, secondo Wiesner (2); ma vi sono dei casi opposti. Pare dunque che la luce non determini in modo uniforme l'accrescimento delle parti afeliotropiche.

Non dobbiamo perdere di vista, che la facoltà d'inclinarsi verso la luce è vantaggiosa per la maggior parte delle piante. Non è dunque improbabile, che questa facoltà sia stata acquistata per questo scopo. Per parecchi riguardi, la luce pareva agire sulle piante press'a poco nella stessa maniera che agisce sugli animali a mezzo del sistema nervoso (3). Nelle pianticelle l'eccitazione, come abbiamo visto, è trasmessa da una parte all'altra. Nell'animale un movimento può essere determinato da una quantità minima di luce; e noi abbiamo visto che una differenza impercettibile all'occhio umano nell'illuminazione delle due faccie d'un cotiledone di *Phalaris* è sufficiente per determinare la sua incurvatura. Abbiamo inoltre dimostrato, che non vi è un parallelismo esatto fra l'intensità della luce

(1) FRANCIS DARWIN: *Ueber das Wachsthum negativ heliotropischer Würzeln.* (*Arb. des Bot. Inst. in Würzb.*, Bd. II, Heft. III, 1880, p. 521).

(2) *Sitzb. der k. Akad. der Wissensch.* (Vienna), 1880, p. 12.

(3) SACHS, ha dato alcune importanti notizie nello stesso senso relativamente alle diverse irritazioni che nelle piante producono un movimento; vedi il suo lavoro *Ueber orthotrope u. plagiotrope Pflanzentheile* in *Arbeiten Bot. Inst. Würzburg*, 1879, vol. 2, p. 282.

che agisce sulla pianta e il grado d'incurvatura; era, per es., quasi impossibile di trovare una qualsiasi differenza nell'incurvatura di parecchie pianticelle di *Phalaris* esposte ad una luce che, benchè debole, era molto più brillante di quella cui altre pianticelle erano esposte. La retina, quand'è stata eccitata da una luce intensa, conserva per qualche tempo l'impressione prodotta; e le pianticelle di *Phalaris* continuavano per circa mezz'ora ad inclinarsi verso la parte, dalla quale erano state rischiarate. La retina non può percepire l'impressione di una luce debole dopo di essere stata esposta ad una luce viva, e le piante, che alla vigilia e durante la mattina erano state esposte in pieno sole, non si curvavano così rapidamente verso una debole luce laterale quanto altre che erano state conservate nell'oscurità.

Ammettendo che la luce agisca sulle parti delle piante in via d'accrescimento in modo da determinare in esse una tendenza ad incurvarsi verso la parte più fortemente rischiarata — supposizione che è contraddetta dalle esperienze precedenti sulle pianticelle, e da tutti gli organi afeliotropici — questa tendenza differisce ancora molto secondo le specie, e varia anche nei diversi individui della stessa specie, come si può assicurarsi esaminando in uno stesso vaso delle pianticelle d'una specie coltivata da lungo tempo (1). Vi è dunque una base per la modificazione di questa tendenza in quasi ogni benefica estensione. Che tale modificazione sia avvenuta, lo vediamo in molti casi; così è assai più importante per le piante insettivore di collocare le loro foglie nella migliore posizione per prendere gl'insetti, che di girarle verso la luce, e perciò non hanno quest'ultima facoltà. Se i fusti delle piante rampicanti dovessero dirigersi verso la luce, si staccherebbero il più sovente dai loro sostegni, e noi abbiamo visto, che in esse non si produce l'incurvamento eliotropico. Siccome i fusti della maggior parte delle altre piante sono eliotropici, possiamo essere sicuri che le piante rampicanti, disseminate in tutta la serie vascolare, hanno perduto una facoltà che possedevano i loro antenati, che non rampicavano. Di più, nell'*Ipomœa*, e probabilmente in tutte le altre piante rampicanti, il fusto della giovane pianta, prima di cominciare a rampicare, è fortemente eliotropico, evidentemente allo scopo di poter esporre intieramente alla luce i suoi cotiledoni e le sue prime vere foglie. Nell'*Edera*, i fusticini delle pianticelle sono moderatamente eliotropici, e divengono afeliotropici quando sono un

(1) STRASBURGER ha dimostrato nel suo interessante lavoro (*Wirkung des Lichtes... auf Schwärmsporen*, 1878), che il movimento verso una luce laterale delle zoospore di diverse piante inferiori è posto sotto l'influenza del loro stato di sviluppo, della temperatura alla quale sono assoggettate, del grado d'illuminazione sotto il quale si sono sviluppate, e di parecchie altre cause incognite; di guisa che le zoospore delle stesse specie possono muoversi nel campo del microscopio, sia verso la luce, sia nel senso opposto. Inoltre alcuni individui però appariscono indifferenti alla luce, e quelli di specie diversa si comportano in modo assai differente. Più la luce è forte, più il loro corso è rettilineo. Essi subiscono pure, per un periodo assai breve, la continuazione degli effetti della luce. Al primo sguardo questi movimenti somigliano a quelli delle piante più elevate. Vedi pure STAHL: *Ueber den einfluss des Lichts auf die Bewegungs erscheinungen der Schwärmsporen* (*Verh. d. phys. med. Ges. in Würzb.*, B. XII, 1878).

poco più vecchi. Alcuni viticci formati da foglie modificate, sono divenuti afeliotropici benchè le foglie d'ordinario sieno fortemente diaeliotropiche, e la loro estremità tenda ad insinuarsi in ogni crepaccio oscuro.

Perfino i movimenti eliotropici ordinari, è appena ammissibile che risultino direttamente dall'azione della luce senza un adattamento speciale. Ciò che crediamo di poter spiegare coi così detti movimenti igroscopici di una pianta: se i tessuti proprî ad una delle faccie d'un organo sono assoggettati ad una rapida evaporazione, si disseccano e si contraggono rapidamente, determinando così l'incurvatura dell'organo verso questa parte. I movimenti mirabili per la loro complessità, per i quali i pollinii dell'*Orchis pyramidalis* abbracciano la tromba d'una mosca, e poi cambiano di posizione per deporre le loro masse polliniche sul doppio stigma — o il movimento di torsione per il quale alcuni semi si affondano essi stessi nel suolo (1) — provengono dal modo di disseccamento della parte in questione, e tuttavia nessuno vorrà supporre che questi risultati sieno stati ottenuti senza un adattamento speciale. Egualmente dobbiamo credere ad un adattamento, quando vediamo l'ipocotilo di una pianticella che contiene della clorofilla, curvarsi verso la luce; infatti in causa di questo movimento, esso stesso riceve meno luce, poichè è allora ombreggiato dai proprî cotiledoni, ma colloca questi ultimi organi — i più importanti — nella migliore posizione per essere perfettamente illuminati. Si può dunque dire, che l'ipocotilo si sacrifica in favore dei cotiledoni, o piuttosto della pianta intera. Ma se non può inclinarsi, come accade spesso per le pianticelle che germogliano in mezzo ad una vegetazione fitta, i cotiledoni stessi s'inclinano allora per guardare la luce; quello che è il più distante da essa si eleva, mentre il più vicino si abbassa, e tutti due girano lateralmente sul loro asse (2). Dobbiamo anche ammettere che l'estrema sensibilità della parte superiore dei cotiledoni inguainati delle Graminacee, e la facoltà che possedono di trasmettere alle parti inferiori l'eccitazione ricevuta sieno delle proprietà specialmente destinate a far loro trovare il cammino più breve verso la luce. Nelle piante che germogliano sopra un pendio, o prostrate dal vento, è interessante di osservare come le foglie si muovano, girando spesso sul loro asse per presentare direttamente al sole le loro pagine superiori. Questi diversi fatti ci colpiranno anche più, se ci rammenteremo che una luce troppo intensa è nociva per la clorofilla e che le foglioline di parecchie Leguminose, quando l'irradiazione è troppo forte, si elevano e presentano i loro bordi al sole per evitare ogni danno. D'altra parte le foglioline d'*Averrhoa* e d'*Oxalis*, nelle stesse condizioni s'inclinano in basso.

(1) FRANCIS DARWIN: *On the Hygroscopic Mechanism etc.* (*Trans. Lin. Soc.*, serie II, vol. I, p. 149, 1876).

(2) WIESNER ha fatto delle osservazioni dello stesso genere sulle foglie: *Die undulirende Nutation der Internodien* (p. 6, estratto dal vol. LXXVII, 1878, *des Sitb. der k. Akad. der Wissensch.* Vienna).

Abbiamo dimostrato, nel capitolo precedente, che l'eliotropismo è una forma modificata dalla circumnutazione; e siccome ogni parte in via d'accrescimento nella pianta circumnuta più o meno, possiamo comprendere, come la facoltà d'inclinarsi verso la luce abbia potuto essere acquistata da un numero così grande di piante, diffuse in tutto il regno vegetale. Abbiamo già spiegato in qual maniera un movimento di circumnutazione — cioè a dire un movimento consistente in una successione di ellissi irregolari o di anse — si è convertito gradatamente in un cammino rettilineo verso la luce. Abbiamo, in primo luogo una successione di ellissi in cui gli assi maggiori sono tutti diretti verso la sorgente luminosa, e di cui ciascuna è descritta sempre più vicina a questa sorgente; poscia le anse sono stirate e convertite in linee a zig-zag bene pronunciate, mentre qua e là si forma ancora una piccola ansa. Nello stesso tempo che si estende e si accelera il movimento verso la luce, quello nel senso opposto è diminuito e ritardato ed infine arrestato. I movimenti a zig-zag verso ambedue i lati diminuiscono pure gradatamente, ed infine il cammino diviene assolutamente rettilineo. È così che sotto l'influenza di una luce abbastanza forte non vi ha alcun dispendio inutile di energia.

Siccome nelle piante ogni carattere è più o meno variabile, non era difficile ammettere, che i movimenti circumnutanti avessero potuto accrescersi o modificarsi allo scopo di ottenere un vantaggio per la conservazione degli individui nei quali si producevano le variazioni favorevoli. L'eredità dei movimenti abituali è un elemento necessario per questo processo di selezione o di sopravvivenza del più adatto, e noi abbiamo visto che vi sono buone ragioni per credere, che i movimenti abituali sieno nelle piante ereditari. Nelle specie rampicanti, i movimenti circumnutanti hanno aumentato di ampiezza e sono divenuti più circolari: lo stimolo è qui interno od innato; nelle piante che dormono i movimenti dopo di aver aumentato di ampiezza, hanno spesso cambiato di direzione; qui lo stimolo è l'alternarsi della luce e dell'oscurità, aiutato però dall'eredità. Nel caso dell'eliotropismo, lo stimolo è l'illuminazione ineguale delle due faccie della pianta, che determina, come nei casi precedenti, una modificazione del movimento circumnutante proprio a far inclinare gli organi verso la luce. Una pianta, che per le cause che abbiamo esposte, è divenuta eliotropica, può facilmente perdere questa tendenza, se noi giudichiamo dai casi che abbiamo enumerati più sopra, appena diviene inutile o dannosa. Una specie che ha cessato di essere eliotropica, può ancora divenire afeliotropica a mezzo della conservazione degli individui che tendono a circumnutare in una direzione più o meno opposta a quella onde viene la luce (sebbene la causa di questa variazione, come quella di molte altre sia ancora incognita). In modo simile una pianta può diventare diaeliotropica.

CAPITOLO X.

CIRCUMNUTAZIONE MODIFICATA: MOVIMENTI ECCITATI DALLA GRAVITAZIONE.

Mezzi d'osservazione. — Apogeotropismo. — Cytisus; Verbena; Beta. — Conversione graduale della circumnutazione in apogeotropismo nel Rubus, Lilium, Phalaris, Avena e Brassica. — Azione ritardatrice dell'eliotropismo sull'apogeotropismo. — Azione delle articolazioni e dei cuscinetti. — Movimenti dei peduncoli fiorali di Oxalis. — Osservazioni generali sull'apogeotropismo. — Geotropismo. — Movimenti delle radichette. — Sotterramento dei frutti. — Trifolium subterraneum. — Arachis. — Amphicarpæa. — Diageotropismo. — Conclusione.

Lo scopo di questo capitolo è di dimostrare, che il geotropismo, l'apogeotropismo e il diageotropismo sono forme modificate del movimento circumnutante. Dei fili di vetro finissimi, muniti di due piccoli triangoli di carta, furono fissati sulle estremità dei giovani fusti, spesso sopra ipocotili di pianticelle, su peduncoli fiorali, radichette, ecc., ed i movimenti di questi organi furono allora rilevati nel modo solito sopra delle lamine di vetro orizzontali e verticali. Bisogna ricordarsi, che quando i fusti o gli altri organi divengono più o meno obliqui relativamente alle lamine di vetro, le figure tracciate sopra queste ultime si amplificano sempre più. Eccettuato il momento di ogni osservazione, le piante erano protette contro la luce; questa che era sempre debole, non si lasciò allora entrare che in modo da turbare il meno possibile il movimento in corso; non abbiamo del resto mai trovato delle traccie di una perturbazione cagionata da questo procedimento.

Nelle nostre osservazioni intorno alle gradazioni fra la circumnutazione e l'eliotropismo, ebbimo il grande vantaggio di poter diminuire l'intensità della luce; ma pel geotropismo era naturalmente impossibile di far esperienze analoghe. Potemmo però seguire i movimenti dei fusti posti dapprima soltanto un poco discosti dalla perpendicolare, nel quale caso il geotropismo agiva con una forza molto minore che quando erano disposti orizzontalmente e ad angolo retto con la direzione della forza. Scegliemmo pure delle piante che non erano che debolmente geotropiche od apogeotropiche, od erano divenute tali per essere cresciute vecchie. Impiegammo ancora un altro metodo: i fusti furono posti dapprima in modo da fare, sotto all'orizzonte, un angolo di 30 o 40 gradi, di guisa che l'apogeotropismo ebbe ad esercitare una forza considerevole prima che fossero divenute completamente perpendicolari; in questo caso, il movimento ordinario di circumnutazione non era affatto escluso. Un altro piano ancora era quello di osservare nella sera delle

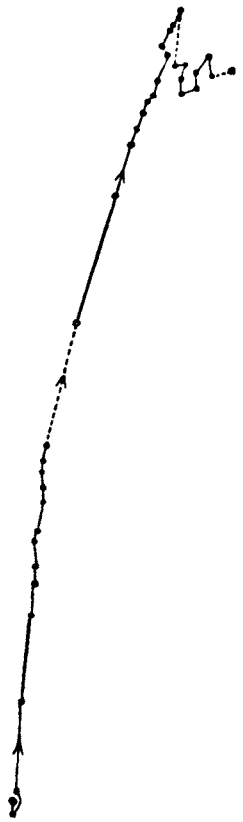
piante che durante la giornata avevano subìto una forte incurvatura eliotropica; imperocchè i loro fusti, a misura che la luce gradatamente diminuiva, si alzavano con grande lentezza sotto l'azione dell'apogeotropismo e in questo caso la circumnutazione modificata era talvolta assai spiegata.

Apogeotropismo. Le piante scelte per le nostre osservazioni furono prese quasi a caso, ma in famiglie ben distinte. Se si dispone orizzontalmente il fusto di una pianta che non è che moderatamente sensibile all'apogeotropismo, la parte superiore in via d'accrescimento s'inclina fortemente in alto, fino a divenire perpendicolare; la linea ottenuta, unendo i punti successivamente rilevati sulla lamina di vetro, è generalmente quasi diritta. Per es., un giovane *Cytisus fragrans*, alto 12 pollici, fu posto in modo che il suo fusto fece un angolo di 10° sotto all'orizzonte, ed il suo cammino fu rilevato per 72 ore. S'inclinò in principio un poco verso il basso (vedi figura 182) in causa, senza dubbio, del peso del fusto; questo fatto si produsse nella maggior parte delle altre piante da noi osservate; ma siccome circumnutavano contemporaneamente, le brevi linee dirette verso il basso erano spesso oblique. Dopo tre quarti d'ora il fusto cominciò a curvarsi in alto, fortemente durante le due prime ore, e molto più lentamente nella sera, durante la notte ed il giorno seguente. Nel corso della seconda notte discese un poco e circumnutò nel giorno appresso; aveva in pari tempo un leggero movimento verso la destra causato dall'accesso accidentale di una piccola quantità di luce. Il fusto era allora inclinato di 60° al disopra dell'orizzonte, dopo di aver percorso un arco di 70°. Col tempo sarebbe probabilmente divenuto eretto, ed avrebbe senza dubbio continuato a circumnutare. Il solo fatto da notare, nella figura che diamo qui, è la percorrenza retta del cammino seguìto. Però il movimento di ascesa del fusto non aveva una celerità uniforme, ma talvolta rimaneva quasi od affatto immobile. Queste alternative rappresentano con ogni probabilità una tendenza a circumnutare nella direzione opposta all'apogeotropismo.

Il fusto erbaceo di *Verbena melindres* (?) posto orizzontalmente, si elevò tanto in 7 ore, che il suo movimento non potè più essere osservato sul vetro verticale posto davanti alla pianta. La lunga linea così tracciata era affatto diritta. Dopo queste 7 ore continuò ad elevarsi, ma circumnutando leggermente. Il giorno dopo era verticale e circumnutava regolarmente, come lo mostra la figura 82, pag. 145. I fusti di molte altre piante assai sensibili all'apogeotropismo si elevavano in linee quasi rette, poi si ponevano ad un tratto a circumnutare. Un ipocotilo di cavolo, abbastanza vecchio ed in parte incrinato, alto poll. 2 3/4, era così sensibile che posto in modo da formare colla perpendicolare un angolo di 23° soltanto divenne verticale in 33 minuti. In questa posizione poco inclinata non poteva subire un'azione molto forte per parte dell'apogeotropismo; così ci attendemmo di vederlo circumnutare od almeno di descrivere delle linee a zig-zag. È perciò che rilevammo dei punti ogni 3 minuti; ma congiungendoli, ottenemmo una linea quasi retta. Quando quest'ipocotilo si era raddrizzato continuò a muoversi ancora nella stessa direzione generale per una mezz'ora, ma descrivendo degli zig-zag. Nelle 9 ore che seguirono circumnutò regolarmente, e descrisse 3 grandi ellissi. In questo caso l'apogeotropismo, benchè agisse secondo un angolo poco favorevole, aveva completamente distrutto il movimento di circumnutazione.

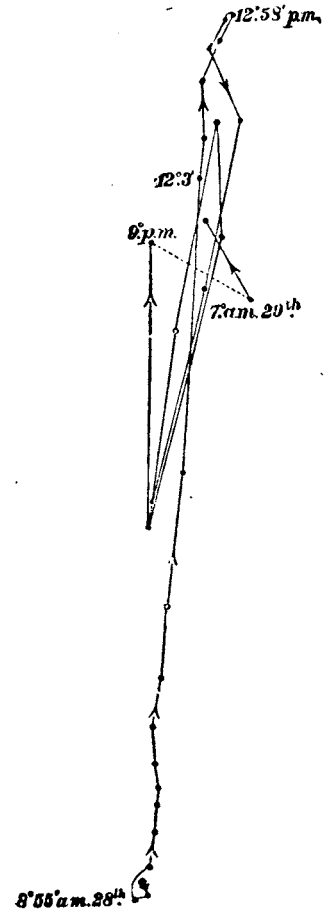
Gl'ipocotili di *Beta vulgaris* sono assai sensibili all'apogeotropismo. Una pianticella fu posta in modo da formare, al disotto dell'orizzonte, un angolo di 19°. Discese in principio un poco (fig. 183) in causa, senza dubbio, del suo peso; ma siccome si trovava in circumnutazione, la linea era obliqua. Nelle 3 ore ed 8 m. che

Fig. 182.



Cytisus fragrans: movimento apogeotropico di un fusto da 10° al di sotto a 60° al di sopra dell'orizzonte, rilevato sopra un vetro verticale dalle 8,30 a. del 12 marzo alle 10,30 p. del 13. Il movimento di circumnutazione che seguì è pure indicato fino alle 6,45 a. del 15. Il cammino notturno è indicato come al solito da una linea spezzata. Movimento poco amplificato e ridotto qui ai 2/3.

Fig 183.



Beta vulgaris: movimento apogeotropico di un ipocotilo da 19° al disotto dell'orizzonte fino alla verticale, e circumnutazione susseguente, rilevati sopra una lama di vetro orizzontale dalle 8,28 a. del 28 settembre alle 8,40 a. del 29. Figura ridotta al terzo.

seguirono si elevò in linea quasi retta, descrivendo un angolo di 109°; era allora (12 ore 3 m. pom.) perpendicolare. Continuò per 55 m. a muoversi nella stessa direzione generale al di là della perpendicolare, ma descrivendo delle linee a zig-zag. Ritornò in seguito sui suoi passi seguendo una linea ondulosa, poi si mise a circumnutare regolarmente e nel resto della giornata descrisse 3 ellissi. Bisogna notare che nella figura le ellissi hanno una grandezza esagerata relativamente alla lunghezza della linea diretta in alto, e ciò in causa della posizione delle lamine di vetro verticale e orizzontale. Un altro ipocotilo abbastanza vecchio fu posto in modo da non allontanarsi dalla perpendicolare che di 31°; in questa posizione, l'apogeotropismo non agiva che poco; così il suo cammino fu debolmente a zig-zag.

I cotiledoni inguainati di *Phalaris canariensis* sono assai sensibili all'apogeotropismo. Uno di questi organi fu posto in modo da formare un angolo di 40° sotto

all'orizzonte. Quantunque fosse abbastanza vecchio e già alto poll. 1, 3, riprese la posizione verticale in 4 ore m. 30, dopo di aver percorso un angolo di 130° in linea quasi retta. In seguito cominciò ad un tratto a circumnutare come al solito. I cotiledoni di questa pianta, quando la prima foglia ha cominciato ad apparire, non sono che debolmente apogeotropici, benchè continuino a circumnutare. Uno di essi, a questo momento di sviluppo, fu posto orizzontalmente e non riprese la posizione perpendicolare nemmeno dopo 13 ore; il suo cammino era leggermente a zig-zag. Egualmente un ipocotilo abbastanza vecchio di *Cassia tora* (alto 1 $^1/_4$ poll.) impiegò 28 ore per raddrizzarsi, descrivendo delle distinte linee a zig-zag, mentre gli ipocotili più giovani si muovevano assai più rapidamente ed in linea quasi retta.

Fig. 184.

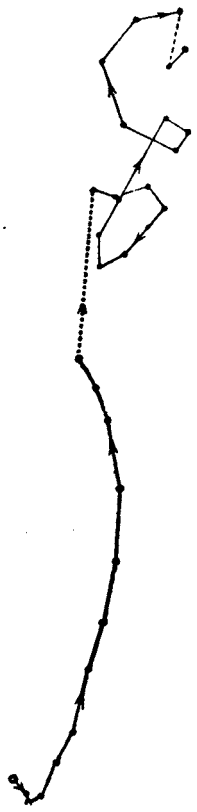
Rubus idæus (ibrido): movimento apogeotropico del fusto, tracciato sopra un vetro verticale per tre giorni e tre notti, dalle 10,40 a. del 18 marzo alle 8 a. del 21. Figura ridotta di metà.

Quando un fusto od altro organo, posto orizzontalmente, si eleva descrivendo delle linee a zig-zag, possiamo concludere, in causa di considerazioni che abbiamo già esposto nei precedenti capitoli, che abbiamo che fare con una forma modificata della circumnutazione; ma se il cammino è rettilineo, la circumnutazione non è punto evidente, e volendo si può affermare che questo movimento è stato sostituto da un altro di qualità distinta. Tale modo di vedere pareva assai probabile, quando (come ci è spesso accaduto per gli ipocotili di *Brassica* e di *Beta*, per i fusti di *Cucurbita* ed i cotiledoni di *Phalaris*) l'organo in questione, dopo di essersi inclinato in linea retta, si mise ad un tratto a circumnutare come al solito. La fig. 183 ci dà un bell'esempio di un tale cambiamento di moto, cioè a dire di un cambiamento di un moto rettilineo in un movimento circumnutante; abbiamo osservato degli esempi ancora più manifesti nella *Beta*, *Brassica* e *Phalaris*.

Descriveremo ora alcuni casi, nei quali si può constatare la modificazione graduale del movimento circumnutante in apogeotropismo, sotto l'influenza di circostanze che enumereremo in ciascun caso.

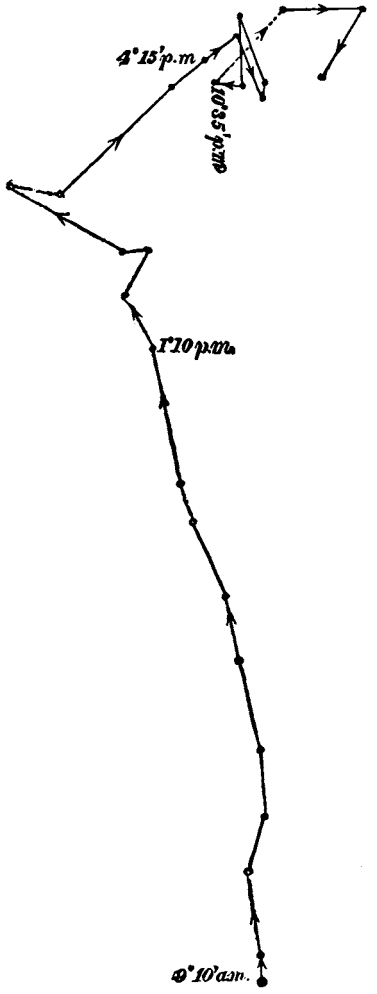
Rubus idæus (ibrido). — Una giovane pianta alta 11 poll. e posta in un vaso, fu collocata orizzontalmente, e ne rilevammo per 70 ore il movimento di ascesa; ma la pianta, benchè germogliasse vigorosamente, non era in alto grado sensibile all'apogeotropismo, o non era capace di un movimento rapido, poichè durante questo tempo non si elevò che di 67°. Possiamo vedere dal diagramma (fig. 184), che nelle 12 prime ore, il movimento di ascesa era quasi rettilineo. Al momento in cui la pianta fu disposta orizzontalmente, era senza dubbio in circumnutazione, poichè dapprima malgrado il peso del fusto si elevò un poco e poscia ridiscese, così che non cominciò il moto di ascesa definitivo che dopo trascorso il tempo di 1 ora e 25 m. Al secondo giorno, si era elevata considerevolmente, e l'apogeotropismo agiva sopra di essa con forza molto minore; così il suo cammino per 15 ore $^1/_2$ era nettamente a zig-zag, e la velocità della discesa assai ineguale. Durante il terzo giorno, pure di 15 $^1/_2$ ore, l'apogeotropismo aveva un'azione ancora molto più debole, ed il fusto circumnutava completamente, poichè nella giornata si diresse 3 volte in alto, e 3 volte in basso, 4 volte verso destra e 4 verso sinistra. Ma il suo cammino era così complesso, che potemmo appena rilevarlo sul vetro. Possiamo vedere però che le ellissi irregolari formate successivamente si elevavano ognor di più. L'apogeotro-

Fig. 185.



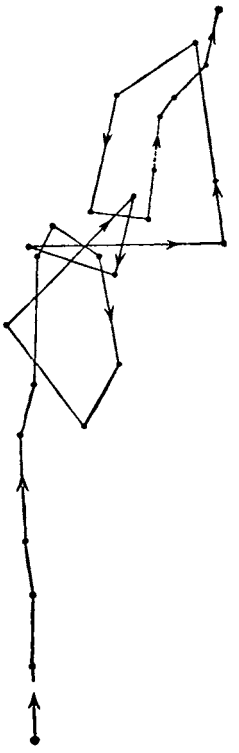
Lilium auratum: movimento apogeotropico di un fusto, rilevato sopra un vetro verticale per due giorni e due notti, dalle 10,40 a. del 18 marzo alle 8 a. del 20. Figura ridotta di metà.

Fig. 186.



Phalaris canariensis: movimento apogeotropico di un cotiledone tracciato sul vetro verticale e orizzontale dalle 9,10 a. del 19 settembre alle 9 a. del 20. Figura ridotta a 1/5.

Fig. 187.



Brassica oleraceu: movimento apogeotropico tracciato sopra un vetro verticale dalle 9,20 a del 12 settembre alle 8,30 a. del 13. La parte superiore della figura è più amplificata dell'altra. Se fosse stato rilevato il cammino intero, la linea retta ascendente sarebbe stata molto più lunga. Figura ridotta a 1/3.

pismo continuò ad agire al mattino successivo, ed il fusto si elevò ancora, quantunque non fosse allora che a 23° dalla perpendicolare. In questo diagramma si possono seguire i diversi gradi, pei quali un cammino apogeotropico di ascesa quasi rettilineo diviene in principio quasi onduloso, e poi si trasforma in movimento circumnutante, la maggior parte delle ellissi irregolari successivamente formate dirigendosi in alto.

Lilium auratum. — Una pianta alta 23 poll. venne collocata orizzontalmente, e la parte terminale del suo fusto si elevò di 58° in 46 ore nel modo indicato dalla fig. 185. Noi vediamo qui che nel corso di tutta la seconda giornata il fusto circum-

nutò pienamente e si curvò in alto sotto l'influenza dell'apogeotropismo. Esso aveva ancora da elevarsi molto, poichè quando rilevammo l'ultimo punto del diagramma, era ancora a 32° dalla perpendicolare.

Phalaris canariensis. — Un cotiledone di questa pianta, lungo 1, 3 poll. è già stato descritto come elevantesi in 4 ore m. 30 da 40° al disotto dell'orizzonte fino alla verticale, descrivendo quasi in linea retta un angolo di 130°, e mettendosi in seguito tutt'ad un tratto a circumnutare. Un altro cotiledone abbastanza vecchio, della stessa altezza, ma che non aveva ancora prodotto nessuna vera foglia, fu pure posto a 40° al disotto dell'orizzonte. Nel corso delle 4 prime ore si elevò in linea quasi retta (fig. 186), così che ad 1 ora m. 10 di sera era fortemente inclinato, e l'apogeotropismo esercitava allora sopra di lui un'azione molto minore. Cominciò a tal punto a descrivere delle linee a zig-zag. Alle 4, 15 di sera (cioè 7 ore dopo il principio dell'esperienza) era verticale, e continuò quindi a circumnutare intorno ad un medesimo punto nel modo solito. Noi siamo qui in presenza della trasformazione d'un movimento apogeotropico rettilineo in movimento circumnutante, trasformazione graduata e non brusca come nel caso antecedente.

Avena sativa. — I cotiledoni inguainati mentre sono ancora giovani, si manifestano fortemente apogeotropici; ed alcuni che furono posti a 45° al disotto dell'orizzonte si elevarono di 90° in 7 od 8 ore in linee quasi assolutamente rette. Un cotiledone abbastanza vecchio, la cui prima foglia cominciava a spuntare, fu disposto in modo da formare sotto all'orizzonte un angolo di 10°; e non si elevò che di 59° in 24 ore. Si comportò in modo alquantò diverso di qualsiasi altra pianta da noi osservata, poichè durante le 4 prime ore e $^1/_2$ si elevò in linea poco discosta dalla retta, circumnutò durante le 6 ore $^1/_2$ che seguirono, cioè a dire discese e salì formando dei numerosi zig-zag, poscia riprese il suo movimento di ascesa in linea abbastanza retta, e col tempo avrebbe senza alcun dubbio raggiunto la perpendicolare. In questo caso dopo le 4 $^1/_2$ prime ore la circumnutazione ordinaria superò per un certo tempo quasi completamente l'apogeotropismo.

Brassica oleracea. — Gl'ipocotili di parecchie giovani pianticelle posti in linea orizzontale si elevarono verticalmente quasi in linea retta in 6 o 7 ore. Una pianticella, che aveva germogliato nell'oscurità e aveva raggiunta un'altezza di 2 $^1/_4$ poll., che era dunque abbastanza vecchia e poco sensibile, fu posta in modo che l'ipocotilo formasse un angolo di 30° a 40° sotto all'orizzonte. La parte superiore soltanto si curvò in alto e si elevò per 3 ore 10 m. in linea circa retta (fig. 187); ma non fu possibile di rilevare il movimento sul vetro verticale prima di 1 ora e 10 m., di guisa che sulla figura la linea quasi retta dovrebbe essere molto più lunga. Durante le 11 ore che seguirono, l'ipocotilo circumnutò descrivendo delle figure irregolari, di cui ciascuna era un poco più elevata della precedente. Durante la notte ed al mattino successivo continuò ad elevarsi a zig-zag, l'apogeotropismo continuando ad esercitare la sua azione. Alla fine delle nostre osservazioni, dopo 23 ore (vedasi il più alto punto nel disegno), l'ipocotilo era ancora a 32° dalla perpendicolare. Non si poteva quasi dubitare, che sarebbe da ultimo pervenuto alla verticale descrivendo un certo numero di nuove ellissi irregolari poste una al disopra dell'altra.

L'apogeotropismo ritardato dall'eliotropismo. — Quando il fusto di una pianta s'inclina di giorno verso una luce laterale, il movimento è contrariato dall'apogeotropismo; ma a misura che la luce diminuisce nella sera, l'apogeotropismo prende poco a poco il vantaggio e porta il fusto in una posizione verticale. Noi abbiamo qui dunque un'ultima occasione per osservare, come l'apogeotropismo agisca quando è quasi controbilanciato da una forza opposta. Per esempio, la plumula di *Tropæolum majus* (vedi più sopra fig. 175), si dirigeva nella sera verso la luce in linea ondulosa fino alle 6,45, poi ritornava sui suoi passi fino alle 10,40 descrivendo delle

linee a zig-zag ed una ellisse di dimensioni considerevoli. L'ipocotilo di *Brassica oleracea* (vedi più sopra la fig. 173) aveva verso la luce un movimento rettilineo fino alle 5,15 di sera, poi rifaceva la via percorsa inclinandosi ad angolo nel suo cammino di ritorno, quindi si dirigeva di nuovo per poco tempo verso la sorgente luminosa. Non facemmo osservazioni dopo le 7,10 di sera, ma durante la notte riprese la sua posizione verticale. Un ipocotilo di *Cassia tora* si dirigeva, nella sera, seguendo una linea a zig-zag, verso la luce morente fino alle 6 pom., ed era a questo momento a 20° dalla perpendicolare; poscia ritornava sulla sua traccia presentando fino alle 10,30 quattro grandi incurvature rettangolari che completavano quasi una ellisse. Ebbimo occasione di osservare parecchi altri casi analoghi, ed in tutti potemmo vedere che il movimento apogeotropico non era che un movimento circumnutante modificato.

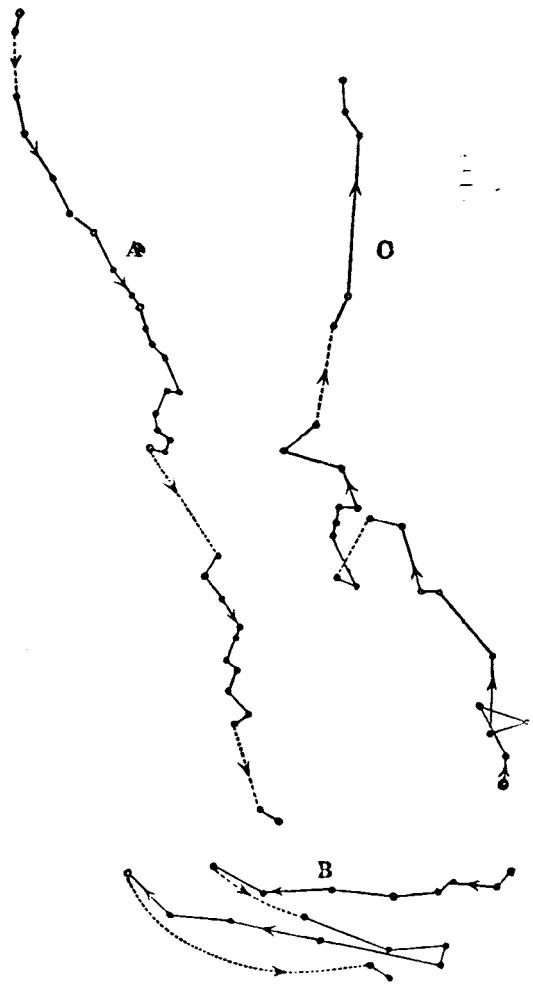
Movimenti apogeotropici effettuati coll'aiuto dei cuscinetti o pulvini. — Si sa che nelle Graminacee si presentano movimenti di questa natura, e sono effettuati coll'aiuto della base ispessita delle loro foglie inguainate; il fusto è in questo punto più sottile che in qualsiasi altra parte. Per l'analogia cogli altri cuscinetti queste articolazioni, dopo che le parti vicine hanno completato il loro accrescimento, dovrebbero continuare la circumnutazione per un certo periodo. Volemmo quindi verificare, se era così nelle Graminacee, poichè, in questo caso, l'incurvatura dei fusti orizzontali o curvati si spiegherebbe colla nostra teoria, e dimostrerebbe che l'apogeotropismo è una modificazione della circumnutazione. Quando queste articolazioni si sono curvate in alto, si fissano nella nuova posizione con un aumento di crescenza lungo la faccia inferiore.

Lolium perenne. — Un giovane fusto di 7 pollici di altezza, che contava tre internodii e dal quale non era ancora spuntato il capitolo fiorale, fu scelto per le nostre osservazioni. Fissammo sul fusto immediatamente sopra alla seconda articolazione, a 3 poll. sopra il suolo, un filo di vetro lungo, e assai sottile. Si trovò più tardi che quest'articolazione era in stato attivo, giacchè la sua faccia inferiore cresceva molto sotto l'azione dell'apogeotropismo (nel modo descritto da De Vries), dopochè lo stelo era stato fissato 24 ore in una posizione orizzontale. Il vaso fu posto in modo, che l'estremità del filo di vetro si trovasse sotto l'obbiettivo da 2 pollici d'un microscopio provveduto di un oculare micrometrico, in cui ciascuna divisione era eguale a $^1/_{500}$ di poll. L'osservammo a parecchie riprese per 6 ore, e lo vedemmo in movimento continuo; esso attraversò in 2 ore 5 divisioni del micrometro, ossia $^1/_{500}$ di poll. Talvolta si dirigeva in avanti con delle scosse, di cui ciascuna aveva un'estensione di $^1/_{1000}$, di pollice, poi tornava lentamente un poco indietro, per fare di nuovo un salto in avanti. Queste oscillazioni erano affatto analoghe a quelle, che abbiamo descritto nella *Brassica* e nella *Dionæa*, ma non si producevano che occasionalmente. Possiamo concludere, che quest'internodio abbastanza vecchio continuava a circumnutare debolmente.

Alopecurus pratensis. — Una giovane pianta alta 11 poll., i cui fiori cominciavano a mostrarsi, ma che non erano ancora sbocciati, fu provveduta di un filo di vetro fissato immediatamente al disopra della seconda articolazione a 2 poll. circa dal suolo. L'internodio basilare, lungo 2 poll. circa, fu fissato ad una bacchetta per evitare qualsiasi movimento di circumnutazione. L'estremità del filo di vetro, che faceva un angolo di 50° circa al disopra dell'orizzonte, fu frequentemente osservata per 24 ore, nello stesso modo che nel caso precedente. In tutte le osservazioni il filo era sempre in movimento; esso attraversò in 3 ore $^1/_2$, 30 divisioni del micrometro, ossia $^3/_{50}$ di poll.; ma il suo movimento era talvolta più rapido, giacchè in un caso attraversò 5 divisioni in 1 ora e $^1/_2$. Fummo obbligati di spostare il vaso, perchè il filo di vetro usciva fuori del campo di visione, ma per quanto potemmo

giudicare, esso seguì durante la giornata un cammino semicircolare e prese successivamente due direzioni perpendicolari l'una all'altra. A momenti oscillava nello stesso modo che nella specie precedente, alcuni di questi salti giungevano fino a $^1/_{1000}$ di poll. Noi possiamo concludere che in questa specie e nella precedente, le articolazioni conservano lungamente il loro movimento circumnutante; e tale movimento potrebbe facilmente convertirsi in apogeotropico, se il fusto fosse posto in una posizione orizzontale od inclinata.

Fig. 188.



Oxalis carnosa: movimento del peduncolo fiorale, rilevato sopra un vetro verticale: A, movimento epinastico in basso; B, circumnutazione finchè il peduncolo è pendente C, movimento susseguente di ascesa, dovuto all'epinastia ed all'apogeotropismo combinati.

Movimenti dei peduncoli fiorali di Oxalis carnosa ***sotto l'influenza dell'apogeotropismo e d'altre forze.*** — I movimenti del peduncolo principale e di tre o quattro peduncoli secondarî che porta ogni peduncolo principale di questa pianta, sono assai complessi e riconoscono parecchie cause distinte. Quando i fiori sono sbocciati, le due qualità di peduncoli circumnutano sul posto, come l'abbiamo visto (fig. 91) nel Cap. IV. Ma quando i fiori cominciano ad avvizzire, i peduncoli secondarî si curvano in basso, ciò che è dovuto all'epinastia; in due casi infatti, i vasi essendo stati collocati orizzontali, i peduncoli secondarî presero la stessa posizione, relativamente al peduncolo principale, che avrebbero preso se la pianta avesse conservato la sua direzione verticale, ossia ciascuno formò col peduncolo principale un angolo di 40° circa. Se avessero subìto l'azione del geotropismo o dell'afeliotropismo (la luce proveniva dall'alto), si sarebbero girati direttamente verso il centro della terra. Un peduncolo fu fissato ad un bastone in una posizione perpendicolare, ed uno dei peduncoli secondarî eretto, che vedemmo circumnutare quando il fiore era espanso, continuò a circumnutare almeno 24 ore dopo che questo era avvizzito. Poscia s'inclinò in basso e dopo 36 ore era inflesso un poco al disotto dell'orizzonte. A questo punto incominciammo un nuovo diagramma (A, fig. 188), e seguimmo i movimenti

del peduncolo secondario che tracciò una linea discendente a zig-zag dopo le 7,20 della sera del 19 fino alle 9 del mattino del 22. Era allora diretto quasi perpendicolarmente in basso, ed il filo di vetro dovette essere levato, e fissato trasversalmente sulla base del giovane frutto. Ci attendemmo di vedere il peduncolo secondario immobile in questa nuova posizione. Ma esso continuò ad oscillare lentamente come un pendolo da una parte all'altra, ossia in un piano perpendicolare a quello della sua discesa. Questo movimento circumnutante fu osservato dalle 9 del mattino del 22 alle 9 del mattino del 24, come lo mostra il diagramma in B. Non potemmo osservare più lungamente questo peduncolo, ma esso avrebbe certamente continuato a circumnutare fino alla quasi maturità del frutto (che non esigeva molto tempo) e si sarebbe allora raddrizzato.

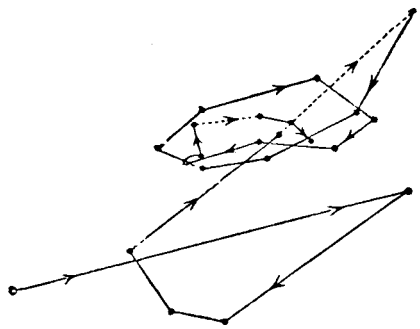
Il movimento di ascesa (C, fig. 188) è effettuato in parte dal peduncolo secondario a che si eleva nello stesso modo nel quale era disceso prima sotto l'azione dell'epinastia, ossia dall'articolazione che lo unisce al peduncolo principale. Questo movimento di ascesa si produceva nelle piante mantenute nell'oscurità, ed in qualsiasi posizione che si fissasse il peduncolo principale; esso non può dunque riconoscere per causa l'eliotropismo o l'apogeotropismo, ma soltanto l'iponastia. Oltre a questo movimento all'inserzione del peduncolo secondario, ve ne ha un altro di natura assai differente, perchè il peduncolo secondario si curva in alto nella sua porzione mediana. Se accade, a questo momento, che il peduncolo secondario sia fortemente inclinato in basso, quest'incurvatura è sì forte che produce un uncino. La parte superiore portante la cassula si pone così sempre in una posizione eretta, e siccome tale movimento si produce nell'oscurità e qualunque sia la posizione del peduncolo principale, non può essere dovuto all'eliotropismo o all'epinastia, ma soltanto all'apogeotropismo.

Per rilevare questo movimento di ascesa, fissammo un filo di vetro sopra un peduncolo secondario portante una cassula quasi matura che cominciava ad alzarsi nei due modi ora descritti. Il suo cammino fu tracciato (C, fig. 188) per 53 ore, e, in capo a questo tempo, era quasi assolutamente verticale. Si vede che la linea seguita è fortemente a zig-zag con alcune piccole anse. Noi possiamo quindi concludere, che questo movimento è una circumnutazione modificata. Le diverse specie di *Oxalis* traggono probabilmente il vantaggio seguente dai movimenti verticali dei loro peduncoli fiorali secondarî. Si sa che i loro semi si sono messi in libertà dalla rottura della cassula, le pareti della quale sono assai sottili, come carta d'argento, e sono facilmente penetrate dalla pioggia. Ma appena i petali si avvizziscono i sepali si elevano per circondare la giovane cassula formando al disopra di essa un tetto impermeabile quando il peduncolo secondario ha incominciato ad inclinarsi in basso. In causa di un movimento di ascesa che si produce più tardi, la cassula matura è ad una distanza dal suolo maggiore, e cioè del doppio della lunghezza del peduncolo fiorale secondario, al confronto di quella che la separava quando questo pendeva in basso; laonde può disperdere a notevole distanza i suoi semi. I sepali che circondano l'ovario giovane presentano un adattamento ulteriore, poichè si distendono quando i semi sono maturi per non impedire la loro dispersione. Nel caso dell'*Oxalis acetosella* si dice, che le cassule talvolta si nascondono sotto le foglie morte, od anche sotto terra, ma questo fatto non può prodursi per l'*O. carnosa*, giacchè il fusto legnoso è troppo elevato.

Oxalis acetosella. — I peduncoli nel loro mezzo sono provveduti di un'articolazione; così che la parte inferiore corrisponde al peduncolo principale, e la superiore ad uno dei peduncoli secondarî d'*O. carnosa*. Quando il fiore comincia ad appassire, la parte superiore s'inclina in basso, e tutto il peduncolo prende allora la forma di un uncino. Possiamo dire per analogia coll'*O. carnosa*, che questo movi-

mento dipende dall'epinastia. Quando la cassula è quasi matura, la parte superiore si raddrizza sotto l'influenza dell'iponastia o dell'apogeotropismo, o di entrambi contemporaneamente, e non dell'eliotropismo, poichè questo movimento si produce pure nell'oscurità. La breve porzione curvata del peduncolo di un fiore cleistogamico, portante una cassula quasi matura, fu osservata per tre giorni nell'oscurità. L'estremità della cassula era in principio diretta perpendicolarmente verso terra, ma in questi tre giorni, si elevò di 90° in modo da proiettarsi orizzontalmente.

Fig. 189.



Oxalis acetosella: cammino seguìto dalla parte superiore di un peduncolo, mentre s'innalza, rilevato dalle 11 di mattina del 1° giugno alle 9 a. del 3. Figura ridotta di metà.

La fig. 189 indica il cammino seguìto durante i due ultimi giorni, e si può vedere quanto distintamente il peduncolo circumnutasse mentre si elevava. Le principali linee del movimento erano perpendicolari al piano di curvatura del peduncolo. Non continuammo questo diagramma, ma dopo due altri giorni, il peduncolo e la sua cassula si erano completamente raddrizzate.

Osservazioni finali sull'apogeotropismo. — Quando con un mezzo qualunque si attenua l'influenza dell'apogeotropismo, questo agisce, come l'abbiamo visto nei diversi casi che precedono, aumentando in una direzione opposta a quella della gravità il movimento permanente di circumnutazione, e diminuendolo nello stesso senso della gravità e verso i due lati. Il movimento di ascesa prende così una velocità ineguale, ed è talvolta interrotto da intervalli di riposo. Tutte le volte che si formano ancora delle ellissi e delle anse, i loro assi maggiori sono quasi sempre diretti secondo la perpendicolare, in modo analogo a quello che si produceva per i movimenti posti sotto l'influenza della luce. L'apogeotropismo agendo con una energia sempre più grande, le ellissi e le anse cessano di formarsi; ed il cammino diviene dapprima fortemente, poi viemmeno a zig-zag, ed infine si fa rettilineo. Da questa gradazione nella natura del movimento, e specialmente dal fatto che tutte le parti in via d'accrescimento, che sole subiscono (eccettuato quando vi è un pulvino) l'azione apogeotropica, sono in continua circumnutazione, possiamo concludere che lo stesso cammino rettilineo è una forma assai modificata della circumnutazione. È singolare che un fusto (o qualsiasi altro organo fortemente apogeotropico) che si è rapidamente curvato in alto in linea retta, è spesso tirato

al di là della verticale come dalla forza d'energia. Quest'organo s'inclina allora un po' indietro fino ad un punto, intorno al quale si mette infine a circumnutare. Osservammo due esempi di questo fatto nella *Beta vulgaris* (uno di essi è indicato nella fig. 183), e due altri nell'ipocotilo di *Brassica*. Questo movimento risulta probabilmente da un accumularsi dell'azione apogeotropica. Allo scopo di osservare quanto tempo duravano tali effetti ulteriori, collocammo sul suo fianco, nell'oscurità, un vaso di pianticelle di *Beta*, e dopo 3 ore e 15 min. gl'ipocotili erano distintamente eretti.

Il vaso, ancora nell'oscurità, fu allora raddrizzato, e rilevammo i movimenti di due ipocotili: uno di essi continuò ad inclinarsi secondo la sua direzione primitiva, divenuta in opposizione con l'apogeotropismo, per 37 m. circa, forse 48 m.; ma dopo 61 m. il suo movimento era diretto nel senso opposto; l'altro ipocotilo continuò a muoversi nella direzione primitiva per 37 m. almeno.

Specie differenti ed organi diversi della stessa specie subiscono assai inegualmente l'azione dell'apogeotropismo. Delle giovani pianticelle, di cui la maggior parte circumnuta largamente e rapidamente, s'inclinano in alto e divengono verticali in molto meno tempo delle piante più vecchie; ma noi ignoriamo, se ciò risulti dalla loro maggiore sensibilità all'apogeotropismo, o dalla loro maggiore flessibilità. Un ipocotilo di *Beta* percorreva in 3 ore e 8 m. un angolo di 109°, ed un cotiledone di *Phalaris* un angolo di 130° in ore 4, m. 30. D'altra parte il fusto di una *Verbena* erbacea si elevava di 90° in 24 ore circa, quello di un *Rubus*, di 90° in 70 ore; quello di un *Cytisus*, di 70° in 72 ore; quello di una quercia d'America di 37° soltanto in 72 ore. Il fusto di un giovane *Cyperus alternifolius* non si elevava che di 11° in 96 ore; l'incurvatura era localizzata presso alla sua base. Benchè i cotiledoni inguainati di *Phalaris* sieno assai sensibili all'apogeotropismo, la prima vera foglia non mostra alcuna traccia di questa sensibilità. Due fronde di una felce, *Nephrodium molle*, entrambe giovani, furono conservate per 46 ore in una posizione orizzontale, e durante questo tempo si elevarono così poco, che rimase il dubbio se vi fosse vero movimento apogeotropico.

Il caso più curioso che conosciamo di questa differenza di sensibilità alla gravitazione, e per conseguenza di movimento nelle diverse parti di uno stesso organo, è quello che offrono i picciuoli dei cotiledoni d'*Ipomœa leptophylla*. La parte basilare, unita sopra una debole lunghezza all'ipocotilo poco sviluppato e alla radichetta, si mostra fortemente geotropica; al contrario, la parte superiore tutt'intera è apogeotropica. Ma dopo un certo tempo, una parte situata presso al lembo dei cotiledoni, subisce l'azione dell'epinastia e si curva in basso affine di poter uscire da terra in forma d'arco; in seguito essa si raddrizza e subisce di nuovo l'azione dell'apogeotropismo.

Un ramo di *Cucurbita ovifera* posto orizzontalmente si dirigeva per 7 ore verso l'alto in linea retta, fino a formare un angolo di 40° al disopra dell'oriz-

zonte; si mise allora a circumnutare, come se per sua natura non avesse alcuna tendenza ad elevarsi maggiormente. Un altro ramo verticale fu fissato ad un bastone in prossimità della base di un viticcio, ed il vaso venne coricato orizzontalmente nell'oscurità. In questa posizione, il viticcio circumnutava; esso descrisse in 14 ore parecchie grandi ellissi, e si comportò egualmente nel giorno successivo; ma nel corso di questo tempo non si mostrò punto impressionato dall'apogeotropismo. D'altra parte, quando fissammo i rami di un'altra Cucurbitacea, *Echinocystis lobata*, nell'oscurità in modo che i viticci fossero inclinati al disotto dell'orizzonte, questi ultimi cominciarono immediatamente a curvarsi in alto, e compiendo questo movimento, cessarono di circumnutare in modo manifesto; ma appena divenuti orizzontali, ricominciarono visibilmente il loro movimento di rivoluzione (1). I viticci di *Passiflora gracilis* sono pure apogeotropici. Due rami furono fissati in una posizione tale che i loro viticci formassero un angolo di parecchi gradi sotto all'orizzonte.

Uno di questi organi fu osservato per 8 ore e lo si vide descrivere durante questo tempo due circoli, l'uno al disopra dell'altro. L'altro viticcio si raddrizzò in linea quasi retta durante le 4 prime ore, descrivendo però una piccola ansa; era allora a circa 45° al disopra dell'orizzonte, e continuò a circumnutare in questa posizione nel corso delle 8 ore che ancora durò l'osservazione.

Un organo o una parte d'organo che, mentre è giovane, è assai sensibile all'apogeotropismo, perde questa sensibilità invecchiando; ed è notevole, come un fatto che dimostra l'indipendenza di questa sensibilità e del movimento circumnutante, che quest'ultimo continua ancora qualche tempo dopo che l'organo ha completamente perduto il potere di allontanarsi dal centro della terra. È così che una pianticella di melarancio, che non portava che 3 giovani foglie ed il cui fusto era abbastanza rigido, non mostrò alcuna incurvatura durante 24 ore mentre trovavasi distesa orizzontalmente; questo fusto però aveva un debole movimento di circumnutazione. L'ipocotilo di una giovane pianticella di *Cassia tora*, posto nella stessa posizione, si fece verticale in capo a 12 ore; quello di una pianticella più vecchia, alto 1 1/4 poll., si raddrizzò in 28 ore; e quello di un'altra pianticella ancora più vecchia, alta 1 1/2 poll., rimase 2 giorni orizzontale, ma continuò a circumnutare distintamente per tutto questo tempo.

Quando i cotiledoni di *Phalaris* o di *Avena* sono distesi orizzontalmente, s'inclina in principio verso l'alto la parte superiore, poi la inferiore. Per conseguenza, quando la parte basilare si è fatta verticale, la terminale deve curvarsi nel senso opposto, per raddrizzarsi e trovarsi pure verticale; questo raddrizzamento susseguente è posto ancora sotto l'influenza dell'apogeotropismo. Rendemmo rigida la

(1) Per ulteriori dettagli vedi *Mov. et Hab. of Climbing Plants*, 1875, p. 131.

parte terminale di 8 cotiledoni di *Phalaris* fissandola a dei sottili bastoncini di vetro, che le impedivano d'inclinarsi: la parte basilare si curvò tuttavia in alto. Un fusto od un altro organo che s'inclina verso l'alto sotto l'influenza dell'apogeotropismo, esercita una forza considerevole: il proprio peso, che deve necessariamente essere sollevato, basterà nella maggior parte dei casi, per far curvare da principio leggermente l'organo in basso; ma questo movimento di discesa si fa generalmente obliquo in causa del movimento simultaneo di circumnutazione. I cotiledoni di *Avena* posti orizzontalmente, sollevano il proprio peso e sono inoltre capaci di spostare la sabbia umida che si trova sopra di essi, in modo da lasciare liberi dei piccoli spazi semilunari alla parte inferiore della loro base; è questa una prova significante della forza che possono spiegare.

Siccome gli apici dei cotiledoni di *Phalaris* e di *Avena* subiscono l'azione dell'apogeotropismo prima della parte basilare, — e siccome d'altra parte questi stessi apici, quando sono evitati da una luce laterale, trasmettono alla base l'eccitazione ricevuta, e la determinano ad incurvarsi, — credemmo che la stessa regola valesse per l'apogeotropismo e per l'eliotropismo. Levammo per conseguenza le estremità di 7 cotiledoni di *Phalaris*, sopra una lunghezza che, in 3 casi, era di 0,2 poll., e nei quattro altri di 0,14, 0,12, 0,1, e 0,07 poll. Ma questi cotiledoni, distesi orizzontalmente, si curvarono in alto così nettamente come quelli che erano rimasti intatti negli stessi vasi, ciò che mostra che la sensibilità alla gravità non è localizzata nell'apice.

Geotropismo.

Questo movimento è direttamente opposto all'apogeotropismo. Molti organi si curvano in basso sotto l'azione dell'epinastia o dell'afeliotropismo, o del proprio peso; ma non incontriamo negli organi aerei che pochissimi casi di un movimento di discesa dovuto al geotropismo. Daremo per altro degli esempi quanto prima parlando del *Trifolium subterraneum* e probabilmente dell'*Arachis hypogæa*.

D'altra parte, tutte le radici che penetrano nel suolo (compresivi i picciuoli modificati di Megarrhiza e d'*Ipomœa leptophylla*) sono guidate dal geotropismo nel loro cammino in basso, e ciò dicasi pure di molte radici aeree; mentre che altre, come quelle di edera, sembrano indifferenti alla sua azione. Abbiamo descritto nel nostro primo capitolo i movimenti delle radichette di diverse pianticelle, dove possiamo vedere (fig. 1), come una radichetta di cavolo circumnutava quando era posta verticalmente in modo da non subire che debolmente l'azione geotropica; e come un'altra (fig. 2), posta dapprima in una posizione inclinata, discendeva descrivendo delle linee a zig-zag rimanendo talvolta stazionaria per un certo tempo. Due altre radichette di cavolo discendevano in linea retta. Una radichetta di veccia posta verticalmente (fig. 20), fece un grande movimento, e si

mise a descrivere delle linee a zig-zag; ma a misura che discendeva e subiva più fortemente l'azione geotropica, il suo movimento diveniva quasi rettilineo. Una radichetta di *Cucurbita*, diretta in alto (fig. 26) descrisse pure in principio degli zig-zag, formando delle piccole anse poi si mosse in linea retta. Osservammo press'a poco lo stesso risultato nelle radichette di *Zea mays*. Ma il più bell'esempio dell'intima connessione che esiste fra la circumnutazione ed il geotropismo, ci fu offerto dalle radichette di *Phaseolus*, *Vicia* e *Quercus*, e, benchè in minor grado, da quelle di *Zea* e d'*Æsculus* (ved. figg. 18, 19, 21, 41 e 52); infatti queste radichette, sviluppandosi sopra delle lamine inclinate di vetro annerito, lasciavano delle traccie nettamente ondulose.

Sotterramento delle cassule: Trifolium subterraneum. — Le infiorescenze di questa pianta sono caratteristiche per il fatto che non producono che 3 o 4 fiori perfetti, situati verso l'esterno. Tutti gli altri abortiscono e si trasformano in aculei rigidi, il cui centro è percorso da un fascio vascolare. Dopo qualche tempo, si sviluppano alla loro sommità 5 prominenze in forma di uncini, lunghe ed elastiche, che rappresentano le divisioni del calice. Appena i fiori perfetti cominciano ad avvizzire, s'inclinano in basso, se si suppone che il peduncolo sia perpendicolare, e circondano allora strettamente la parte superiore di quest'ultimo. Questo movimento è dovuto all'epinastia, come quello dei fiori di *T. repens*. I fiori centrali imperfetti seguono al fine, l'uno accanto all'altro, lo stesso cammino. Mentre i fiori perfetti s'inclinano così, il peduncolo tutto intero si dirige in basso e si allunga molto, finchè l'infiorescenza tocca il suolo. Vaucher (1) dice che quando la pianta è posta in modo che l'infiorescenza non possa raggiungere presto il terreno, il peduncolo si allunga da 15 a 20 cent., ciò che costituisce un accrescimento straordinario. Qualunque sia la posizione del ramo, la parte superiore del peduncolo s'inclina in principio verso l'alto sotto l'azione dell'eliotropismo; ma appena il fiore comincia ad avvizzire, si manifesta l'incurvatura in basso del peduncolo intiero. Siccome tale movimento avviene nell'oscurità completa, e sopra peduncoli portati da rami eretti e pendenti, non può essere attribuito all'eliotropismo o all'epinastia, ma non può dipendere che dal geotropismo. Diecinove infiorescenze verticali, portate sopra rami posti in tutte le posizioni, su piante germoglianti nella serra calda, furono marcate col mezzo di fili: dopo 24 ore sei pendevano verticalmente, ed avevano in questo tempo descritto un arco di 90° circa. Tre peduncoli assai giovani non avevano avuto che un leggero movimento in basso, ma dopo un nuovo spazio di 24 ore erano fortemente inclinati.

Quando l'infiorescenza raggiunge la superficie del suolo, i fiori imperfetti più giovani, posti al centro, sono ancora fortemente compressi gli uni contro gli altri, e formano una proiezione conica; al contrario, i fiori perfetti ed imperfetti della periferia sono volti in alto, e circondano strettamente il peduncolo. Essi sono così disposti in modo da soffrire la minor possibile resistenza nel penetrare nel suolo, benchè il diametro dell'infiorescenza sia ancora considerevole. Descriveremo ora i modi, coi quali si effettua questa penetrazione. Le infiorescenze possono sprofondarsi nella terra ordinaria dei giardini ed assai debolmente nella sabbia o nella cenere fina assai fortemente compressa. La profondità alla quale penetravano, misu-

(1) *Hist. Phys. des Pl. d'Europe*, t. II, 1841, p. 106.

rata dalla superficie alla base dell'infiorescenza, variava fra $^1/_4$ e $^1/_2$ poll.; in un caso essa sorpassava 0,6 poll. Una infiorescenza di una pianta conservata nella casa si sommerse parzialmente nella sabbia in 6 ore; dopo 3 giorni non si vedevano più all'esterno che le estremità dei calici volti indietro, e dopo 6 giorni, ogni infiorescenza era scomparsa. Ma crediamo, in seguito ad osservazioni da noi fatte, che per le piante esposte in pien'aria, il tempo necessario sia molto più breve.

Quando le infiorescenze si sono celate sotterra, i fiori centrali abortiti aumentano nella lunghezza e rigidità notevolmente e si rendono bianchi. Essi si curvano gradatamente, l'uno dopo l'altro, verso l'alto, ossia verso il peduncolo, come l'avevano fatto in principio i fiori perfetti. In questo movimento, le prominenze a uncini della sommità portano con sè una certa quantità di terra. È così che una infiorescenza che è rimasta sotto terra un tempo sufficiente, forma una palla di dimensioni abbastanza considerevoli; questa palla è composta di fiori abortiti, separati gli uni dagli altri dalla terra, e circondano le piccole cassule (prodotte da fiori perfetti) che si trovano poste intorno alla parte superiore del peduncolo e le chiudono strettamente. I calici dei fiori perfetti ed imperfetti sono coperti da peli semplici e multicellulari, che godono potere assorbente; infatti, se si collocano in una soluzione di carbonato d'ammoniaca (2 grani per un'oncia d'acqua), il loro contenuto protoplasmatico si contrae immediatamente e spiega in seguito i suoi lenti movimenti ordinari. Questo trifoglio cresce ordinariamente in un terreno secco, ma non sappiamo se il potere di assorbimento dei peli delle infiorescenze gli sia di una utilità qualsiasi. Assai poche delle infiorescenze che per la loro posizione non possono penetrare sotterra, pervengono a produrre dei semi, mentre quelle sotterrate hanno sempre, per quanto potemmo osservare, prodotto tanti semi quanti fiori vi erano perfetti.

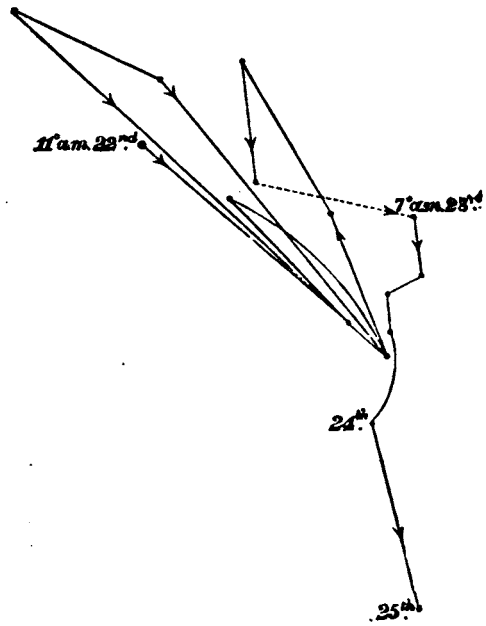
Osserveremo ora i movimenti del peduncolo durante il suo incurvamento sotto terra. Abbiamo visto (Cap. IV, fig. 92) che una giovane infiorescenza verticale circumnutava nettamente. Questo movimento continuava dopo che il peduncolo aveva incominciato ad inclinarsi verso il basso. Osservammo lo stesso peduncolo quando formava un angolo di 19° al disopra dell'orizzonte, e continuò a circumnutare per due giorni. Un altro che era già curvato di 36° al disotto dell'orizzonte, fu osservato dalle 11 del mattino del 22 luglio, al 27; a quest'ultima data pendeva verticalmente. La fig. 190 mostra il suo cammino durante le 12 prime ore, e la sua posizione nel corso delle tre mattine che seguirono, fino al 25; a quest'ultimo momento era quasi verticale. Durante il primo giorno il peduncolo circumnutava visibilmente, poichè si mosse 4 volte verso il basso e 3 volte verso l'alto; in ciascuno dei giorni seguenti, a misura che discendeva, lo stesso movimento continuava; ma non fu osservato senza interruzione: era meno accentuato. Bisogna dire che questi peduncoli erano osservati nella casa, sotto ad una doppia invetriata, e che il loro cammino generale verso il basso era molto più debole di quello dei peduncoli posti in pien'aria o nella serra.

Tracciammo ancora il movimento d'un altro peduncolo verticale, in cui l'infiorescenza era a 1/2 poll. al disopra del suolo, poi di nuovo al momento in cui i fiori toccarono terra. Nei due casi, erano descritte in 4 o 5 ore delle ellissi irregolari. Un peduncolo, preso sopra una pianta che era stata trasportata nella casa, andò in un solo giorno dalla verticale ad una posizione diametralmente opposta; e qui il cammino seguìto durante le 12 prime ore era quasi dritto, ma con alcuni zig-zag ben marcati, che manifestavano la natura essenziale del movimento. Infine tracciammo per 51 ore la circumnutazione di un peduncolo mentre s'immergeva obliquamente in un piccolo cumulo di sabbia. Quando giunse ad una profondità tale che rimasero visibili le sole estremità dei sepali, rilevammo per 25 ore la fig. 191. Quando l'infiorescenza fu completamente scomparsa sotto alla sabbia,

facemmo per 11 ore 45 m. un'altra traccia (fig. 192); vediamo ancora qui che il peduncolo circumnutava.

Chi osserva un'infiorescenza in via di sotterrarsi, è presto convinto che il movimento di rotazione dovuto alla continuazione del movimento circumnutante del peduncolo esercita un'influenza importante in quest'azione. Se consideriamo che le infiorescenze sono assai leggere, che i peduncoli sono lunghi, sottili, flessibili, e che sono portati da rami pure flessibili, ci è appena possibile di credere che un oggetto ottuso quanto una delle infiorescenze possa penetrare nel terreno mercè il solo accrescimento del peduncolo, se questo non è aiutato da un movi-

Fig 190.



Trifolium subterraneum : movimento del peduncolo, rilevato dalle 11 a. del 22 luglio alla mattina del 25. Filo di vetro fissato trasversalmente sul peduncolo alla base dell'infiorescenza.

Fig. 191.

Trifolium subterraneum : movimento di circumnutazione del peduncolo, finchè l'infiorescenza si nasconde nella sabbia, e le estremità dei sepali sono ancora visibili. Rilevato dalle 8 a. del 26 luglio alle 9 a. del 27. Filo di vetro fissato trasversalmente sul peduncolo presso all'infiorescenza.

Fig. 192.

Trifolium subterraneum : movimento del medesimo peduncolo, essendo l'infiorescenza completamente sotterrata nella sabbia. Rilevato dalle 8 del mattino del 29 luglio alle 7,15 della sera.

mento di rotazione. Quando l'infiorescenza è penetrata ad una piccola profondità nel suolo, entra in funzione un altro agente importante: i fiori centrali, abortiti e rigidi, terminati ciascuno da cinque lunghi uncini, si curvano verso il peduncolo; agendo in tal guisa non possono a meno di sotterrare l'infiorescenza ad una maggiore profondità; quest'azione è ancora aiutata dal movimento circumnutante, che continua anche quando il fiore è completamente seppellito. I fiori abortiti agiscono in certa guisa come le zampe della talpa, che cacciano la terra indietro, ed il corpo in avanti.

Si sa che le cassule di piante assai differenti, o si sprofondano sottoterra o sono prodotte da fiori imperfetti sviluppati al disotto della superficie. Oltre al caso di cui ci occupiamo, ne citeremo due altri caratteristici. È probabile che uno dei principali vantaggi ottenuti da questo movimento sia la protezione dei semi contro gli animali che potrebbero mangiarli. Nel *T. subterraneum,* i semi non sono soltanto

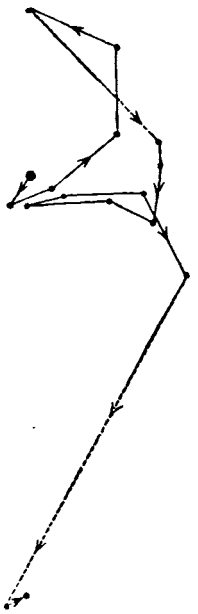
nascosti dal seppellimento, ma sono ancora protetti dai fiori abortiti, rigidi, che li circondano. Possiamo dire con fiducia che lo scopo ne sia la protezione, poichè i semi di parecchie specie di questo stesso genere sono protetti da mezzi differenti (1): dalla tumefazione e chiusura completa del calice, dalla persistenza ed incurvatura del vessillo, ecc. Ma il caso più curioso è quello che ci è offerto dal *T. globosum*, i cui fiori superiori sono sterili come quelli di *T. subterraneum*, ma si sviluppano qui in larghi mazzi di peli che circondano e proteggono i fiori fertili. Inoltre in tutti questi casi, le cassule ed i loro semi possono, come lo ha fatto osservare T. Thiselton Dyer (2), ottenere un vantaggio dal fatto che sono mantenuti in un certo stato d'umidità. Il vantaggio offerto da questa umidità è forse confermato dalla presenza di peli assorbenti nei fiori interrati di *T. subterraneum*. Secondo Bentham, citato da Dyer, la posizione pendente di *Helianthemum prostratum* mantiene le cassule in contatto con la superficie del suolo, ritarda la loro maturità, e permette così ai semi di raggiungere dimensioni maggiori. Le cassule di *Cyclamen* e d'*Oxalis acetosella* non sono sotterrate che qualche volta, e soltanto sotto il musco o le foglie morte. Se è un vantaggio per una pianta che le sue cassule possano essere mantenute umide e fredde, rimanendo sotto il suolo, abbiamo qui il primo passo per il quale è stato acquistato il potere di penetrare sotterra, mediante il movimento universale di circumnutazione.

Arachis hypogæa. — I fiori che si seppelliscono sortono dai rami rigidi, alcuni pollici sopra terra, e sono verticali. Quando sono caduti, il ginoforo, porzione che sostiene l'ovario, raggiunge una lunghezza notevole, fino a 75 o 100 mm., e s'inchina perpendicolarmente verso il basso. Esso somiglia completamente ad un peduncolo, ma la sua estremità, che contiene gli ovuli, è liscia e puntuta, e non è da principio punto allargata. L'estremità, dopo aver raggiunto il suolo, vi si sprofonda; in un caso da noi osservato raggiunse una profondità di mm. 25; in un altro caso, mm. 17. Si sviluppa allora in un largo baccello. I fiori situati troppo alti sulla pianta, perchè il ginoforo possa raggiungere il suolo, per quanto si riferisce (3), non producono mai dei baccelli.

Rilevammo per 46 ore il movimento di un giovane ginoforo, lungo un poco più di mm. 25, che pendeva verticalmente; il filo di vetro, coi suoi punti di segnale era fissato trasversalmente un po' al disopra dell'estremità. Circumnutava perfettamente (fig. 193) nello stesso tempo che si allungava e s'inclinava verso il basso. Fu allora rialzato in modo da trovarsi circa orizzontale, e la parte terminale si curvò verso il basso, seguendo un cammino quasi retto per 12 ore, ma con una tendenza alla circumnutazione (vedi fig. 194). Dopo 24 ore era quasi verticale. Non potemmo determinare, se la causa di questo movimento di discesa fosse il geotropismo o l'afeliotropismo. Non sarà probabilmente l'afeliotropismo, poichè tutti i ginofori crescevano direttamente verso terra, mentre che la luce penetrava nella serra tanto di fianco che dall'alto. Un altro ginoforo più vecchio, la cui estremità toccava quasi il suolo, fu osservato per tre giorni nello stesso modo di quello di cui abbiamo parlato, e lo si trovò continuamente in circumnutazione. Nel corso delle prime 34 ore descrisse una figura che rappresentava quattro ellissi. Infine un lungo ginoforo di cui l'estremità era già penetrata nel terreno per una lunghezza di circa 1/2 poll., fu estratto e disteso orizzontalmente; esso cominciò a curvarsi fortemente verso il basso, seguendo una linea a zig-zag; ma il

(1) VAUCHER, *Hist. Phys. des Pl. d'Europe*, t. II, p. 110.
(2) Vedi il suo interessante articolo nella *Nature*, aprile 1878, p. 416.
(3) *Gard. Chronicle*, 1857, p. 566.

Fig. 193.



Arachis hypogæa: circumnutazione di un giovane ginoforo verticale, rilevata sopra un vetro verticale dalle 10 del mattino del 31 luglio alle 8 del mattino del 2 agosto.

Fig. 194.

Arachis hypogæa: movimento di discesa del medesimo giovane ginoforo, disteso orizzontalmente. Rilevato sopra un vetro verticale dalle 8,30 a. del 2 agosto alle 8,30 della sera.

giorno successivo la porzione terminale imbianchita era divenuta alquanto avvizzita. Siccome i ginofori sono rigidi ed escono dai rami duri, e siccome sono inoltre terminati da punte acute e liscie, è probabile che potrebbero penetrare nel terreno per la sola forza del loro accrescimento. Ma tale azione deve essere ancora aiutata dal movimento circumnutante, giacchè quando veniva compressa della sabbia umida e fina intorno all'estremità di un ginoforo che aveva raggiunto il suolo, trovammo in capo a qualche ora quest'ultimo circondato da una piccola fenditura. Dopo 3 settimane, questo ginoforo messo allo scoperto mostrava la sua estremità, profonda un po' più di 1/2 poll., sviluppata in un piccolo baccello bianco ed ovale.

Amphicarpæa monoica. — Questa pianta porta dei rami lunghi e sottili, che si ravvolgono intorno ad un sostegno, e per conseguenza circumnutano. Al principio della state, dei rami più brevi escono dalle parti inferiori della pianta, si curvano verso il basso, e penetrano nel suolo. Vedemmo uno di essi, terminato da una piccola gemma, penetrare nella sabbia per 5 mm. in 24 ore. Fu scoperto e fissato in

una posizione inclinata di 25° sotto all'orizzonte, esso era debolmente rischiarato dall'alto. In questa posizione, descrisse due ellissi verticali in 24 ore, ma il giorno dopo, quando fu trasportato nella casa, non circumnutava che assai poco intorno ad uno stesso punto. Vedemmo altri rami penetrare nel suolo e trovammo in seguito che scorrevano sotto alla superficie, per una lunghezza di circa 2 poll. a modo di radici e s'erano ingrossati. Uno di essi, dopo questo percorso sotterraneo, si era nuovamente mostrato all'aria. Fino a qual punto la circumnutazione aiuti questi rami delicati a penetrare nel suolo, non lo sappiamo, ma ne vengono certamente aiutati dai peli incurvati di cui sono coperti. Questa pianta produce frutti aerei ed altri sotterranei, il cui aspetto è assai differente. Asa Gray dice (1) che sono i fiori imperfetti dei rami rampicanti basilari che producono dei frutti sotterranei. Questi fiori devono dunque seppellirsi come quelli d'*Arachis*. Ma si può ritenere che i rami che abbiamo visti penetrare nel terreno producano pure dei fiori e dei frutti sotterranei.

DIAGEOTROPISMO.

Oltre il geotropismo e l'apogeotropismo, havvi, secondo Frank, un'altra forma di movimento, « *geotropismo trasversale* » o *diageotropismo*, come lo possiamo nominare per usare un termine analogo a quelli che abbiamo già adottati. Sotto l'influenza della gravitazione, alcuni organi sono portati a collocarsi più o meno trasversalmente, in relazione alla direzione di questa forza (2). Non abbiamo fatto in proposito nessuna osservazione; così ci contenteremo di far qui notare, che la posizione delle radici secondarie di diverse piante che si estendono orizzontalmente, o s'inclinano un poco verso il basso, sarà probabilmente considerata da Frank come dovuta al geotropismo trasversale. Siccome abbiamo dimostrato nel capitolo I, che le radici secondarie di Cucurbita lasciano delle traccie ondulose sopra delle lamine inclinate di vetro annerito, è evidente che questi organi circumnutano visibilmente, e non si può dubitare che questo fatto si produca nelle altre radici secondarie. Pare dunque assai probabile che si pongano nella loro posizione diageotropica mediante modificazioni nel loro movimento circumnutante.

Infine possiamo concludere dicendo, che i tre modi di movimento che abbiamo descritti, e sono eccitati dalla gravitazione, risultano quali modificazioni del movimento circumnutante. Diverse parti e differenti organi della stessa pianta, ed il medesimo organo in specie diverse, subiscono in modo assai vario l'azione della gravità. Non possiamo trovare alcuna ragione che spieghi, perchè la gravità mo-

(1) *Manual of the Botany of the Northern United States*, 1856, p. 106 (*Manuale di Botanica per gli Stati Uniti del Nord*).

(2) ELFVING descrisse recentemente (*Arbeiten des Bot. Instituts*. in *Würzburg*, 1880, B. II, p. 489) un bellissimo esempio di questo movimento nei rizomi di alcune piante.

difichi lo stato di turgescenza e l'accrescimento interno d'un organo sulla sua superficie superiore, e quelli di un altro organo sulla sua faccia inferiore. Siamo dunque autorizzati a dire, che i movimenti, tanto geotropici che apogeotropici e diageotropici, di cui possiamo generalmente comprendere lo scopo finale, sono stati acquistati, per il bene della pianta, dalla modificazione del movimento universale di circumnutazione. Ciò però implica che la gravitazione produca sui giovani tessuti un effetto sufficiente per servire di guida alla pianta.

CAPITOLO XI.

LOCALIZZAZIONE DELLA SENSIBILITÀ ALLA GRAVITÀ E TRASMISSIONE DEI SUOI EFFETTI.

Considerazioni generali. — *Vicia faba:* effetti ottenuti tagliando l'estremità delle radichette. — Rigenerazione di queste estremità. — Effetti ottenuti esponendo per breve tempo le estremità delle radichette all'azione geotropica, e tagliandole in seguito. — Effetti ottenuti tagliandole obliquamente. — Effetti della loro cauterizzazione. — Effetti di un rivestimento di grasso delle radichette. — *Pisum sativum:* estremità delle radichette cauterizzate trasversalmente sulle faccie superiori ed inferiori. — *Phaseolus:* cauterizzazione delle radichette ed applicazione di un corpo grasso. — *Gossypium.* — *Cucurbita:* cauterizzazione trasversale delle faccie superiore ed inferiore. — *Zea:* cauterizzazione delle estremità. — Osservazioni finali e riassunto. — Vantaggi della localizzazione della sensibilità geotropica nell'estremità radiculare.

Ciesielski dice (1) che quando le radici di *Pisum*, di *Lens* e di *Vicia* sono distese orizzontalmente dopo che è stata tagliata la loro estremità, esse non subiscono l'azione geotropica; ma, alcuni giorni dopo, quando si sono formati una nuova piloriza ed un nuovo punto vegetativo, s'inclinano perpendicolarmente in basso. Dice più avanti, che se l'estremità è tagliata dopochè la radichetta è rimasta qualche tempo distesa orizzontalmente, ma prima ch'essa abbia cominciato a curvarsi, si può collocarla in una posizione qualsiasi, e l'incurvatura si produce come se ancora subisse l'azione geotropica: ciò mostra che dall'estremità alla parte basilare è già stata trasmessa una certa eccitazione prima dell'amputazione. Sachs ha ripetuto queste esperienze; egli ha tagliato, sopra lunghezze da mm. 0,05 a 1 mm. (misurate dall'estremità del punto vegetativo), la punta delle radichette di *Vicia faba*, ha collocato queste radichette orizzontalmente o verticalmente nell'aria umida, nella terra, o nell'acqua, e le ha viste curvarsi in tutte le direzioni (2). Ei dubitò quindi dei risultati ottenuti da Ciesielski. Ma siccome abbiamo già visto che in parecchie piante l'estremità della radichetta è sensibile al contatto ad agli altri eccitanti, e ch'essa trasmette alla parte superiore in via d'accrescimento l'eccitazione ricevuta, determinando la di lei incurvatura, ci pareva, *a priori*, esservi delle forti probabilità in favore delle affermazioni di Ciesielski. Ci deci-

(1) *Abwärtskrümmung der Wurzel*, Dissert. inaug., Breslau 1871, p. 29.
(1) *Arbeiten des Bot. Inst. in Würzburg*, Heft. III, 1873, p. 432.

demmo dunque di ripetere le sue esperienze, ed a tentarne delle altre sopra parecchie specie seguendo differenti metodi.

Vicia faba. — Delle radichette di questa pianta furono fissate orizzontalmente, sia al disopra dell'acqua, sia in modo che la loro faccia inferiore fosse in contatto con essa. Le loro estremità erano state tagliate prima, in una direzione al più possibile trasversale, sopra differenti lunghezze, misurate dall'estremità della piloriza, e che specificheremo ogni volta. L'entrata della luce era sempre stata evitata. Avevamo prima esperimentato sopra centinaia di radichette intatte poste nelle medesime condizioni, e le vedemmo sempre perfettamente eliotropiche in capo a 12 ore. In 4 radichette, le cui estremità erano state tagliate sopra una lunghezza di mm. 1,5, dopo un intervallo di tre giorni e 20 ore si erano formate delle nuove pilorize e dei nuovi punti vegetativi. In qualche altra occasione, questa rigenerazione delle estremità e la riapparsa della loro sensibilità si riprodussero in un tempo alquanto più breve. Bisognava dunque osservare da 12 a 48 ore dopo l'operazione le radichette, la cui estremità era stata tagliata.

Furono distese orizzontalmente quattro radichette, in modo che la loro faccia inferiore toccasse la superficie dell'acqua; le loro estremità erano state tagliate sopra una lunghezza di mm. 0,5 soltanto: dopo 23 ore, tre di esse erano ancora orizzontali; dopo 47 ore, una delle tre divenne debolmente geotropica, e dopo 70 ore, le due altre mostravano delle traccie di quest'azione. La quarta radichetta dopo 23 ore era verticalmente geotropica. Ma in causa di un accidente era stata staccata la sola piloriza e non il punto vegetativo, per cui questo caso non costituiva una vera eccezione, e non ne dobbiamo tener conto.

Cinque radichette furono distese orizzontalmente come le precedenti, e le loro estremità vennero tagliate sopra una lunghezza di mm. 1; dopo 22-23 ore, 4 di esse erano ancora orizzontali, ed una leggermente geotropica; dopo 48 ore, l'ultima era divenuta verticale; una seconda era pure un poco geotropica; due rimasero circa orizzontali; infine l'ultima aveva germogliato in modo anormale, e si era elevata sopra l'orizzonte ad un angolo di 65°.

Quattordici radichette furono distese orizzontalmente un poco al di sopra dell'acqua; le loro estremità erano tagliate sopra una lunghezza di mm. 1,5; dopo 12 ore erano tutte ancora orizzontali, mentre cinque esemplari di controllo, posti nello stesso vaso, erano fortemente curvati in basso. Dopo 24 ore, parecchie delle radichette tagliate si trovavano ancora orizzontali, ma alcune mostravano delle traccie di geotropismo; una era pure perfettamente geotropica, poichè la sua incurvatura sotto l'orizzonte raggiungeva 40°.

Sette radichette distese orizzontalmente, e di cui l'estremità era stata tagliata sopra una lunghezza di mm. 2, non furono disgraziatamente osservate prima di 35 ore; a questo momento tre erano ancora orizzontali, ma con nostra grande sorpresa, quattro erano più o meno geotropiche.

Nei casi seguenti le radichette furono esaminate prima dell'amputazione delle loro estremità, ed in 24 ore si erano tutte notevolmente allungate; non è però necessario che diamo qui le misure prese. È più importante di sapere che secondo le ricerche di Sachs, la celerità dell'accrescimento delle diverse parti è la stessa nelle radichette amputate ed in quelle lasciate incolumi. Furono contemporaneamente trattate 29 radichette come le precedenti, ed in 24 ore alcune soltanto accusarono delle traccie di geotropismo, mentre le radichette intatte si curvarono sempre notevolmente in basso in metà tempo, come fu già esposto. La parte della radichetta che s'incurva più fortemente si trova a 3 a 6 mm. dall'estremità, e siccome

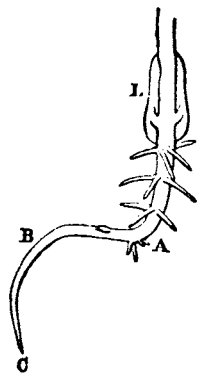
dopo l'operazione la porzione che si curva continua a crescere, non sembrava esservi alcuna ragione perchè non subisse l'azione geotropica, a meno che l'incurvatura non dipendesse da una influenza trasmessa dall'estremità. Le esperienze di Ciesielski mettono in piena evidenza questa trasmissione; noi le abbiamo ripetute ed amplificate nel modo seguente:

Furono poste delle fave nella torba friabile coll'ilo rivolto in basso, e quando le loro radichette ebbero raggiunto, germogliando perpendicolarmente, una lunghezza di $^1/_2$ ad 1 pollice, ne scegliemmo 16 perfettamente diritte che disponemmo orizzontalmente nella torba, coperte di uno strato sottile. Le lasciammo così per 1 ora e 37 minuti in media. Le estremità furono allora tagliate *trasversalmente* sopra una lunghezza di mm. 1,5, e subito dopo, le riponemmo verticalmente nella torba. In questa posizione, il geotropismo non poteva determinare alcuna incurvatura. Ma, se era già stata trasmessa una influenza qualsiasi dall'estremità alla parte che si curva più fortemente, potevamo attenderci di vedere incurvarsi questa parte nella direzione dell'azione geotropica anteriore, giacchè bisogna notare che queste radichette, ora private della loro sensibilità, non erano impedite dal geotropismo a curvarsi in una direzione qualsiasi. Ne risultò che delle 16 radichette piantate verticalmente, quattro continuarono per più giorni a crescere in basso, mentre dodici si curvarono più o meno lateralmente. In due di queste dodici si potè scorgere una traccia d'incurvatura dopo 3 ore e 30 minuti, a contare dal momento in cui esse erano state poste orizzontalmente; tutte e 12 erano completamente curve in 6 ore, ed anche meglio in 9 ore. In ciascuna di esse l'incurvatura era diretta verso la faccia che guardava in basso, mentre le radichette trovavansi orizzontali. Essa si estende ad una distanza di 5 ad 8 mm., a partire dall'estremità della piloriza. Delle 12 radichette incurvate, 5 acquistarono una incurvatura permanente ad angolo retto; le 7 altre erano dapprima molto meno curve, e dopo 24 ore tale incurvatura decrebbe, ma senza scomparire del tutto. Questa diminuzione deve naturalmente prodursi, se una esposizione di un'ora e 37 minuti al geotropismo non serve che a modificare la turgescenza delle cellule, ma non l'accrescimento susseguente fino alla loro completa distensione. Le cinque radicette che si erano curvate ad angolo retto rimasero fissate in questa direzione e continuarono a crescere orizzontalmente nella torba sopra una lunghezza di 25 mm. circa, per 4 a 6 giorni. Durante questo tempo, erano nate delle altre estremità, e bisogna notare che tale rigenerazione si produceva più lentamente nella torba che nell'acqua, forse perchè le nostre numerose osservazioni modificavano le condizioni normali della radice. Quando furono rigenerate le estremità, il geotropismo potè agire sopra di esse, che s'inclinarono nuovamente verso il basso. Diamo nella fig. 195 uno schizzo fedele di una di queste cinque radichette, ridotta alla metà della sua grandezza naturale.

Sperimentammo in seguito per vedere se una breve esposizione delle radichette all'azione geotropica potesse essere sufficiente per produrre un effetto continuato. Sette radichette furono distese orizzontalmente per un'ora in luogo di un'ora e 37 m. come le precedenti; e dopo l'amputazione delle loro estremità (sopra una lunghezza di mm. 1,5), furono poste verticalmente nella torba umida. Di queste 7 radichette 3 non furono impressionate affatto, e continuarono tutta la giornata a svilupparsi in linea retta verso il basso. Quattro, dopo 8 ore e 30 min., mostravano una traccia distinta d'incurvatura, nella direzione nella quale aveva agito precedentemente il geotropismo; sotto questo riguardo, esse differivano molto da quelle che erano state esposte per un'ora e 37 m., giacchè la maggior parte di queste ultime erano intieramente curvate in capo a 6 ore. L'incurvatura di una di queste quattro radichette scomparve completamente dopo 24 ore. Nella seconda, l'incurvatura aumentò per due giorni, poi diminuì. La terza rimase sempre curva, di guisa che

la sua parte terminale faceva un angolo di 45° con la direzione verticale primitiva. La quarta radichetta divenne orizzontale. Queste due ultime continuarono per due giorni di più a svilupparsi nella stessa direzione, cioè a dire secondo un angolo di 45° sotto all'orizzonte, ed orizzontalmente. Nella mattina del quarto giorno si erano formate delle nuove estremità, ed il geotropismo poteva nuovamente agire; esse divennero allora perpendicolari, esattamente come le cinque radichette descritte nel paragrafo precedente, come lo mostra la fig. 195.

Fig. 195.



Vicia faba: Radichetta curvata rettangolarmente in A, dopo l'amputazione dell'estremità, in causa dell'effetto anteriore del geotropismo; L, lato della fava che giace sulla torba, quando il geotropismo agisce sulla radichetta; A, sede principale dell'incurvatura, quando la radichetta è verticale; B, sede principale dell'incurvatura dopo la rigenerazione dell'estremità; C, estremità rigenerata.

Finalmente cinque altre radichette furono trattate nello stesso modo, ma non si esposero che 45 min. all'azione del geotropismo. Dopo 8 ore 30 min. una sola era impressionata in modo dubbio; dopo 24 ore due erano curvate appena apprezzabilmente verso il lato sul quale aveva agito il geotropismo; dopo 48 ore quella che abbiamo nominata la prima aveva un raggio d'incurvatura di 60 mm. Questa incurvatura era dovuta all'azione esercitata dal geotropismo quando la radichetta era orizzontale, ciò che ci venne dimostrato 4 giorni dopo, quando apparve una nuova estremità che crebbe perpendicolarmente in basso. Questo caso ci mostra che quando le estremità sono tagliate dopo una esposizione di 45 minuti soltanto al geotropismo, benchè l'influenza trasmessa alle parti vicine della radichetta sia talvolta assai debole, è però sufficiente per produrre una incurvatura moderatamente pronunciata.

Nelle esperienze esposte sopra 29 radichette distese orizzontalmente, cui erano stati tagliati gli apici, una soltanto ebbe un accrescimento irregolare ben marcato, e si curvò verso l'alto ad un angolo di 65°. Nelle esperienze di Ciesielski, le radichette non possono essersi sviluppate molto regolarmente, giacchè se ciò fosse accaduto, egli non avrebbe potuto parlare con sicurezza della scomparsa completa dell'azione geotropica. È pure da notare che Sachs, che esperimentò sopra un gran numero di radichette le cui estremità erano tagliate, ebbe come risultato ordinario un gran disordine nell'accrescimento. Siccome delle radichette ad estremità tagliate, distese orizzontalmente, subiscono spesso in grado insensibile l'azione del geotropismo per un breve periodo, e talvolta in modo manifesto dopo un giorno o due, ritenemmo che tale influenza potesse aver impedito ogni turbamento nella crescenza, benchè non fosse capace di determinare una incurvatnra immediata. Per conseguenza, 13 radichette, di cui 6 avevano le loro estremità tagliate trasversalmente sopra una lunghezza di mm. 1,5, le altre 7 sopra una lunghezza di mm. 0,1 soltanto, furono sospese verticalmente nell'aria umida; esse non potevano, in questa posizione, essere impressionate dal geotropismo; ma non mostrarono alcuna grande irregolarità di accrescimento durante i 4 o sei giorni dell'osservazione. Ritenemmo allora che se non si prendevano precauzioni tagliando le estremità trasversalmente, uno dei lati del taglio avrebbe potuto essere irritato più dell'altro, sia in principio, sia più tardi, durante la rigenerazione dell'estremità, ciò che avrebbe causato l'incurvatura della radichetta sopra un fianco.

Abbiamo pure dimostrato nel cap. III, che l'oblazione di un disco sottile da una faccia della radichetta poteva determinare la sua incurvatura in senso

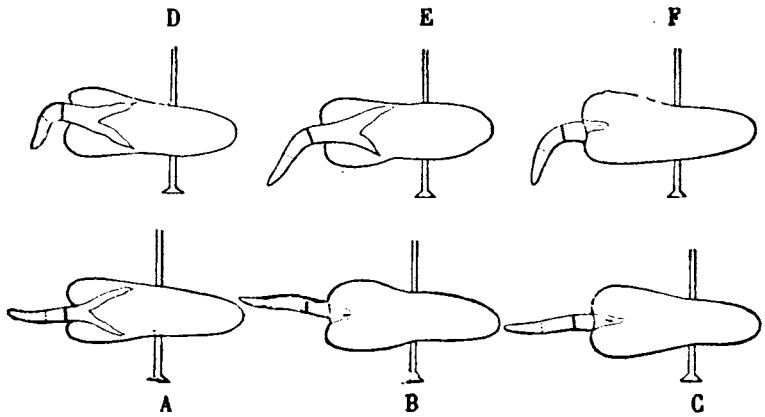
contrario. Seguendo questi criteri furono messe nell'acqua 30 radichette, le cui estremità erano state tagliate sopra una lunghezza di mm. 1,5. Venti di esse erano amputate ad un angolo di 20° con la linea trasversale sull'asse longitudinale; il taglio era dunque leggermente obliquo. Le dieci altre erano tagliate secondo un angolo di 45° circa. In queste circostanze, non vi furono meno di 19 radichette sopra 30 che si torsero fortemente in due o tre giorni. Undici altre radichette furono trattate nello stesso modo, ma con questa differenza che l'amputazione ebbe luogo ad 1 mm. soltanto dall'estremità (in questo e nei precedenti casi compresa la piloriza): su questo numero una soltanto fu torta molto, mentre due lo furono leggermente, questa amputazione non era dunque sufficiente. Delle 30 radichette sopranominate una o due soltanto mostravano una incurvatura in capo a 24 ore; ma nei diecinove casi questa si fece completa al secondo giorno, ed ancora più appariscente alla fine del terzo; a questo momento le estremità erano rigenerate o parzialmente o del tutto. Per conseguenza quando sopra un' amputazione obliqua si forma una nuova estremità, essa si sviluppa probabilmente più presto da una parte che dall'altra, ed in questo modo eccita la parte vicina a curvarsi sopra un lato. Appariva dunque probabile che Sachs avesse tagliato, senza volerlo, le radichette sulle quali operava, seguendo una direzione che non era rigorosamente trasversale.

Questa spiegazione dell'accrescimento irregolare di alcune radichette tagliate è ancora confermata dai risultati che si ottennero cauterizzando l'estremità; accade spesso infatti che si brucia o che si danneggia una maggiore lunghezza della radichetta da una parte che dall'altra. Bisogna notare che nelle esperienze che citeremo, le estremità delle radichette furono in principio asciugate con della carta bibula, poi leggermente toccate con un bastone secco di nitrato d'argento. Alcune volte che si tocchi basta per bruciare la piloriza ed alcuni strati di cellule al disopra del punto vegetativo. 27 radichette, di cui alcune erano giovani ed assai brevi, altre di lunghezza moderata, vennero sospese verticalmente sopra l'acqua dopo essere state cauterizzate. Su questo numero alcune entrarono nell'acqua immediatamente, ed altre al secondo giorno soltanto. Osservammo lo stesso numero di radichette intatte della stessa età, che dovevano servire di controllo. Dopo un intervallo di 3 o 4 giorni, il contrasto fra gli esemplari cauterizzati e gli altri, era grandissimo. Le radichette intatte erano cresciute dritte in basso, non presentando che l'incurvatura normale, da noi chiamata incurvatura di Sachs. Delle 27 radichette cauterizzate, 15 erano assai torte, 6 si erano sviluppate verso l'alto e formavano degli uncini, in guisa che la loro estremità veniva in contatto colla fava; 5 si erano sviluppate rettangolarmente da un lato, ed alcune soltanto di 12 altre erano affatto dritte, e talune, alla fine delle nostre osservazioni, si erano curvate ad uncino presso all'estremità. Delle radichette cauterizzate, distese orizzontalmente, e non verticali, ebbero pure un accrescimento irregolare; il fatto però, per quanto si poteva giudicare, non era così costante come per quelle sospese verticalmente; sopra 19 radichette così trattate non si produsse infatti che 5 volte.

In luogo di tagliare le estremità come nelle nostre prime esperienze, procurammo allora di toccare col caustico, usando le precauzioni esposte più sopra, delle radichette distese orizzontalmente; ma dobbiamo fare su questo proposito alcune osservazioni preliminari. Si può obbiettare che il caustico potrebbe danneggiare le radichette, ed impedire la loro incurvatura; ma noi abbiamo visto nel capitolo precedente, con molta evidenza che la cauterizzazione laterale delle estremità delle radichette verticali non impedisce la curvatura e che tale incurvatura si produce nel senso opposto alla parte cauterizzata. Procurammo pure di toccare contemporaneamente la faccia superiore e la faccia inferiore delle radichette di fava distese orizzontalmente nella terra umida. Le estremità di tre furono toccate

sulla faccia superiore, ciò che doveva aiutare l'incurvatura geotropica; le 3 altre nella faccia inferiore, ciò che doveva contrariare l'incurvatura verso il basso; tre rimasero intatte come controllo. Dopo 4 ore pregammo un osservatore disinteressato di scegliere fra le nove radichette quelle due nelle quali l'incurvatura era maggiore, e le due che avevano l'incurvatura più debole. Per queste ultime egli scelse due di quelle che erano state toccate alla faccia inferiore, e per le prime due di quelle che erano state toccate alla faccia superiore. Daremo più avanti i risultati di esperienze analoghe, ed ancora più spiccate, fatte sopra il *Pisum sativum* e *Cucurbita ovifera*. Possiamo dunque con tutta sicurezza affermare che l'applicazione di un caustico sull'estremità della radichetta non impedisce la sua incurvatura.

Fig. 196.



Vicia faba: stato di radichette che sono state distese orizzontalmente per 23 ore e 30 minuti. A, B, C, estremità cauterizzate; D, E, F, estremità intatte. La lunghezza delle radichette è ridotta di metà, ma per causa d'errore, le fave non hanno subìta la medesima riduzione.

Nelle esperienze che seguono toccammo appena col caustico le estremità delle giovani radichette distese orizzontalmente; il caustico fu mosso trasversalmente in modo che la cauterizzazione si estese intorno all'estremità, in modo simmetrico al più possibile. Le radichette furono allora sospese sopra l'acqua in un vaso chiuso in cui la temperatura era mantenuta abbastanza bassa (55°-59° F.). Trovammo infatti che le radichette erano più sensibili al contatto ad una temperatura piuttosto bassa che alta, e pensammo che la stessa regola doveva applicarsi al geotropismo. In un' esperienza eccezionale 9 radichette (un po' troppo vecchie perchè erano pervenute alla lunghezza di 3 a 5 cm.) furono distese orizzontalmente nella terra umida dopo la cauterizzazione delle loro estremità, e assoggettate ad una temperatura troppo alta (20° C.). Per conseguenza il risultato ottenuto non fu così spiccato che nei casi seguenti: tuttavia quando si esaminarono sei di esse, dopo 9 ore e 40 minuti non mostravano alcun indizio d'incurvatura geotropica; però dopo 24 ore, quando esaminammo le 9, due soltanto erano rimaste orizzontali, 2 mostravano alcune traccie di geotropismo, e 5 erano leggermente o moderatamente geotropiche, ma in modo che non erano confrontabili a quelle degli esemplari di controllo. Erano stati tracciati dei segni sopra 7 di queste radichette cauterizzate a 10 mm. dall'estremità, comprendendo tutta la porzione in via di accrescimento; dopo le 24 ore questa parte aveva una lunghezza media di 37 mm.; essa aveva dunque aumentato più di tre volte e mezza la sua lunghezza primitiva;

bisogna ricordarsi però che le fave erano esposte ad una temperatura abbastanza elevata.

Diecinove giovani radichette, le cui estremità erano cauterizzate, furono in tempi diversi distese orizzontalmente sopra l'acqua. In ogni esperienza osservammo un numero eguale di esemplari di controllo. La prima volta toccammo leggermente le estremità di 3 radichette col caustico per 6 o 7 secondi, era questa la durata più lunga per la quale, nelle nostre esperienze, lasciammo agire il caustico. Dopo 23 ore e 30 min. (temp. 55° a 56° F.) queste tre radichette A, B, C (fig. 196), erano orizzontali, mentre che i tre esemplari di controllo erano divenuti alquanto geotropici in 8 ore, e fortemente (D, E, F) in 23 ore 30 m. Era stato tracciato un punto sulle 6 radichette a 10 mm. dall'estremità, al principio dell'esperienza. Dopo le 23 ore 30 m. questa parte terminale, lunga in principio 10 mm. era pervenuta negli esemplari cauterizzati ad una lunghezza media di mm. 17,3 e a mm. 15,7 nelle radichette di controllo; ciò è indicato nella figura dalla linea trasversale continua, mentre che la linea a punti si trova tracciata a 10 mm. dall'estremità. Le radichette intatte di controllo avevano dunque avuto un accrescimento più debole di quelle cauterizzate; ma senza dubbio questo fatto era accidentale, poichè delle radichette di età diverse si sviluppano con celerità differenti e così pure l'accrescimento d'individui diversi è impressionato da cause incognite. Lo stato delle estremità di queste tre radichette, che erano state cauterizzate più a lungo del solito, era il seguente: l'estremità annerita, ossia la parte che era stata toccata dal caustico, era seguìta da una zona giallastra, dovuta probabilmente all'assorbimento di una parte del caustico; in A, le due zone unite misuravano mm. 1,1 di lunghezza, e mm. 1,4 di diametro alla base della zona giallastra; in B, la lunghezza non era che di mm. 0,7, ed il diametro di mm. 0,7; in C, la lunghezza era di mm. 0,8, ed il diametro di mm 1,2.

Tre altre radichette le cui estremità avevano subìto per 2 o 3 secondi il contatto del caustico, rimasero orizzontali per 23 ore (temp. 58° a 59° F.); naturalmente gli esemplari di controllo erano divenuti, durante questo tempo, completamente geotropici. La porzione terminale delle radichette cauterizzate in via d'accrescimento, che misurava 10 mm., era pervenuta, durante questo intervallo ad una lunghezza media di mm. 24,5; quella delle radichette di controllo a 26 mm. Un taglio di una delle estremità cauterizzate mostrò che la parte annerita aveva millim. 0,5 di lunghezza, di cui mm. 0,2 si estendevano sul punto vegetativo; si potevano trovare delle traccie di scoloramento fino a circa mm. 1,6 dall'estremità della piloriza.

In un altro gruppo di sei radichette (temp. 55° a 57° F.) i tre esemplari di controllo erano perfettamente geotropici in 8 ore mezza, e dopo 24 ore la lunghezza media della loro porzione terminale era pervenuta da mm. 10 a mm. 21. Quando fu applicato il caustico sui tre esemplari cauterizzati, esso vi fu lasciato senza muoverlo per 5 secondi, in guisa che le traccie nere erano minutissime. Il caustico fu dunque applicato una seconda volta, dopo 8 ore mezza, e durante questo tempo non si aveva potuto osservare alcuna azione geotropica. Quando le radichette vennero nuovamente esaminate dopo un altro intervallo di 15 ore $^1/_2$, una era orizzontale e le due altre mostravano, con nostra grande sorpresa, delle traccie di geotropismo, che poco dopo si fecero, in una di esse, assai marcate; ma in questo ultimo esemplare, l'estremità scolorata non misurava che $^2/_3$ di mm. di lunghezza. La porzione in via d'accrescimento di queste tre radichette si era accresciuta in 24 ore da mm. 10 a mm. 16,5 in media.

Sarebbe superfluo di descrivere in dettaglio il modo con cui si comportarono e dieci altre radichette cauterizzate. Gli esemplari di controllo divennero tutti

geotropici in 8 ore. Dei cauterizzati sei vennero dapprima esaminati dopo 8 ore, ed uno solo mostrò traccia di geotropismo; quattro furono esaminati dopo 14 ore, ed uno solo era geotropico leggermente. Dopo 23-24 ore, cinque dei dieci erano ancora orizzontali, quattro leggermente geotropici ed uno decisamente. Le radichette cauterizzate aumentarono molto in lunghezza, ma non crediamo qui utile di dare le misure prese.

Cinque delle ultime radichette cauterizzate, che abbiamo ora menzionato, essendo divenute qualche poco geotropiche in 24 ore, furono rovesciate (contemporaneamente alle tre che erano ancora orizzontali), di guisa che le loro estremità erano un po' rivolte verso l'alto, e furono di nuovo toccate col caustico. Dopo 24 ore, non mostravano alcuna traccia di geotropismo; al contrario, gli 8 esemplari di controllo corrispondenti, che erano pure stati rovesciati, in modo che le loro estremità guardassero lo zenit, divennero tutte geotropiche; alcune avevano in 24 ore descritto un angolo di 180°, altre un angolo di 135° circa, ed altre di 90° soltanto. Le otto radichette che erano state cauterizzate due volte furono osservate ancora per un giorno (ossia 48 ore dopo il loro rovesciamento); esse non mostravano ancora alcun segno di geotropismo. Però, continuavano a crescere rapidamente; quattro furono misurate 24 ore dopo di essere state rovesciate; esse avevano, durante questo tempo, aumentato da 8 a 11 mm.; le quattro altre furono misurate 48 ore dopo di essere state rovesciate, ed il loro accrescimento era di 20, 18, 23 e 28 mm.

Formulando le nostre conclusioni relativamente agli effetti della cauterizzazione sulle estremità delle radichette, dobbiamo ricordarci: 1°, che le radichette di controllo, distese orizzontalmente, subivano sempre l'azione del geotropismo e si curvavano in basso in 8 o 9 ore; 2°, che il fusto principale dell'incurvatura si trovava a 3-6 mm. dall'estremità; 3°, che questa era scolorata dal caustico sopra una lunghezza che sorpassava raramente 1 mm.; 4°, che il maggior numero di radichette cauterizzate, benchè assoggettate, tutto il tempo, alla piena influenza del geotropismo, rimanevano orizzontali per 24, e talvolta per un tempo doppio, e che quelle che si curvavano non lo facevano che in grado leggiero; 5°, che le radichette cauterizzate continuavano a crescere quasi così bene e talvolta egualmente bene come quelle intatte, e cioè lungo quella faccia che si curva di più; e infine che il contatto del caustico sull'estremità di una radichetta, lungi dall'impedire l'incurvatura, la produceva effettivamente. Se teniamo conto di tutti questi fatti dobbiamo concludere, che nelle condizioni normali l'incurvatura geotropica della radice è dovuta ad un'influenza trasmessa dall'estremità alle parti vicine dove si produce la curvatura, e che quando l'estremità della radice è cauterizzata, non è capace di produrre l'eccitazione necessaria perchè avvenga l'incurvatura geotropica.

Siccome osservammo che il grasso è dannoso a certe piante, volemmo esperimentare il suo effetto sulle radichette. Quando i cotiledoni di Phalaris e d'Avena erano coperti di grasso sopra una faccia, l'accrescimento di questa era completamente arrestato o fortemente ritardato, e siccome la faccia opposta continuava a crescere, i cotiledoni così trattati si curvavano verso il lato coperto di grasso. Questa stessa sostanza bruciava gl'ipocotili delicati e le giovani foglie di certe piante. La materia grassa da noi impiegata era composta di una mescolanza di nero fumo e d'olio d'oliva, di cui la consistenza era tale che non si poteva estenderla in strato grosso. Le estremità di 5 radichette di fava furono unte di questa materia sopra una lunghezza di 3 mm., e con nostra grande sorpresa questa parte pervenne in 23 ore ad una lunghezza di 7,1 mm., lo strato forte di grasso era stirato in modo curioso. Non poteva dunque avere ritardato molto, se pure l'aveva ritardato, l'accrescimento della parte terminale della radichetta. Avuto riguardo al geotropismo, le estre-

mità delle sette radichette distese orizzontalmente furono spalmate sopra una lunghezza di 2 mm., e dopo 24 ore non si poteva scorgere alcuna differenza netta fra la loro incurvatura e quella di un numero eguale di esemplari di controllo. Furono unte, in diverse occasioni, le estremità di 33 altre radichette sopra una lunghezza di 3 mm., e vennero confrontate con gli esemplari di controllo dopo 8,24 e 48 ore. In un caso, dopo 24 ore vi era una piccolissima differenza nell'incurvatura fra gli esemplari unti e quelli intatti; ma generalmente tal differenza era molto spiccata, e l'incurvatura degli esemplari spalmati di grasso era più debole. Fu misurata la parte in via di accrescimento (compresavi l'estremità unta di grasso) di sei di queste radichette: trovammo che in 23 ore era pervenuta da 10 mm. ad una lunghezza media di mm. 17,7, mentre che la porzione corrispondente degli esemplari intatti misurava allora mm. 20,8. Sembrava dunque che quantunque l'estremità stessa, quando era spalmata di grasso, continuasse a crescere, l'accrescimento dell'intera radichetta fosse però qualche poco ritardato, e l'incurvatura geotropica della parte superiore che non era coperta di grasso, fosse, nella maggior parte dei casi, considerevolmente ritardata.

Pisum sativum. — Cinque radichette distese orizzontalmente sopra l'acqua furono toccate leggermente all'estremità, in due o tre riprese, col caustico secco. Queste estremità vennero misurate in due casi, e la parte annerita si trovò misurare soltanto mm. 0,5. Cinque altre radichette si tennero come controllo. La porzione che si curva più fortemente sotto l'azione del geotropismo si trova ad una distanza di parecchi millimetri dall'estremità. Dopo 24 ore, poi dopo 32, quattro delle radichettte cauterizzate erano ancora orizzontali, ma una era affatto geotropica e faceva un angolo di 45° sotto all'orizzonte. I cinque esemplari di controllo erano leggermente geotropici dopo 7 ore, 20 m., e fortemente dopo 24 ore; formavano sotto all'orizzonte degli angoli di 59, 60, 65, 57 e 43°. La lunghezza delle radichette non fu misurata in tutti i casi, ma era manifesto che quelle cauterizzate avevano avuto un accrescimento assai forte.

Il caso seguente prova che l'azione del caustico, per se stesso, non impedisce l'incurvatura della radichetta. Dieci radichette furono distese orizzontalmente in uno strato grosso di torba friabile e umida; antecedentemente le loro estremità erano state cauterizzate alla faccia superiore. Dieci altre radichette poste nello stesso modo furono toccate sulla faccia inferiore, ciò che doveva tendere a farle curvare per allontanarle dal lato cauterizzato, ossia verso l'alto, in opposizione col geotropismo. Finalmente dieci radichette intatte rimasero per controllo. Dopo 24 ore, erano tutte geotropiche; le dieci cauterizzate alla faccia superiore erano pure geotropiche, e riteniamo che la loro incurvatura precedette quella degli esemplari di controllo. Le dieci che erano state cauterizzate alla faccia inferiore presentavano degli aspetti assai differenti: il n. 1 però era perpendicolarmente geotropico; ma ciò non costituisce una vera eccezione, poichè esaminando al microscopio, non trovammo alcun vestigio di cauterizzazione; era evidente che in seguito ad un errore questa radichetta non era stata toccata dal caustico. Il n. 2 era perfettamente geotropico, e formava un angolo di 45° sotto all'orizzonte; il n. 3 era geotropico leggermente ed il n. 4 lo era appena; i n^{i} 5 e 6 erano rigorosamente orizzontali; le quattro altre radichette erano alquanto curve verso l'alto, malgrado il geotropismo. In questi quattro casi, il raggio d'incurvatura (al ciclometro di Sachs) era di 5 mm., 10 mm., 30 mm. e 70 mm. Questa incurvatura era distinta molto prima delle 24 ore, ossia 8 ore, 45 m. circa dopo la cauterizzazione della faccia inferiore delle estremità delle radichette.

Phaseolus multiflorus. — Otto radichette che servivano di controllo furono distese orizzontalmente, alcune nella torba friabile, le altre nell'aria umida. Tutte diven-

nero affatto geotropiche in 8 ore, 30 m. (temp. 20°-21° C.); facevano allora un angolo medio di 63° sotto all'orizzonte. La parte della radichetta curvata dal geotropismo era più lunga che nella *Vicia faba*, poichè a partire dall'estremità della piloriza misurava 6 mm. Furono distese nello stesso modo nove altre radichette: tre nella torba umida, e sei nell'aria umida, e le loro estremità vennero cauterizzate trasversalmente per 4 o 5 secondi. Tre delle loro estremità furono esaminate più tardi: la 1ª era scolorata per una lunghezza di mm. 0,68; i mm. 0,136 della base erano giallastri, e la porzione apicale nera; nella 2ª la scolorazione si estendeva a mm. 0,65, ed i mm. 0,04 dalla base erano gialli; nella terza lo scoloramento si estendeva a mm. 0,6 e la tinta gialla a mm. 0,13. Il caustico dunque aveva influenza sopra una lunghezza minore di 1 mm., ma ciò bastava per annullare l'azione geotropica quasi completamente; dopo 24 ore infatti una sola delle nove radichette cauterizzate divenne leggermente geotropica, e formò un angolo di 10° sopra all'orizzonte; le 8 altre rimasero orizzontali, una di esse essendo però alquanto curvata lateralmente.

La parte terminale (lunga 10 mm.) delle sei radichette cauterizzate nell'aria umida aveva aumentata la sua lunghezza a più del doppio in 24 ore, giacchè questa parte misurava allora in media mm. 20,7. L'accrescimento in questo stesso tempo era più grande negli esemplari di controllo, poichè la loro parte terminale era pervenuta ad una lunghezza media di mm. 26,6. Ma siccome le radichette cauterizzate avevano più che raddoppiato di lunghezza nelle 24 ore, è manifesto che non erano state danneggiate dal caustico. Possiamo qui aggiungere che esperimentando gli effetti della cauterizzazione di un lato della radichetta, noi avevamo applicato in principio una quantità troppo grande di caustico, e l'estremità tutta intera (non crediamo che ciò fosse sopra una lunghezza maggiore di 1 mm.) di sei radichette orizzontali era stata bruciata: esse continuarono però per due o tre giorni a crescere orizzontali.

Facemmo parecchie esperienze, ungendo con un corpo grasso, da noi già descritto, le estremità delle radichette distese orizzontalmente. L'incurvatura geotropica in 12 radichette, precedentemente unte sopra una lunghezza di 2 mm., fu ritardata per 8 o 9 ore, ma dopo 24 ore era quasi così forte di quella degli esemplari di controllo. Le estremità di 9 radichette furono unte sopra una lunghezza di 3 mm., e dopo 7 ore, 10 m., facevano sotto l'orizzonte un angolo medio di 30°, mentre che l'angolo formato dagli esemplari di controllo era di 54°. Dopo 24 ore, i due gruppi, quanto al grado d'incurvatura, non differivano che assai poco. In alcune altre esperienze invece vi era una differenza ben marcata dopo 24 ore fra gli esemplari unti di grasso e quelli che servivano di controllo. La parte terminale di otto esemplari di controllo era pervenuta in 24 ore da 10 mm. ad una lunghezza media di mm. 24,3, mentre che la lunghezza media delle radichette unte di grasso era di mm. 20,7. Il grasso ritardava dunque un poco l'accrescimento della parte terminale, ma questa porzione non subiva danno ulteriore: infatti parecchie radichette che erano state unte sopra una lunghezza di 2 mm. continuarono a crescere per 7 giorni; esse non erano allora molto più brevi di quelle che servivano di controllo. L'aspetto presentato da queste radichette dopo i 7 giorni era assai curioso, poichè lo strato grasso, nero, era stato tirato in strie longitudinali assai fine, con punti e reticolazioni che coprivano la loro superficie sopra una lunghezza di 26 a 44 mm. Possiamo concludere che il grasso applicato sull'estremità della radichetta di questo *Phaseolus* impedisce e ritarda qualche poco l'incurvatura geotropica della parte che dovrebbe curvarsi più fortemente.

Gossypium herbaceum. — Le radichette di questa pianta s'incurvano sotto l'azione del geotropismo sopra una lunghezza di mm. 6 circa. Cinque radichette, poste

orizzontalmente nell'aria umida, furono toccate col caustico e la scolorazione si estese sopra una lunghezza da 2/3 di mm. ad 1 mm. Dopo 7 ore, 45 m. e di nuovo dopo 23 ore non mostrarono alcuna traccia di geotropismo, e tuttavia la porzione terminale, lunga 9 mm., era pervenuta ad una lunghezza media di mm. 15,9. Sei radichette di controllo, dopo 7 ore, 45 m., erano tutte completamente geotropiche, due erano verticali; dopo 23 ore, tutte erano verticali o quasi.

Cucurbita ovifera. — Un gran numero di esperienze apparve inutile per le cause seguenti. In primo luogo, le estremità delle radichette che erano divenute alquanto vecchie non avevano che un debole geotropismo, quando si mantenevano nell'aria umida; inoltre l'incurvatura non si produsse bene nelle nostre esperienze fintantochè le radichette non furono poste nella torba e mantenute ad una temperatura piuttosto elevata. Secondariamente gl' ipocotili dei semi che erano fissati con degli spilli sopra dei turaccioli si curvavano gradatamente, e siccome gl'ipocotili erano fissati, il movimento dell' ipocotilo simulava la posizione della radichetta e generava confusione. Finalmente la punta della radichetta, essendo assai fina, era difficile di non cauterizzarla troppo o troppo poco. Arrivammo però generalmente a vincere quest'ultima difficoltà, come lo mostrano le esperienze seguenti, che diamo per provare che la cauterizzazione di un lato dell'estremità non impedisce l'incurvatura della parte superiore della radichetta. Dieci radichette furono distese orizzontalmente nella torba umida, e le loro estremità cauterizzate alla faccia superiore. Dopo 8 ore, tutte erano completamente geotropiche, tre di esse rettangolarmente; dopo 19 ore, erano tutte fortemente geotropiche, e la maggior parte si dirigevano perpendicolarmente verso il basso. Dieci altre radichette, poste nello stesso modo, furono cauterizzate alla faccia inferiore; dopo 8 ore, tre erano alcun poco geotropiche, ma non molto di più che la meno geotropica delle radichette precedenti; quattro rimasero orizzontali e tre erano curvate verso l'alto, malgrado il geotropismo. Dopo 19 ore, le tre che erano poco geotropiche lo divennero fortemente. Delle quattro radichette orizzontali, una sola mostrava delle traccie di geotropismo: delle 3 curvate verso l'alto, una conservava questa incurvatura, e le due altre erano divenute orizzontali.

Le radichette di questa pianta, come l'abbiamo già fatto notare, non si sviluppano bene nell'aria umida; dobbiamo però dare brevemente il risultato di una delle nostre esperienze. Furono distese orizzontalmente nell'aria umida, con otto esemplari di controllo, nove giovani radichette lunghe da mm. 7,5 a mm. 12,5, cauterizzate all'estremità ed annerite sopra una lunghezza che non eccedeva 1/2 mm. Dopo un intervallo di 4 ore, 10 m. soltanto, tutti gli esemplari di controllo erano leggermente geotropici, mentre che nessuna delle radichette cauterizzate mostrava delle traccie di questa incurvatura. Dopo 8 ore, 35 m. vi era la stessa differenza fra i due gruppi, ma alquanto più marcata. Nel corso di questo tempo essi avevano aumentato in lunghezza considerevolmente. Però le radichette che servivano di controllo non si curvarono mai di più verso il basso, e dopo 24 ore quanto al grado di incurvatura non vi era grande differenza fra i due gruppi.

Otto giovani radichette di lunghezza circa eguale (0,36 poll. in media) furono collocate nella torba ed esposte ad una temperatura di 75 a 76° F. Le loro estremità erano state cauterizzate trasversalmente, e cinque di esse erano state annerite sopra una lunghezza di circa mm. 0,5, mentre che le tre altre erano scolorate in modo appena visibile. Nella stessa scatola stavano 15 radichette di controllo, la maggior parte lunghe 0,36 poll. circa; alcune però raggiungevano una lunghezza alquanto maggiore ed erano più vecchie, e per conseguenza meno sensibili. Dopo 5 ore le 15 radichette di controllo si mostravano più o meno geotropiche; dopo 9 ore, otto di esse erano curvate sotto all'orizzonte, seguendo angoli che variavano fra 45° e 90°; le 7 altre non dinotavano che un geotropismo assai debole: dopo 25 ore tutte erano

rettangolarmente geotropiche. Lo stato di otto radichette cauterizzate, dopo gli stessi intervalli, era il seguente: dopo 5 ore una sola si palesava leggermente geotropica, ed era una di quelle la cui estremità non era che debolmente scolorata; dopo 9 ore, questa radichetta era rettangolarmente geotropica, e due altre lo erano appena, queste erano le tre poco influenzate dal caustico; le 5 altre occupavano ancora una posizione strettamente orizzontale. Dopo 24 ore, 40 m. le tre le cui estremità non erano scolorate che poco, stavano curvate rettangolarmente; le cinque altre non erano impressionate affatto, ma parecchie avevano assunto un accrescimento abbastanza tortuoso, benchè sempre nel piano orizzontale. Le otto radichette cauterizzate che avevano in principio una lunghezza media di 0,36 poll. erano pervenute, dopo 9 ore, ad una lunghezza media di 0,79 poll. e dopo 24 ore, 40 m. alla straordinaria lunghezza di 2 poll. Rispetto alla lunghezza non vi era alcuna differenza spiccata fra le 5 radichette ben cauterizzate, che rimanevano orizzontali, e le tre le cui estremità erano leggermente cauterizzate, e che s'erano bruscamente curvate verso il basso. Alcune delle radichette di controllo furono misurate dopo 25 ore; la loro lunghezza media era alcun poco maggiore di quella delle radichette cauterizzate, ossia poll. 2,19. Vediamo così che la cauterizzazione dell'estremità della radichetta di questa pianta, sopra una lunghezza di circa mm. 0,5, benchè impedisse l'incurvatura geotropica della parte superiore, agiva appena sull'accrescimento dell'intera radichetta.

Nella stessa scatola dei 15 esemplari di controllo, di cui ora descrivemmo il rapido accrescimento e l'incurvatura geotropica, si trovavano 6 radichette, lunghe circa 0,6 poll., distese orizzontalmente, le cui estremità erano state tagliate trasversalmente sopra una lunghezza di 1 mm. circa. Queste radichette furono esaminate dopo 9 ore, poi dopo 24 ore, 40 m., e tutte rimasero orizzontali. Esse erano divenute tortuose molto meno di quelle cauterizzate che abbiamo descritte. Le radichette la cui estremità era stata tagliata ebbero nelle 24 ore, 40 m., per quanto si potè giudicare a colpo d'occhio, un accrescimento così rapido di quello degli esemplari cauterizzati.

Zea mays. — Le estremità di parecchie radichette, distese orizzontalmente nell'aria umida, furono asciugate con della carta bibula, poi toccate nella prima esperienza col caustico secco per 2 o 3 secondi; ma questo contatto era troppo lungo, giacchè le estremità furono annerite sopra una lunghezza un po' maggiore di 1 mm. Esse non mostrarono alcun segno di geotropismo dopo un intervallo di 9 ore; furono allora messe da parte. In una seconda esperienza, le estremità di 3 radichette furono toccate per un tempo più breve, e furono annerite sopra una lunghezza da mm. 0,5 a mm. 0,75; tutte rimasero orizzontali per 4 ore, ma dopo 8 ore, 30 m., una di esse, la cui parte annerita non aveva che mm. 0,5, era inclinata di 21° al disotto dell'orizzonte. Sei radichette di controllo erano tutte alquanto geotropiche dopo 4 ore, e lo erano fortemente dopo 8 ore, 30 m.; la sede principale dell'incurvatura si trovava generalmente a 6 o 7 mm. dall'estremità. Negli esemplari cauterizzati, la parte terminale in via d'accrescimento, lunga 10 mm., perveniva in 8 ore, 30 m., ad una lunghezza media di 13 mm.; questa lunghezza era di mm. 14,3 negli esemplari di controllo.

In una terza esperienza, le estremità di cinque radichette (esposte ad una temperatura di 70° a 71° F.) vennero toccate col caustico una sola volta ed assai leggermente; esse furono in seguito esaminate al microscopio; la parte scolorata aveva una lunghezza media di mm. 0,76. Dopo 4 ore, 10 m., nessuna era curvata; dopo 5 ore, 45 m., poi dopo 23 ore, 30 m., rimasero ancora orizzontali, ad eccezione di una, che era allora inclinata di 20° sotto all'orizzonte. La parte terminale, lunga 10 mm., nelle 23 ore e 30 m. si era fortemente accresciuta, ed aveva raggiunto una media di 26 mm. Quattro radichette che servivano di controllo divennero legger-

mente geotropiche dopo 4 ore, 10 m., e lo divennero in modo manifesto dopo 5 ore, 45 m. La loro lunghezza media dopo 28 ore, 30 m. si era accresciuta da 10 mm. a 31 mm. Per conseguenza una leggera cauterizzazione dell'estremità rallenta debolmente l'accrescimento di tutta la radichetta, ed arresta manifestamente l'incurvatura della parte che dovrebbe curvarsi sotto l'influenza del geotropismo, e che continua ancora ad aumentare fortemente in lunghezza.

Osservazioni finali. — Abbiamo addotto numerose prove per dimostrare che nelle diverse piante l'estremità radicolare soltanto è sensibile al geotropismo, e che se essa è in tale guisa irritata, determina l'incurvatura delle parti contigue. La lunghezza esatta della porzione sensibile sembra variare qualche poco, e dipendere in parte dall'età della radichetta; ma la distruzione di una lunghezza, anche inferiore a mm. 1 o 1,5, nelle diverse specie osservate, ha bastato per impedire per 24 ore ed anche per un tempo maggiore l'incurvatura di una parte qualunque della radichetta. Questa localizzazione della sensibilità nel solo apice è un fatto così notevole che crediamo di dover dare qui un breve riassunto delle esperienze precedenti. Si tagliarono a 29 radichette orizzontali di *Vicia faba* gli apici, e, fatta qualche eccezione, queste radichette non mostrarono alcuna traccia di geotropismo in 22 o 23 ore; nelle condizioni normali esse però non impiegavano che 8 o 9 ore per curvarsi completamente. Non bisogna dimenticare che questo semplice fatto di tagliare l'estremità di una radichetta orizzontale non impedirebbe l'incurvatura delle parti vicine, se la radichetta fosse stata, un'ora o due prima, esposta all'azione del geotropismo. L'estremità, dopo l'amputazione, talvolta si rigenera completamente in tre giorni; è pure possibile ch'essa possa, prima della sua completa rigenerazione, trasmettere un impulso alle parti vicine. Sei estremità radicolari di *Cucurbita ovifera* furono tagliate come quelle di *Vicia faba:* queste radichette non mostrarono, in 24 ore, nessuna traccia di geotropismo; però gli esemplari di controllo erano leggermente impressionati in capo a 5 ore, e lo erano assai dopo 9.

In piante appartenenti a sei generi distinti, l'estremità delle radichette fu toccata trasversalmente con un caustico secco; l'alterazione così prodotta si estendeva raramente a più di mm. 1, talvolta, giudicando dalla scolorazione assai leggera che l'accompagnava, era minore. Ritenemmo più vantaggioso distruggere il punto vegetativo che tagliarlo: sappiamo infatti, e dalle nostre numerose esperienze precedenti e da quelle che abbiamo indicate in questo capitolo, che la cauterizzazione dell'estremità sopra una delle sue faccie, invece che impedire l'incurvatura delle parti vicine, la determina. In tutti i casi che seguiranno, radichette le cui estremità erano intatte, vennero esaminate nello stesso tempo e nelle medesime condizioni, e sempre si curvarono prima che fosse trascorsa la metà o il terzo del tempo che durò l'osservazione. Nella *Vicia faba*, furono cauterizzate 19 radichette: 12 rimasero orizzontali per 23-24 ore, 6 erano leggermente geo-

tropiche ed una lo era fortemente. Otto di queste radichette furono in seguito voltate e cauterizzate di nuovo: nessuna di esse presentò in 24 ore il minimo segno di geotropismo; durante questo tempo, gli esemplari di controllo, egualmente rivolti, si curvarono fortemente in basso. Nel *Pisum sativum*, 5 radichette ebbero le loro estremità cauterizzate, e dopo 32 ore, 4 erano ancora orizzontali. Gli esemplari di controllo erano debolmente geotropici in capo a 7 ore 20 m., e lo erano assai dopo 24 ore. Le estremità di 9 altre radichette di questa pianta furono cauterizzate sulla faccia inferiore, e 6 rimasero orizzontali per 24 ore o si curvarono verso l'alto, malgrado il geotropismo; 2 erano poco geotropiche ed una lo era fortemente. Nel *Phaseolus multiflorus* furono cauterizzate 15 radichette, ed 8 rimasero orizzontali per 24 ore; al contrario, tutti gli esemplari di controllo erano curvati di molto in 8 ore 30 m. Sopra 5 radichette cauterizzate di *Gossypium herbaceum*, 4 rimasero orizzontali per 23 ore, ed una divenne leggermente geotropica; 6 radichette di controllo erano distintamente geotropiche in capo a 7 ore 45 m. Cinque radichette di *Cucurbita ovifera* rimasero orizzontali nella torba per 25 ore, e 9 nell'aria umida per 8 ore 30 m.; gli esemplari di controllo erano leggermente geotropici in capo a 4 ore 10 m. Cauterizzammo sulla loro faccia inferiore 10 estremità radicolari della stessa pianta: 6 rimasero 19 ore orizzontali o si rivolsero verso l'alto; 1 si mostrò poco eliotropica e 3 lo furono in grado significante.

Finalmente le estremità di parecchie radichette di *Vicia faba* e di *Phaseolus multiflorus* furono coperte di un notevole strato di grasso sopra una lunghezza di 3 mm. Questa materia, assai nociva per la maggior parte delle piante, non uccise punto le radichette e non arrestò il loro accrescimento; non fece che diminuire un poco la rapidità dell'accrescimento; essa turbava pure generalmente un poco l'incurvatura geotropica della parte superiore.

I diversi casi che precedono non avrebbero alcun significato se l'estremità stessa fosse la parte che s'incurva più fortemente; ma sappiamo che il *maximum* di accrescimento si trova sopra un punto lontano dall'estremità di alcuni millimetri, e che sotto l'influenza del geotropismo si è questa parte che si curva più fortemente. Non abbiamo alcuna ragione di credere che questa parte soffra per la morte o per il cattivo stato dell'estremità, ed è certo che quando la punta è stata distrutta, questa parte continua a crescere con una rapidità tale, che la sua lunghezza raddoppia spesso in un giorno. Abbiamo visto pure che la distruzione dell'estremità non impedisce l'incurvatura delle parti vicine, quando queste ultime abbiano prima ricevuto dall'estremità un'eccitazione. Nelle radichette distese orizzontalmente, la cui estremità è stata tagliata o distrutta, la parte che dovrebbe curvarsi più fortemente rimane immobile per parecchie ore od anche per più giorni, benchè esposta perpendicolarmente alla piena influenza del geotropismo: dobbiamo concludere che la sola estremità, sensibile a quest'azione, trasmette

l'eccitazione alle parti vicine, determinando la loro incurvatura. Abbiamo una prova diretta di questa trasmissione: infatti, quando una radichetta è stata distesa orizzontalmente durante un'ora od un'ora e mezza, tempo durante il quale la supposta influenza ha potuto giungere a piccola distanza dall'estremità, e che è allora tagliata la punta, la radichetta si curva più tardi benchè posta perpendicolarmente. Le porzioni terminali delle diverse radichette così trattate continuavano per qualche tempo a crescere nella direzione della curvatura nuovamente acquistata, giacchè una volta sprovviste di estremità, non potevano più subire l'influenza del geotropismo. Ma dopo tre o quattro giorni, quando si erano formati dei nuovi punti vegetativi, subendo le radichette nuovamente l'azione geotropica, si curvavano perpendicolarmente verso il basso. Per stabilire un confronto nell'altro regno vivente, supporremo che un animale, disteso a terra, abbia concepito l'intenzione di levarsi in una direzione perpendicolare, ma che essendo stata tagliata a questo punto la sua testa, l'impulso dato abbia continuato a percorrere lentamente i nervi fino ai muscoli, di guisa che dopo parecchie ore, l'animale decapitato si sia levato nella direzione determinata.

Siccome l'estremità della radichetta è stata trovata la parte più sensibile al geotropismo nelle famiglie ben distinte delle Leguminose, Malvacee, Cucurbitacee e Graminacee, possiamo concludere che questo carattere sia comune alle radici della maggior parte delle piante. Quando una radichetta penetra nel terreno, la sua estremità deve precedere; e noi possiamo giudicare dei vantaggi della sua sensibilità al geotropismo, ricordando ch'essa deve determinare la via da seguire dall'intera radice. Quando questa è sviata da un ostacolo sotterraneo, è pure un vantaggio prezioso che una lunghezza considerevole della radichetta possa curvarsi (tanto più che l'estremità stessa cresce lentamente e si curva poco), affinchè l'organo possa così riprendere più presto il cammino verso il basso. Ma sembrava, a prima vista, indifferente che questo risultato fosse ottenuto dalla sensibilità al geotropismo di tutta la parte in via d'accrescimento, o da un'influenza trasmessa esclusivamente col mezzo della radichetta. Dobbiamo però ricordarci che si è l'estremità che è sensibile al contatto degli oggetti duri, e che determina l'allontanamento della radichetta, guidandola così nel suolo seguendo le linee della minore resistenza. Ed ancora, è soltanto l'estremità che è sensibile, almeno in alcuni casi, all'umidità, e che determina l'incurvatura della radichetta verso la di lei sorgente. Queste due sorta di sensibilità sono per qualche tempo più forti del geotropismo che prevale più tardi. Dunque i tre generi di sensibilità devono spesso trovarsi in antagonismo; uno è più forte in principio, poi lo è l'altro; sarebbe un vantaggio, forse una necessità per l'accordo e l'equilibrio di queste tre sensibilità, ch'esse fossero tutte localizzate nello stesso gruppo di cellule che deve trasmettere i loro comandi al resto della radichetta e che determina la sua incurvatura verso la sorgente d'irritazione, o in senso contrario.

Finalmente, questo fatto che l'estremità sola è sensibile all'azione della gravità è importante per la teoria del geotropismo. Gli autori sembrano generalmente considerare l'incurvatura di una radichetta verso il centro della terra come il risultato diretto della gravità; si crede che questo agente modifichi l'accrescimento della faccia superiore e dell'inferiore, in modo da produrne l'incurvatura nella direzione voluta. Ma noi sappiamo ora che si è la sola estremità che subisce l'eccitazione, e che questa parte trasmette al resto della radichetta un'influenza che determina la di lei incurvatura verso il basso. La gravità non sembra di agire sopra una radichetta in modo più diretto che sopra un animale inferiore, che si muove quando sente un peso od una pressione qualsiasi.

CAPITOLO XII.

RIASSUNTO ED OSSERVAZIONI FINALI.

Natura del movimento circumnutante. — Storia di un seme in germinazione. — La radichetta esce in principio e si mette a circumnutare. — Sensibilità considerevole della sua estremità. — Uscita dal suolo dell'ipocotilo, e dell'epicotilo, in forma di arco. — Sua circumnutazione e quella dei cotiledoni. — La pianticella produce un fusto portante una vera foglia. — Circumnutazione di tutti gli organi o parti — Modificazioni del movimento circumnutante. — Epinastia ed ipo nastia. — Movimenti delle piante rampicanti. — Movimenti nictitropici. — Movimenti posti sotto l'influenza della luce e della gravità. — Localizzazione della sensibilità. — Somiglianze fra i movimenti delle piante e quelli degli animali. — L'estremità della radichetta agisce come un cervello.

Potrà esser utile per il lettore che riassumiamo brevemente le principali conclusioni, di cui abbiamo dimostrato, per quanto stava in noi, l'esattezza nel corso di quest'opera. Tutte le parti o tutti gli organi di una pianta, finchè dura il loro accrescimento, e alcuni organi provveduti di pulvino, dopo che quest'accrescimento si è arrestato, sono in continua circumnutazione. Questo movimento comincia perfino prima che la giovane pianticella sia uscita da terra. Per quanto si possono determinare, la natura del movimento e le cause sono state rapidamente descritte nell'introduzione. Non sappiamo perchè ogni parte di una pianta, durante il suo accrescimento, ed in alcuni casi, quando quest'accrescimento è arrestato, sia provveduta di cellule più turgescenti e di pareti cellulari più estensibili prima sopra una faccia, poi sull'altra, per determinare il movimento circumnutante. Pareva che questi cambiamenti nello stato delle cellule domandassero dei periodi di riposo.

In alcuni casi, come per gl'ipocotili di *Brassica*, le foglie di *Dionæa*, e gl'internodi delle Graminacee, il movimento circumnutante, visto sotto al microscopio, pareva consistere in numerosissime piccole oscillazioni. La parte che si osserva fa un salto brusco in avanti, sopra una lunghezza di 0,002 poll. o 0,001 poll., poi ritorna lentamente sui suoi passi, percorrendo una parte di questa distanza; alcuni secondi dopo, salta di nuovo bruscamente in avanti; ma questo fenomeno non si produce senza numerose intermittenze. Il movimento retrogrado pareva dovuto all'elasticità dei tessuti resistenti. Non sappiamo fino a qual punto sia diffuso questo movimento oscillatorio, giacchè non abbiamo osservato al microscopio che un piccolo numero di piante in circumnutazione; ma nella *Drosera* non ci è stato possibile di scoprire alcuna traccia di tale movimento con un obbiettivo di 2 pollici di cui ci servimmo. Il fenomeno è del resto dei più sorprendenti. L'intero

ipocotilo di un cavolo, o tutta la foglia di una *Dionæa* non poteva portarsi così bruscamente in avanti senza che un numero assai grande di cellule fosse simultaneamente impressionato sulla medesima faccia. Dobbiamo supporre che queste cellule divengano successivamente sempre più turgescenti sopra una faccia finchè la parte cede tutto ad un tratto incurvandosi (e bisognerebbe allora ammettere l'esistenza nella pianta di ciò che si potrebbe chiamare un microscopico terremoto); o che esse divengano tutte repentinamente turgescenti sopra una faccia, in modo intermittente, essendo allora ogni salto in avanti contrariato dall'elasticità dei tessuti ?

La circumnutazione è, per la vita della pianta, di una importanza suprema; si è infatti per le sue modificazioni che il vegetale acquista dei movimenti che gli sono benefici o necessarii. Se la luce batte sopra un lato di una pianta, o si alterna colla oscurità, o se la gravità agisce sopra una parte spostata, la pianta può, in modo ancora non conosciuto, accrescere la turgescenza sempre variabile delle sue cellule sopra una faccia; è così che il movimento ordinario di circumnutazione si modifica, e che l'organo s'inclina verso la sorgente d'eccitazione, o nel senso opposto; esso può anche occupare una posizione nuova, come nel così detto sonno delle foglie. L'influenza che modifica la circumnutazione si trasmette da una parte all'altra. Dei cambiamenti innati o costituzionali, indipendenti da ogni influenza esterna, vengono spesso a modificare il movimento circumnutante in certi periodi particolari della vita della pianta. Essendo la presenza della circumnutazione universale, possiamo comprendere come sia accaduto che dei movimenti della stessa natura abbiano potuto prodursi nei membri più distinti di tutta la serie vegetale. Non bisogna supporre però che tutti i movimenti delle piante sieno delle modificazioni della circumnutazione; vedremo infatti che vi sono delle ragioni per credere che non è così.

Dopo queste poche osservazioni preliminari, immaginiamo di prendere un seme che germogli, e consideriamo la parte che hanno nella vita della pianta i diversi modi del movimento. Il primo cambiamento che si produce nel seme è l'uscita della radichetta che comincia ben presto a circumnutare. Questo movimento è immediatamente modificato dalla gravità, e diviene geotropico. Supponendo dunque che il seme giaccia alla superficie del suolo, la radichetta s'inclina fortemente verso il basso, seguendo un cammino più o meno a spirale, come l'abbiamo visto sopra dei vetri anneriti. La sensibilità all'azione della gravità risiede nell'estremità, e si è questa che trasmette l'eccitazione alle parti vicine, determinando la loro incurvatura. Dacchè l'estremità, protetta dalla piloriza, raggiunge la superficie del suolo, se quest'ultimo è umido o friabile, vi penetra, il quale atto pareva aiutato dal movimento di rivoluzione, o di circumnutazione dell'estremità radicolare. Se la superficie compatta non si lascia penetrare facilmente, il seme stesso, nel caso in cui non sia troppo pesante, si trova spostato o sollevato dall'accrescersi

ed allungarsi della radichetta. Ma, in natura, i semi sono spesso coperti di terra o d'altre materie, essi cadono in crepacci, ecc., ciò che loro fornisce un punto di resistenza, e permette alla radichetta di penetrare agevolmente nel suolo. Ma anche per i semi che giacciono alla superficie, esiste un ausiliario di un'altra natura; molti peli assai fini, emessi dalla parte superiore della radichetta, s'attaccano fortemente alle pietre od agli altri oggetti che si trovano in prossimità; essi possono fissarsi anche sul vetro. È così che è trattenuta la parte superiore finchè la radichetta si sprofonda nel suolo. La fissazione dei peli radicolari si effettua con la liquefazione della superficie esterna cellulare delle cellule, e colla susseguente solidificazione della materia liquefatta. Questo curioso processo si produce, secondo ogni probabilità, non tanto per fissare la radichetta sugli oggetti superficiali, quanto piuttosto per portar i peli in intimo contatto colle particelle nel suolo, e permettere loro di assorbire lo strato d'acqua che circonda queste particelle, colle materie che tiene disciolte.

Quando la radichetta è penetrata ad una piccola profondità nel suolo, il suo spessore crescente unitamente ai peli radicolari la mantiene in posto, e allora la forza esercitata dall'accrescimento longitudinale della radichetta la porta ad una profondità maggiore. Questa forza, combinata a quella che proviene dall'accrescimento trasversale, permette alla radichetta di agire come un cuneo; anche una radice di sviluppo moderato, come quella di *Vicia faba*, può spostare un peso di parecchie libbre. Non è probabile che l'estremità, quando è chiusa nella terra compatta, possa circumnutare per rendere più facile la sua discesa; ma il movimento circumnutante deve aiutare la radichetta a penetrare in una fessura trasversale od obliqua, od in una cavità prodotta da un lombrico o da una larva, ed è poi certo che le radici penetrano assai di frequente nei vecchi fori dei lombrici. L'estremità procura dunque di circumnutare, e comprime alternativamente il suolo con tutte le sue faccie, ciò che deve essere di una grande utilità per la pianta. Abbiamo visto infatti, che quando erano fissati sulle faccie opposte dell'estremità radicolare dei piccoli pezzi di cartoncino e di carta assai sottile, l'intera parte in via di accrescimento era sollecitata ad assumere una curva per allontanarsi dal lato dove si trovava il cartone (cioè a dire la sostanza più resistente) per dirigersi verso la carta sottile. Possiamo dunque essere quasi certi, che se l'estremità incontra nel suolo una pietra od un altro ostacolo, od anche un terreno più resistente da una parte che dall'altra, la radice si scosterà al più possibile dall'ostacolo o dal suolo più compatto, e seguirà così infallibilmente una linea di minore resistenza.

L'estremità è più sensibile al contatto prolungato con un oggetto che all'influenza della gravità, se questa agisce obliquamente sulla radichetta, ed anche qualche volta se agisce nella direzione più favorevole, ossia perpendicolarmente. L'estremità sentiva l'influenza di una goccia di gomma lacca attaccata sopra di

essa, il cui peso era inferiore a mg. 0,33; essa è dunque più sensibile che il viticcio più delicato, quello, per es., di *Passiflora gracilis*, che è appena influenzato da un pezzo di filo di ferro pesante 1/50 di grano. Ma anche questo grado di sensibilità è poco apprezzabile se lo si confronta con quello delle ghiandole di Drosera, che sono eccitate da particelle il cui peso non raggiunge che 1/78740 di grano. La sensibilità dell'estremità radicolare non si saprebbe spiegare colla sottigliezza dei tessuti che la circondano, poichè è protetta da una piloriza relativamente grossa. Benchè la radichetta si allontani quando si tocchi leggermente la sua estremità con un caustico (ed è questo un fatto notevole), tuttavia se il danno causato dalla cauterizzazione è troppo grande, il potere di trasmettere l'eccitazione alle parti vicine va completamente perduto. Sappiamo che si possono trovare altri casi analoghi.

Quando una radichetta è stata deviata da un qualsiasi ostacolo, il geotropismo agisce per riportare l'estremità nella direzione della perpendicolare; ma il geotropismo non possiede una forza molto grande, e qui entra in azione, come lo ha provato il Sachs, un altro movimento di adattazione dei più interessanti. Le radichette, ad alcuni millimetri dalla loro estremità sono sensibili ad un contatto prolungato, e s'inclinano, sotto a quest'influenza, in modo da dirigersi verso l'oggetto che le tocca, in luogo di allontanarsi, come lo fanno quando il contatto ha luogo ad un lato della loro estremità. Di più, l'incurvatura così prodotta è brusca, e si estende soltanto alla parte eccitata. Per produrre questa incurvatura è sufficiente una pressione anche leggera, come quella esercitata da un pezzo di cartone posto sopra una delle faccie dell'organo. Per conseguenza, una radichetta, passando nel seno della terra sul bordo di un ostacolo, sarà compressa contro di esso dall'azione del geotropismo, e questa pressione determinerà la sua brusca incurvatura al di là del bordo. Essa dunque riprenderà più rapidamente che è possibile il suo cammino normale verso il basso.

Le radichette sono inoltre sensibili allo stato igrometrico, più o meno considerevole, dell'aria, ed esse s'inclinano verso il punto donde proviene l'umidità. È dunque probabile ch'esse sieno egualmente sensibili all'umidità del suolo. Abbiamo determinato, in parecchi casi, che questa sensibilità ha la sua sede nell'estremità, e che da questa si trasmette una eccitazione che determina l'incurvatura delle parti vicine verso l'oggetto umido, malgrado l'influenza del geotropismo. Possiamo concludere che le radici saranno deviate dal loro cammino normale dalla presenza, nel suolo, di una sorgente di umidità.

Finalmente la maggior parte delle radichette, o tutte, sono leggermente sensibili all'azione luminosa, e secondo Wiesner, s'inclinano in generale debolmente per allontanarsi dalla luce. È assai dubbio che questa sensibilità possa essere di qualche utilità per la pianta; però, quando i semi germogliano alla superficie del suolo, essa può aiutare qualche poco il geotropismo a far pene-

trare la radichetta nella terra (1). In un caso abbiamo riconosciuto che questa sensibilità risiede nell'apice ed indusse le parti vicine a deflettersi dalla luce. Le radichette subaeree osservate da Wiesner erano tutte afeliotropiche, proprietà che senza alcun dubbio è loro di una certa utilità portandole in contatto coi tronchi degli alberi, o colla superficie delle roccie, secondo il loro modo di vita.

Noi vediamo dunque che nelle pianticelle l'estremità radicolare è fornita di parecchie sorta di sensibilità, e che questa estremità trasmette alle parti vicine una eccitazione capace di determinare la loro incurvatura verso l'oggetto eccitante o nel senso opposto, secondo i bisogni della pianta. I lati della radichetta sono egualmente sensibili al contatto, ma in modo assai differente. La gravità, benchè la sua azione sia molto più debole di quella degli altri eccitanti, esercita un'influenza non interrotta; essa prevale pure sempre come ultima forza, e determina l'accrescimento della radichetta verso il basso.

La radichetta primaria emette delle radici secondarie che si spingono quasi orizzontalmente; vedemmo in un caso che tali radici secondarie circumnutavano. Le loro estremità sono pure sensibili al contatto, ciò che le porta ad allontanarsi dagli oggetti che incontrano; somigliano dunque sotto questo aspetto, per quanto potemmo osservare, alle radichette primarie. Sachs ha dimostrato che dopo di essere state spostate, riprendono la loro posizione primitiva suborizzontale, ciò che è probabilmente dovuto all'influenza del diageotropismo. Le radici secondarie emettono delle radici terziarie, ma, almeno nella fava, queste ultime non subiscono più l'influenza della gravitazione; esse si dirigono per conseguenza in tutti i sensi. È così che la disposizione generale delle radici di tre ordini è ammirabilmente adattata per la ricerca, in tutti i punti del suolo, delle particelle nutritive.

Sachs ha dimostrato che se si taglia l'estremità della radichetta primaria (e quest'estremità può talvolta essere distrutta nelle pianticelle in condizioni naturali), una delle radici secondarie si dirige perpendicolarmente in basso; questo fatto è analogo all'accrescimento perpendicolare in alto di uno dei rami laterali dopo l'amputazione del ceppo principale. Abbiamo visto, sopra le radici di fava, che se la radichetta primaria in luogo di essere amputata, è fortemente compressa in modo che un eccesso di succo sia diretto verso le radici secondarie, questo fatto è sufficiente per modificare le condizioni naturali proprie a queste ultime, e determinare il loro accrescimento in basso. Abbiamo del resto indicato parecchi altri fatti della stessa natura. Siccome tutto ciò che modifica le condizioni normali di un organo tende a promuovere la regressione, ossia a far riapparire un carattere primitivo, sembra probabile che quando delle radici secondarie si dirigano in basso,

(1) Il Dr. KARL RICHTER, che ha trattato in modo speciale questo soggetto (*K. Akad. der Wissenschaften in Wien*, 1879, p. 149), stabilì che l'afeliotropismo non aiuta le radichette a penetrare nel suolo.

o dei rami laterali in alto, questi organi ritornino al modo primitivo di accrescimento proprio alle radici od ai rami.

Nei semi dicotiledoni, dopo l'uscita della radichetta, l'ipocotilo rompe gl'involucri seminali; ma se i cotiledoni sono ipogei, si è l'epicotilo che esce il primo. Questi organi sono in principio invariabilmente curvati, così che la loro parte superiore si dirige in dietro e parallelamente alla loro porzione inferiore. Essi conservano questa forma fino al momento in cui si sono elevati sopra il suolo. In alcuni casi però, sono i picciuoli dei cotiledoni o delle prime vere foglie che, rompendo gl'involucri seminali, attraversano lo strato del suolo prima dell'apparizione di una parte del fusto, e questi picciuoli sono allora quasi invariabilmente curvati. Non abbiamo incontrato che una sola eccezione a questa regola; la quale non era che parziale: essa è offerta dai picciuoli delle due prime vere foglie di *Acanthus candelabrum*. Nel *Delphinium nudicaule*, i picciuoli dei due cotiledoni completamente confluenti escono da terra in forma di arco; più tardi, i picciuoli delle prime foglie formate dopo i cotiledoni sono inarcati e possono così farsi strada attraverso alle basi dei picciuoli confluenti dei cotiledoni. Nel caso della Megarrhiza si è la plumula che esce in forma di arco attraverso al tubo formato dalla confluenza dei picciuoli dei cotiledoni. Nelle piante adulte, i fusti fioriferi ed in alcune specie le foglie ed infine le rachidi di alcune felci, uscendo separatamente dal suolo, sono pure arcuate.

Questo fatto che organi così diversi in piante di specie differenti escono da terra sotto forma di arco, mostra che una tale disposizione deve possedere, in modo qualsiasi, un'importanza notevole. Secondo Haberlandt, l'estremità in via d'accrescimento ed ancora tenera si trova così protetta contro ogni logoramento, e tale spiegazione è probabilmente vera. Ma inoltre siccome i due rami dell'arco sono in via di accrescimento, la loro forza si trova così di molto aumentata, tantochè l'estremità, trattenuta sotto agl'involucri seminali, v'incontra un punto d'appoggio. Nelle monocotiledoni, la plumula od il cotiledone prende raramente una forma arcuata, almeno per quanto potemmo vedere; il fatto si produce però per il cotiledone fogliaceo del bulbo: la corona dell'arco è inoltre, in questo caso, la sede di una protuberanza speciale che viene a rafforzarla. Nelle Graminacee, l'estremità del cotiledone dritto, inguainato, si sviluppa in una cresta bianca, dura, che evidentemente serve a vincere la resistenza del suolo. Nelle dicotiledoni, l'incurvatura dell'epicotilo o dell'ipocotilo pareva spesso risultare sopratutto dalla posizione presa nel seme dalle differenti parti; ma è dubbio che ciò sia vero in tutti i casi, ed in alcuni non è certamente così, nei quali abbiamo visto cominciare a prodursi l'incurvatura dopo la completa uscita delle diverse parti fuori degli involucri. Siccome però l'incurvatura si produce qualunque sia la posizione nella quale i semi si trovano posti, essa è senza dubbio dovuta all'aumento momentaneo dell'accrescimento sopra una faccia dell'organo, fenomeno dipendente dall'epinastia o dall'iponastia.

Quest'abitudine dell'ipocotilo essendo universalmente diffusa, è probabile che sia di origine assai vecchia. Non è dunque da meravigliarsi se essa ha potuto essere trasmessa dall'eredità, almeno in una certa misura, a piante provvedute di cotiledoni ipogei nelle quali l'ipocotilo, poco sviluppato, non apparisce mai sopra terra, e per le quali per conseguenza questo processo non è di nessuna utilità. Tale tendenza spiega, come vedemmo, l'incurvatura dell'ipocotilo (ed il movimento radicolare che ne proviene), fenomeno che è stato osservato in principio da Sachs, e che abbiamo spesso avuto occasione di segnalare sotto il nome d'incurvatura di Sachs.

I diversi organi arcuati di cui parlammo sono in continua circumnutazione, o si sforzano costantemente di circumnutare, anche prima di uscire da terra. Dacchè una parte dell'arco abbandona gl'involucri seminali, subisce l'azione dell'apogeotropismo, ed i due rami s'inclinano contemporaneamente verso l'alto con la maggiore rapidità che è loro concessa dalla terra circostante finchè l'arco intero sia verticale. Il suo accrescimento susseguente gli permette di farsi strada attraverso al suolo. Ma i suoi sforzi continui per circumnutare favoriscono pure la sua emergenza in una debole misura, poichè sappiamo che un ipocotilo, circumnutando, può ricacciare da tutti i lati, intorno a sè, la sabbia umida che lo circonda. Appena il più debole raggio di sole raggiunge una pianticella, l'eliotropismo la guida attraverso ad una fenditura del suolo od attraverso alla rete della massa di vegetazione circostante, imperocchè l'apogeotropismo da solo non conduce la pianticella che ciecamente in alto. È dunque probabile che esista nell'estremità dei cotiledoni delle Graminacee e nella parte superiore dell'ipocotilo una certa sensibilità all'azione luminosa, almeno in certe piante.

In causa dell'accrescimento in basso dell'arco, i cotiledoni sono portati sopra il suolo. Gl'involucri seminali restano sotterra, o rimangono ancora qualche tempo intorno ai cotiledoni. La loro caduta ha luogo più tardi principalmente in causa dell'accrescimento di questi ultimi organi. Ma nella maggior parte delle Cucurbitacee si vede una conformazione curiosa e speciale destinata a portare la rottura degli involucri sotto al suolo; questa disposizione consiste in una sporgenza rettangolare sulla base dell'ipocotilo, che tiene in basso la parte inferiore degli involucri, mentre il crescere della porzione curva dell' ipocotilo ne solleva la metà superiore e in tale guisa la scinde in due parti.

Una struttura circa eguale ci è offerta dalla *Mimosa pudica*, e da alcune altre piante. Prima che i cotiledoni si sieno completamente distesi e siensi resi divergenti, l'ipocotilo si raddrizza generalmente in causa di un accrescimento maggiore sulla faccia concava, ossia di un procedimento inverso di quello che ha determinato l'incurvatura. In ultimo luogo non resta alcuna traccia dell'incurvatura primitiva, se si eccettua il cotiledone fogliaceo del bulbo.

I cotiledoni possono allora compiere le funzioni delle foglie e decomporre

l'acido carbonico; essi forniscono pure, alle altre parti della pianta, gli alimenti che spesso racchiudono. Quando questa riserva nutritiva è considerevole, rimangono generalmente nascosti sotto terra in causa del debole sviluppo dell'ipocotilo, e possono così più facilmente evitare di essere distrutti dagli animali. Accade talvolta che sotto l'influenza di condizioni non conosciute, gli alimenti s'accumulano nell'ipocotilo o nella radichetta, ed allora uno dei cotiledoni, od anche tutti due, rimangono rudimentali: abbiamo citato parecchi esempi di questa natura. È probabile che il modo straordinario di germinazione proprio alla *Megarrhiza Californica*, *Ipomœa leptophylla* e *pandurata* e alla *Quercus virens*, sia in connessione col celarsi delle radici a tubero che nella giovane età sono riccamente provviste di sostanze nutritive. In queste piante infatti i picciuoli dei cotiledoni che escono in principio dal seme, sono terminati da una piccola radichetta e dall'ipocotilo. Questi picciuoli s'inclinano geotropicamente come una radice e penetrano nel suolo in modo che la vera radice, che più tardi aumenta molto di volume, è sotterrata ad una certa distanza sotto alla superficie. Le gradazioni di struttura sono sempre interessanti, ed Asa Gray ci fa sapere che nell'*Ipomœa Jalapa*, che forma pure dei tuberi, l'ipocotilo è ancora di una lunghezza considerevole, mentre che i picciuoli dei cotiledoni non si allungano che moderatamente. Ma oltre al vantaggio che ne risulta dall'accumulazione delle materie nutritive nei tuberi, vi è ancora, almeno nella Megarrhiza, la protezione della plumula mediante il sotterramento contro i freddi invernali.

In molte pianticelle delle Dicotiledoni, come disse recentemente De Vries, la contrazione del parenchima della parte superiore della radichetta trascina l'ipocotilo entro terra; talvolta (come abbiamo detto) tale movimento giunge perfino a sotterrare i cotiledoni. Lo stesso ipocotilo, in alcune specie, si contrae in modo identico. È probabile che il sotterramento serva a proteggere le pianticelle contro i freddi dell'inverno.

Il nostro vegetale immaginario è ormai maturo come pianticella, poichè il suo ipocotilo è dritto ed i cotiledoni sono perfettamente distesi. In questo stato, la parte superiore dell'ipocotilo ed i cotiledoni continuano per qualche tempo a circumnutare: tale movimento, di solito in rapporto alle dimensioni delle parti, si effettua rapidamente. Ma le pianticelle non possono trarne vantaggio che quando si modifica, sopratutto sotto l'influenza della luce e della gravità; infatti esse sono allora capaci di muoversi più rapidamente e più largamente di quello che non potrebbero fare la maggior parte delle piante adulte. Le pianticelle essendo assoggettate ad una lotta accanita per l'esistenza, è per esse assai importante di potersi adattare più rapidamente e più perfettamente che è possibile alle loro condizioni di vita; da che viene che sono tanto sensibili all'azione della luce e della gravità. I cotiledoni di alcune specie sono sensibili al contatto; ma è probabile che ciò non sia che un risultato indiretto delle sensibilità precedenti, poichè non vi è

alcuna ragione per credere che possa essere loro utile di muoversi quando si toccano.

La nostra pianticella possiede ora un fusto portante delle foglie e spesso dei rami che circumnutano tutti mentre sono ancora giovani. Se consideriamo per es. una grande Acacia, possiamo essere sicuri che ciascuno dei suoi numerosi germogli descrive costantemente delle piccole ellissi; lo stesso accade per ogni picciuolo, principale o secondario, e per ogni fogliolina. Queste ultime, come le foglie ordinarie, si muovono in generale verticalmente, circa nello stesso piano, in modo da descrivere delle ellissi assai strette. I peduncoli fiorali sono egualmente in continua circumnutazione. Se ci fosse possibile di vedere sotto terra, e se i nostri occhi fossero potenti quanto i microscopii, osserveremmo l'estremità di ogni fibrilla radicolare sforzarsi a descrivere delle piccole ellissi o dei circoli per quanto glielo permette la pressione del suolo. Tutta questa sorprendente somma di movimenti fu attiva d'anno in anno, a partire dal momento in cui l'albero è apparso per la prima volta al disopra della superficie del suolo.

I fusti si sviluppano talvolta in lunghi stoloni. Questi organi circumnutano notevolmente, ciò che è loro vantaggioso per evitare o sormontare gli ostacoli. Ma è dubbio che il movimento circumnutante sia stato aumentato a questo scopo speciale.

Bisogna ora considerare la circumnutazione nelle sue diverse modificazioni, come la sorgente delle diverse grandi classi di movimento. La modificazione può prodursi sotto l'influenza di cause innate o di agenti esterni. Nella prima categoria dobbiamo porre le foglie che quando cominciano a spiegarsi sono in una posizione verticale, e s'inclinano gradatamente verso il basso invecchiando. Vediamo dei peduncoli fiorali piegarsi quando il fiore è avvizzito ed altri rilevarsi verso il cielo; o ancora dei fusti, la cui estremità era in principio curvata verso il basso ad uncino, in seguito raddrizzarsi ed altri casi ancora. Questi cambiamenti di posizione dovuti all'epinastia o all'iponastia, si producono in certi periodi della vita della pianta, e sono indipendenti da ogni eccitazione esterna. Non si effettuano con un movimento continuo verso l'alto o verso il basso, ma con una successione di piccole ellissi, o con linee a zig-zag, cioè a dire con un movimento di circumnutazione accentuato in una data direzione.

Di più, le piante rampicanti, nella loro giovinezza, circumnutano nel modo solito; ma dacchè il fusto è pervenuto ad una certa altezza — che differisce secondo le specie — si allunga rapidamente ed allora l'ampiezza della circumnutazione si accresce di molto, allo scopo evidente di aiutare il fusto a ravvolgersi intorno ad un sostegno. Il fusto circumnuta pure da tutti i lati un po' più regolarmente che nelle piante non rampicanti. È ciò che si può vedere con evidenza nei viticci formati da foglie modificate che descrivono dei larghi circoli, mentre che le foglie ordinarie circumnutano quasi nello stesso piano verticale. Quando i peduncoli fiorali

si trasformano in viticci, il loro movimento circumnutante è accresciuto considerevolmente nello stesso modo.

Noi arriviamo ora al nostro secondo gruppo di movimenti circumnutanti, a quelli che sono modificati da agenti esterni. I movimenti nictitropici, che costituiscono il sonno delle foglie, sono posti sotto l'influenza delle alternanze della luce e dell'oscurità. Non è questa che determina il movimento, ma la differenza nella quantità di luce ricevuta durante il giorno e nel corso della notte. In parecchie specie infatti, le foglie non dormono di notte, se la loro illuminazione diurna non è stata brillante. Esse acquistano però per eredità una tendenza a muoversi a tempo debito, indipendentemente da una modificazione nella quantità di luce. I movimenti in certi casi sono straordinariamente complessi, ma qui non ne parleremo a lungo, giacchè li abbiamo analizzati completamente nel capitolo consacrato a questo soggetto. Le foglie ed i cotiledoni prendono la loro posizione notturna in due modi: col mezzo di un pulvino o senza quest'organo. Nel primo caso il movimento continua per tutto il tempo che la foglia od il cotiledone conserva la sua vitalità; nel secondo, al contrario, non dura che durante l'accrescimento dell'organo. I cotiledoni sembrano dormire, proporzionatamente, in un numero maggiore di specie che le foglie. In alcune specie dormono le foglie e non i cotiledoni; in altre accade il contrario; in altre ancora dormono le une e gli altri ma prendendo di notte delle posizioni assai diverse.

Sebbene i movimenti nictitropici delle foglie e dei cotiledoni sieno mirabilmente diversi perfino nelle specie del medesimo genere, il lembo assume tuttavia durante la notte una posizione tale che la sua faccia superiore sia esposta il meno possibile all'irradiazione. Non possiamo dubitare che questo sia lo scopo di tali movimenti. Abbiamo dimostrato che foglie esposte in pien'aria ed i cui lembi erano fissati nella posizione orizzontale, soffrivano molto più il freddo che altre, alle quali era stato permesso di prendere la loro posizione orizzontale caratteristica. Abbiamo citato a questo riguardo parecchi fatti curiosi dimostranti che le foglie distese orizzontalmente soffrivano di più la notte quando l'aria, non raffreddata dall'irradiazione, non poteva circolare liberamente sotto alla loro faccia inferiore; era la stessa cosa per le foglie che dormivano su rami mantenuti immobili. In alcune specie, i picciuoli si elevano fortemente di notte e le foglie secondarie si chiudono. L'intiera foglia si fa così più compatta, ed offre all'irradiazione una superficie minore.

Crediamo di aver chiaramente dimostrato che i diversi movimenti nictitropici delle foglie sono modificazioni del movimento circumnutante. Nel caso più semplice una foglia descrive nel corso delle 24 ore una grande ellisse; ed il movimento è combinato in modo, che il lembo sia verticale durante la notte, e riprenda al mattino successivo la sua posizione naturale. Il cammino seguito non differisce dalla circumnutazione ordinaria che per la maggior ampiezza e per la celerità

aumentata alla fine della sera ed al principiar della mattina. Se non si ammettesse che questo fosse un movimento di circumnutazione, le foglie che lo presentano non circumnuterebbero affatto, ciò che costituirebbe una singolare anomalia. In altri casi, le foglie ed i cotiledoni descrivono nelle 24 ore parecchie ellissi verticali; nella sera, una di queste ellissi prende un'ampiezza maggiore finchè il lembo è verticale. In tale posizione il moto circumnutante continua fino al mattino successivo, momento nel quale l'organo riprende la sua posizione primitiva. Quando sono dovuti ad un pulvino, questi movimenti si trovano spesso complicati dalla rotazione della foglia o della fogliolina; tale rotazione, in debole grado, si produce durante la circumnutazione ordinaria. Si potrebbero confrontare fra di loro i numerosi diagrammi che abbiamo dati delle foglie e dei cotiledoni che dormono o meno, e si vedrebbe che sono essenzialmente della stessa natura. La circumnutazione ordinaria si converti in movimento nictitropico, sia con un aumento di ampiezza meno rilevante per altro di quello delle piante rampicanti, sia rendendosi periodica in relazione colle alternanze di luce e di oscurità. Ma esistono frequentemente delle traccie distinte di periodicità nei movimenti circumnutanti delle foglie e dei cotiledoni che non dormono. Il fatto che i movimenti nictitropici si producono in specie distribuite nelle numerose famiglie di tutta la serie delle piante vascolari, è spiegabile quando si ammette che tali movimenti risultano da una modificazione di questa circumnutazione universalmente diffusa; diversamente questo fatto rimane senza spiegazione.

Abbiamo citato, nel settimo capitolo, il caso di una Porlieria, le cui foglioline rimanevàno chiuse tutta la giornata quando la pianta non era inaffiata e ciò probabilmente per evitare ogni evaporazione. Si produce in alcune graminacee un fatto della stessa natura. Alla fine dello stesso capitolo, abbiamo aggiunte alcune osservazioni su ciò che si può chiamare l'embriologia delle foglie. Le foglie prodotte da giovani germogli sopra piante tagliate di *Melilotus taurica* dormono come quelle di un *Trifolium*, mentre che le foglie dei rami più vecchi, nelle stesse piante, dormono in modo tutto differente e particolare a questo genere. Per ragioni che abbiamo già esposte, siamo tentati di considerare questo fatto come un caso di regressione ad un'abitudine nictitropica antica. È la stessa cosa nel *Desmodium gyrans*, dove la mancanza di piccole foglioline laterali sulle piante giovanissime ci fa ritenere che l'antenato immediato di questa specie non possedesse foglioline laterali, e che la loro apparsa allo stato affatto embriologico in un'età un po' più avanzata sia il risultato di una regressione verso un tipo antico a tre foglioline. Comunque sia, i rapidi movimenti giratori, o circumnutanti, delle piccole foglioline laterali ci parevano dovuti in gran parte al fatto che il pulvino, organo del movimento, era ben lungi dall'aver subìto la stessa riduzione del lembo, durante le modificazioni successive che la specie ha attraversate.

Arriviamo ora all'importante classe di movimenti dovuti all'azione di una luce

laterale. Quando i fusti, le foglie, o gli altri organi sono posti in modo che una delle loro faccie sia più fortemente rischiarata dell'altra, questi organi s'inclinano verso la luce. Questo movimento eliotropico risulta manifestamente da una modificazione del circumnutante ordinario, e si possono seguire tutte le gradazioni fra questi due fenomeni congeneri. Quando la luce era debole ed assai poco diversa sulle due faccie, il movimento constava di una successione di ellissi, dirette verso di essa, e di cui ciascuna era più vicina alla sorgente luminosa di quella che la precedeva. Quando la differenza d'illuminazione sulle due faccie era alquanto più forte, le ellissi si stiravano in zig-zag fortemente marcati, e se la differenza aumentava ancora, il cammino diveniva rettilineo. Abbiamo ragione di credere che il cambiamento nella turgescenza delle cellule sia la causa immediata del movimento di circumnutazione; sembra che quando una pianta è inegualmente rischiarata sulle sue due faccie, la turgescenza, sempre variabile, sia aumentata sopra una faccia, e diminuita od affatto arrestata sull'altra. Un accrescimento di turgescenza è generalmente seguito da un aumentato accrescimento, in modo che una pianta che nella giornata siasi curvata verso la luce sarebbe fissata in questa posizione, se l'apogeotropismo non agisse sopra di essa durante la notte. Ma gli organi provveduti di un pulvino s'inclinano, come lo ha dimostrato Pfeffer, verso la luce, e qui l'accrescimento non entra in azione più che per i movimenti circumnutanti ordinari del pulvino.

L'eliotropismo agisce in tutto il regno vegetale; ma quando in causa dei cambiamenti nel genere di vita di una pianta, questi movimenti divengono nocivi od inutili, la tendenza è facilmente eliminata, come l'abbiamo visto nelle piante rampicanti e insettivore.

I movimenti afeliotropici sono relativamente assai rari, eccettuato nelle radici aeree. Nei due casi che abbiamo esaminati, il movimento è certamente una modificazione della circumnutazione.

La posizione che le foglie ed i cotiledoni occupano durante la giornata, posizione più o meno trasversale relativamente alla direzione dei raggi luminosi, è dovuta, secondo Frank, a ciò che si può chiamare diaeliotropismo. Siccome tutte le foglie e tutti i cotiledoni sono in circumnutazione continua, si può appena dubitare che il diaeliotropismo risulti da una modificazione di questo movimento. Dal fatto che frequentemente le foglie ed i cotiledoni si elevano un poco nella sera, sembra risultare che il diaeliotropismo sia, nella giornata, in lotta contro una tendenza all'apogeotropismo.

Finalmente le foglioline ed i cotiledoni di alcune piante, come sappiamo, soffrono la luce troppo intensa; quando il sole le rischiara si muovono verso l'alto o verso il basso, o si torcono lateralmente in modo da dirigere i loro bordi verso la sorgente luminosa, evitando così qualsiasi danno. Questi movimenti pareeliotropici sono, in un caso, certamente una modificazione della circumnutazione,

ed è probabilmente la stessa cosa in tutti gli altri, giacchè le foglie delle specie descritte circumnutano in modo evidente. Questo movimento non è però stato osservato che sopra foglioline provvedute di pulvino, nelle quali l'aumento di turgescenza sui lati opposti non è stato seguito da una crescenza maggiore. Possiamo comprendere perchè sia così, giacchè questo movimento non è provocato che da un bisogno temporaneo. Sarebbe manifestamente svantaggioso per la foglia di essere fissata, nel suo accrescimento, in una posizione inclinata; essa, infatti, appena possibile, cioè subito dopo che il sole ha cessato di rischiararla troppo fortemente, prende la sua posizione orizzontale primitiva.

L'estrema sensibilità di alcune pianticelle all'azione della luce è assai maravigliosa, come l'abbiamo dimostrato nel Capitolo IX. I cotiledoni di *Phaturis* s'inclinavano verso una lampada lontana, che mandava una luce così debole che un lapis, posto verticalmente presso alle pianticelle, non lasciava sulla carta bianca alcun'ombra percettibile; questi cotiledoni erano dunque impressionati da una differenza nell'intensità luminosa, che l'occhio non poteva distinguere. Il grado di loro incurvatura in un tempo dato non corrispondeva esattamente alla quantità di luce ricevuta; in nessun momento la luce era in eccesso. Essi continuavano ad incurvarsi verso una luce laterale per più di mezz'ora dopo che questa era stata spenta. La loro incurvatura aveva molta precisione, e dipendeva dall'illuminazione di una faccia intiera, essendo l'altra faccia completamente nell'oscurità. La differenza nella quantità di luce che le piante ricevono in paragone con quella che ebbero poco prima, sembra la principale causa efficiente di questi movimenti dipendenti dalla luce. Così le pianticelle prese nell'oscurità s'inclinano verso una luce debole laterale molto più presto che altre che erano state prima esposte in pieno giorno. Abbiamo visto parecchi casi analoghi per i movimenti nictitropici delle foglie. Osservammo un esempio calzante nel caso dei movimenti periodici proprî ai cotiledoni di una Cassia. Nella mattina venne collocato un vaso in un canto oscuro di una camera, e tutti i cotiledoni si elevarono chiusi; un altro vaso era stato esposto in piena luce ed i cotiledoni si erano naturalmente distesi: i due vasi furono allora collocati in mezzo al locale, ed i cotiledoni che erano stati esposti al sole cominciarono immediatamente a chiudersi, mentre che gli altri si aprivano. In tal guisa i cotiledoni, nei due vasi, quando si assoggettavano alla stessa luce, si muovevano in direzioni esattamente opposte.

Constatammo che pianticelle, conservate nell'oscurità e rischiarate da una piccola candela per due o tre minuti soltanto, ad intervalli di 3/4 d'ora o di un'ora circa, si curvarono tutti verso il punto dove era stata posta la candela. Fummo assai sorpresi di questo fatto che, prima di aver letto le osservazioni di Wiesner, attribuimmo agli effetti consecutivi della luce. Quest'autore però ha dimostrato che in un'ora parecchie illuminazioni interrotte, di una durata totale di 20 m., possono determinare in una pianta il medesimo grado d'incurvatura di una illuminazione

continua di 60 m. Questo fenomeno, secondo noi, può spiegarsi col fatto che l'eccitazione luminosa è dovuta non tanto all'intensità effettiva della luce, quanto piuttosto alla sua differenza coll'intensità dell'illuminazione precedente; e nel caso che citiamo, vi erano parecchie alternanze ripetute di luce e di oscurità. Per questo riguardo, e per altri che abbiamo enumerati più sopra, la luce pareva agire sui tessuti delle piante perfettamente nello stesso modo che sul sistema nervoso degli animali.

Una grande analogia della stessa natura, ma più calzante ancora, si mostra in ciò che la sensibilità all'azione luminosa è localizzata nell'estremità dei cotiledoni di *Phalaris* e di Avena e nella parte superiore degl' ipocotili di Brassica e di Beta; ed in ciò che è la trasmissione di una influenza da questi punti alle parti inferiori, che determina l'incurvatura di queste ultime. Tale influenza si trasmette pure sotto terra ad una profondità che la luce non può raggiungere. Risulta da questa localizzazione che le parti inferiori dei cotiledoni di *Phalaris*, ecc., che normalmente s'inclinano più fortemente delle superiori verso una luce laterale, possono essere brillantemente rischiarate per parecchie ore senza mostrare la minima incurvatura se la luce non ha potuto raggiungere le loro estremità. È interessante di coprire con un cappuccio le estremità cotiledonari di *Phalaris*, e di lasciar penetrare attraverso ad aperture minute da un lato del cappuccio una luce assai debole; la parte inferiore del cotiledone s'inclinerà allora verso questo lato, e non verso il punto che durante tutto il tempo sarà stato fortemente rischiarato. Nelle radichette di *Sinapis alba*, la sensibilità dell'azione luminosa risiede pure nell'estremità, che quand'è rischiarata lateralmente, determina l'incurvatura afeliotropica delle altre parti della radice.

La gravità eccita le piante ad allontanarsi dal centro della terra, o ad avvicinarvisi, od a collocarsi trasversalmente in rapporto ad esso. Benchè sia impossibile di modificare direttamente l'attrazione della gravità, la sua influenza può però essere moderata indirettamente, impiegando i diversi mezzi indicati nel Capitolo X. In tali circostanze i movimenti apogeotropici e geotropici, e probabilmente pure i movimenti diageotropici, si mostrano evidentemente come forme modificate della circumnutazione, nello stesso modo, come l'abbiamo visto per l'eliotropismo.

Le diverse parti del medesimo vegetale e le diverse specie di piante sono impressionate dalla gravitazione in modo assai differente ed in grado diverso. Alcuni organi e parecchie piante mostrano appena delle traccie di quest'azione. Le giovani pianticelle che, come sappiamo, circumnutano con rapidità, sono eminentemente sensibili, e noi abbiamo visto l'ipocotilo di *Beta* curvarsi in alto in 3 ore 8 m. attraverso un angolo di 190°. Gli effetti successivi dell'apogeotropismo durano circa una mezz'ora e gli ipocotili disposti orizzontalmente prendono talvolta così, temporaneamente, una posizione verticale. I vantaggi provenienti

dall'apogeotropismo, dal geotropismo e dal diageotropismo, sono generalmente così evidenti che non è necessario di enumerarli. Nei peduncoli fiorali di *Oxalis*, l'epinastia determina la loro incurvatura verso il basso in guisa che i frutti maturi possono essere protetti dal calice contro la pioggia. Più tardi, portati verso l'alto dall'apogeotropismo combinato coll'iponastia, è reso possibile ai frutti di disperdere i loro semi sopra un grande spazio. I frutti ed i capitoli di alcune piante sono curvati verso il basso dal geotropismo, e si sprofondano sotto terra perchè i semi sieno protetti e possano maturare con sicurezza. Questo sotterramento è largamente facilitato dal movimento circolare dovuto alla circumnutazione.

Per quanto concerne le radichette di molte e forse di tutte le pianticelle, la sensibilità alla gravitazione è localizzata nell'estremità che trasmette l'influenza ricevuta alla parte immediatamente superiore e determina la sua incurvatura verso il centro della terra. Questa trasmissione è stata provata in uno dei modi più interessanti: delle radichette di fava, orizzontalmente distese, furono esposte per 1 ora od 1 ora $^1/_2$ all'azione della gravità, poscia le loro estremità furono tagliate. Durante questo tempo non si aveva constatato alcuna traccia d'incurvatura; le radichette vennero allora poste in modo che fossero dirette in basso verticalmente. Ma una certa influenza era già stata trasmessa dall'apice alla parte vicina, giacchè questa s'inclinò ben presto verso un lato, come sarebbe accaduto se la radichetta fosse rimasta orizzontale, e subisse ancora sempre l'azione del geotropismo. Le radichette così trattate continuarono a crescere orizzontalmente per due o tre giorni, finchè veniva rifatta una nuova estremità; esse subirono allora l'azione geotropica e si curvarono perpendicolarmente in basso.

Abbiamo dimostrato che le diverse classi importanti dei movimenti seguenti sono tante modificazioni della circumnutazione, la quale si fa sentire continuamente finchè dura l'accrescimento, ed anche, quando esiste un pulvino, dopo che l'accrescimento ha cessato. Queste classi di movimenti sono: quelli che sono dovuti all'epinastia ed all'iponastia, — quelli che sono particolari alle piante rampicanti, e che prendono di solito il nome di circumnutazione girante, — i movimenti nictitropici o di sonno delle foglie e dei cotiledoni, — e le due grandi classi di movimenti determinati dalla luce e dalla gravità. Quando parliamo di modificazioni della circumnutazione, vogliamo dire che la luce, o i periodi alternanti di luce e di oscurità, la gravità, le leggere pressioni o gli altri eccitanti, ed alcuni stati della pianta, innati e costituzionali, non sono la causa diretta del movimento, essi determinano piuttosto un accrescimento od una diminuzione nei cambiamenti spontanei di turgescenza che si producono continuamente nelle cellule. Non si sa in qual modo agiscano la luce, la gravità, ecc. sulle cellule: osserveremo soltanto che se uno stimolo qualunque agisse sulle cellule in guisa da determinare una debole tendenza della parte impressionata ad inclinarsi in modo vantaggioso, questa tendenza dovrebbe agevolmente accrescersi per la conservazione degl'individui più sensibili.

Ma se questa stessa incurvatura fosse inutile, la tendenza sarebbe eliminata, nel caso in cui non avesse una forza prevalente; sappiamo infatti con quale facilità variano i caratteri degli organismi. Non abbiamo più alcuna ragione per dubitare che dopo la completa eliminazione di una tendenza dell'organismo a curvarsi in una data direzione sotto l'influenza di un determinato stimolante, la facoltà di curvarsi nel senso direttamente opposto abbia potuto essere acquistato dall'azione della elezione naturale (1).

Benchè la maggior parte dei movimenti traggano la loro origine dalle modificazioni della circumnutazione, ve ne sono altri che sembrano avere un'origine affatto indipendente, ma che sono ben lungi dal formare delle classi così importanti. Quando si tocca una foglia di Mimosa, essa prende immediatamente una posizione come se dormisse; ma Brücke ha dimostrato che questo movimento proviene da uno stato di turgescenza delle cellule differente da quello che determina il sonno; e siccome i movimenti nictitropici sono evidentemente dovuti a modificazioni della circumnutazione, quelli che seguono il contatto non possono guari riferirsi alla stessa causa. Fissammo il dorso di una foglia di *Drosera rotundifolia* sulla sommità di un bastone piantato in terra in modo che essa non potesse eseguire il più leggiero movimento, ed osservammo per parecchie ore un tentacolo sotto al microscopio; esso non mostrava alcun movimento di circumnutazione, e però quando la sua estremità venne toccata con un pezzo di carne, la parte basilare s'incurvò in 23 secondi. Questo movimento d'incurvatura non può però provenire da una modificazione della circumnutazione. Ma quando un oggetto di piccole dimensioni, per es. un pezzo di cartone, veniva disposto sopra una delle faccie dell'estremità di una radichetta che, da quanto sappiamo, è in continua circumnutazione, l'incurvatura così provocata era talmente simile al movimento causato dal geotropismo che non era possibile non vedervi una modificazione della circumnutazione. Venne fissato un fiore di Mahonia ad un bastone e gli stami sotto al microscopio non mostrarono alcun segno di circumnutazione; però ad un leggero contatto si dirigevano bruscamente verso il pistillo. Finalmente l'incurvatura dell'estremità di un viticcio, determinata dal contatto, pareva indipendente dal suo movimento di rivoluzione o di circumnutazione, ciò che è ancora meglio dimostrato dal fatto che la parte più sensibile al contatto circumnuta molto meno delle porzioni inferiori, ed anzi non sembra circumnutare affatto (2).

Non abbiamo in questi casi alcuna ragione di credere che il movimento provenga da una modificazione della circumnutazione, come le altre classi di movi-

(1) Vedi FRANK (*Die wagerechte Richtung von Pflanzentheilen*, 1870, pp. 90, 91, ecc.) sui rapporti dell'elezione naturale col geotropismo, l'eliotropismo, ecc.

(2) Per migliori schiarimenti su questo soggetto vedi *Movements and Habits of Climbing Plants*, 1875, pp. 173, 174.

menti che abbiamo descritti in questo volume; però, la differenza fra questi due gruppi di manifestazioni vitali può non essere così grande come forse apparisce a primo aspetto. In un gruppo l'eccitante provoca un aumento od una diminuzione nella turgescenza delle cellule, che già sono in via di continuo mutamento; mentre nell'altro gruppo l'eccitante induce prima un simile mutamento nello stato di turgescenza. Perchè un contatto, una leggera pressione, o qualche altro eccitante, come l'elettricità, il calore, l'assorbimento di una materia animale, possano modificare la turgescenza delle cellule in modo da provocare il movimento, non lo sappiamo. Ma il contatto agisce con tanta frequenza, e sopra piante così distinte, che tale tendenza ci sembra generale, e divenuta utile, può essere stata aumentata a qualunque grado. In altri casi, un contatto produce un effetto assai differente; nella *Nitella*, per es., si può vedere il protoplasma allontanarsi dalle pareti cellulari; nella lattuga è secreto un succo lattiginoso; nei viticci di certe Vitacee, Cucurbitacee e Bignoniacee, una leggiera pressione determina un accrescimento esagerato delle cellule.

Infine è impossibile di non rimanere sorpresi dalla somiglianza che esiste fra i movimenti che abbiamo analizzati nelle piante, e molti atti inconsciamente eseguiti dagli animali inferiori (1). Nelle piante basta uno stimolante assai debole; ed anche nelle specie vicine, una può essere assai sensibile alla più leggiera pressione continua, mentre che l'altra risponderà ad un leggiero contatto momentaneo. L'abitudine di muoversi a certi periodi è acquistata ereditariamente tanto dalle piante che dagli animali; abbiamo del resto segnato parecchi altri punti di similitudine. Ma la somiglianza più spiccata è nella localizzazione di queste sensibilità, e nella trasmissione dell'influenza ricevuta dalla parte eccitata ad una parte vicina che entra in movimento. Però le piante non possedono nè nervi, nè centri nervosi: possiamo da ciò essere condotti a pensare che negli animali queste strutture non servano che per una trasmissione più perfetta delle impressioni, e per una comunicazione più completa fra le diverse parti.

Crediamo che non vi sia nelle piante nessuna struttura più meravigliosa, almeno per ciò che si riferisce alle loro funzioni, di quella dell'estremità radicolare. Se questa punta è leggermente compressa, o cauterizzata, o tagliata, essa trasmette alle parti vicine una influenza che determina la loro incurvatura verso il lato opposto, e ciò che è ancora più notevole, l'estremità potrà distinguere fra un oggetto un po' più pesante ed un altro un po' più leggiero, collocati sulle sue faccie opposte. Se però la radichetta sarà compressa da un oggetto omogeneo un po' al disopra della sua estremità, la porzione compressa non trasmetterà alcuna influenza

(1) SACHS fa circa la stessa osservazione: *dass sich die lebende Pflanzensubstanz derart innerlich differenzirt, dass einzelne Theile mit specifischen Energien ausgerüstet sind, ähnlich wie die verschiedenen Sinnesnerven der Thiere* (*Arb. des Bot. Inst. in Würz.* Bd. II, 1879, p. 282).

alle parti vicine, e s'inclinerà bruscamente verso l'oggetto che la tocca. Se l'estremità della radichetta è esposta ad un'atmosfera che sia un po' più umida da una parte che dall'altra, essa trasmetterà ancora alle parti vicine una influenza che determinerà la loro incurvatura verso la sorgente di umidità. Quando l'estremità è esposta all'influenza della luce (benchè per le radichette non abbiamo avuto che un solo esempio di questa natura), la parte vicina s'inclina per allontanarsi dalla sorgente luminosa; ma quand'essa subisce l'azione della gravità, la stessa parte s'incurva verso il centro della terra. In tutti questi casi possiamo chiaramente scorgere lo scopo finale od i vantaggi dei diversi movimenti. Due (od anche più) delle cause eccitanti agiscono spesso simultaneamente sull'estremità, ed una di esse prevale sull'altra, senza alcun dubbio, secondo l'importanza ch'essa ha per la vita della pianta. Il cammino seguito dalla radichetta quando penetra nel suolo deve essere determinato dall'estremità, la quale a questo scopo ha acquistato diverse sorta di sensibilità. È appena esagerato il dire che la punta radicolare così dotata e che possiede il potere di dirigere le parti vicine, agisce come il cervello di un animale inferiore; quest'organo infatti, posto alla parte anteriore del corpo, riceve le impressioni degli organi dei sensi e dirige i diversi movimenti.

INDICE DELLE MATERIE

Capitolo I.

MOVIMENTI CIRCUMNUTANTI NELLE GIOVANI PIANTE.

Brassica oleracea, circumnutazione della radichetta, dell'ipocotilo curvato ed ancora completamente coperto dalla terra, allorchè sorte dalla terra raddrizzandosi, e allorchè è eretto. — Circumnutazione dei cotiledoni. — Rapidità del movimento. — Osservazioni analoghe su molti organi presso diverse specie di *Githago*, *Gossypium*, *Oxalis*, *Tropæolum*, *Citrus*, *Æsculus*, diversi generi di Leguminose e di Cucurbitacee, *Opuntia*, *Helianthus*, *Primula*, *Cyclamen*, *Stapelia*, *Cerinthe*, *Nolana*, *Solanum*, *Beta*, *Ricinus*, *Quercus*, *Corylus*, *Pinus*, *Cycas*, *Canna*, *Allium*, *Asparagus*, *Phalaris*, *Zea*, *Avena*, *Nephrodium* e *Selaginella* . . . . . *Pag.* 11

Capitolo II.

CONSIDERAZIONI GENERALI SUI MOVIMENTI E L'ACCRESCIMENTO DELLE PIANTICELLE.

Esistenza generale del movimento di circumnutazione. — Le radichette e l'utilità della loro circumnutazione. — Modo con cui penetrano nel suolo. — Modo con cui gli ipocotili e gli altri organi escono da terra a mezzo della loro incurvatura. — Modo singolare di germinazione della Megarrhiza, ecc. — Aborto dei cotiledoni. — Circumnutazione degli ipocotili e degli epicotili allorchè sono ancora incurvati e sotterrati. — Loro potere di raddrizzamento. — Loro uscita dagli involucri seminali. — Effetto ereditario dell'incurvamento negli ipocotili ipogei. — Circumnutazione degli ipocotili e degli epicotili allorchè si raddrizzano. — Circumnutazione dei cotiledoni. — Pulvini o articolazioni dei cotiledoni; durata della loro attività; rudimentalità nell'*Oxalis corniculata*; loro sviluppo. — Sensibilità dei cotiledoni all'azione della luce, e perturbazioni che questo agente porta nei loro movimenti periodici. — Sensibilità dei cotiledoni al contatto *Pag.* 49

Capitolo III.

SENSIBILITÀ DELL'ESTREMITÀ DELLA RADICHETTA AL CONTATTO ED AGLI ALTRI ECCITANTI.

Modo di curvarsi delle radichette allorchè incontrano un ostacolo nel suolo. — *Vicia faba*, estremità delle radichette sensibili al contatto ed agli altri eccitanti. — Effetti di una temperatura troppo elevata. — Potere di elezione fra oggetti attaccati sopra delle faccie opposte. — Estremità delle radici secondarie, sensibili. — *Pisum*, estremità della radichetta sensibile. — Effetti di questa sensibilità nel vincere il geotropismo. — Radichette secondarie. — *Phaseolus*, estremità delle radichette appena sensibili al contatto, ma sensibilissime ai caustici ed alla sezione di una fetta. — *Tropæolum* — *Gossypium* — *Cucurbita* — *Raphanus* — *Æsculus*, estremità insensibile ad un leggero contatto, ma assai sensibile ai caustici. — *Quercus*, estremità assai sensibile al contatto. — Potere di elezione. — *Zea*, estremità molto sensibile, radici secondarie. — Sensibilità delle radichette all'aria umida. — Riassunto del capitolo . . . . . *Pag.* 91

Capitolo IV.

MOVIMENTI CIRCUMNUTANTI NELLE DIVERSE PARTI DELLE PIANTE ADULTE.

Circumnutazione dei fusti: osservazioni finali intorno ad esse. — Circumnutazione degli stoloni: aiuto in tale modo recato all'avvolgimento fra i fusti delle piante circostanti. — Circumnutazione dei fusti fioriferi. — Circumnutazione delle foglie delle Dicotiledoni. — Singolare movimento oscillatorio delle foglie di *Dionæa*. — Movimento notturno di discesa delle foglie di *Cannabis*. — Foglie delle Ginnosperme; delle Monocotiledoni; Crittogame. — Osservazioni finali sulla circumnutazione delle foglie: esse si elevano generalmente di sera per discendere di mattina *Pag.* 139

Capitolo V.

MODIFICAZIONI DELLA CIRCUMNUTAZIONE; PIANTE RAMPICANTI; MOVIMENTI DI EPINASTIA E DI IPONASTIA.

Circumnutazione modificata sotto l'influenza di cause innate, o in seguito all'azione delle condizioni esterne. — Cause innate. — Piante rampicanti; similitudine dei loro movimenti e di quelli delle piante ordinarie; aumento di ampiezza; differenze accidentali. — Accrescimento epinastico delle giovani foglie — Accrescimento iponastico degli ipocotili e degli epicotili delle pianticelle. — Apici uncinati delle piante rampicanti e di altre, come conseguenza della circumnutazione modificata. — *Ampelopsis tricuspidata*. — *Smithia Pfundii*. — Raddrizzamento degli apici sotto l'influenza dell'iponastia. — Accrescimento epinastico e circumnutazione dei peduncoli fiorali nel *Trifolium repens* ed *Oxalis carnosa* . . . . . *Pag.* 181

Capitolo VI.

MODIFICAZIONI DELLA CIRCUMNUTAZIONE. — MOVIMENTI DI SONNO O NICTITROPICI; LORO USO — SONNO DEI COTILEDONI.

Considerazioni preliminari sul sonno delle foglie. — Presenza del pulvino. — La diminuzione della radiazione come causa finale dei movimenti nictitropici. — Modo di esperimentare sulle foglie di *Oxalis*, *Arachis*, *Cassia*, *Melilotus*, *Lotus* e *Marsilea* e sui cotiledoni di *Mimosa*. — Osservazioni finali sulla radiazione delle foglie. — Delle deboli differenze nelle condizioni che determinano delle differenze considerevoli nel risultato. — Descrizione della posizione e dei movimenti nictitropici dei cotiledoni in diverse piante. — Lista delle specie. — Osservazioni finali. — Indipendenza dei movimenti nictitropici nelle foglie e nei cotiledoni della medesima specie. — Ragioni che conducono a pensare che questo movimento sia stato acquistato ad uno scopo speciale . . . . . *Pag* 193

Capitolo VII.

MODIFICAZIONI NELLA CIRCUMNUTAZIONE: MOVIMENTI DI SONNO O NICTITROPICI DELLE FOGLIE.

Condizioni necessarie per questi movimenti. — Lista dei generi e delle famiglie che comprendono delle piante a foglie soggette al sonno. — Descrizione dei movimenti nei diversi generi. — *Oxalis*: accartocciamento notturno delle foglioline — *Averroha*: rapidi movimenti delle foglio-

line. — *Porlieria:* chiude le sue foglioline se le piante sono asciutte. — *Tropæolum:* le sue foglie non dormono che dopo una piena luce diurna. — *Lupinus:* diversi modi di sonno. — *Melilotus:* singolari movimenti della fogliolina laterale. — *Trifolium.* — *Desmodium:* il movimento delle foglioline laterali rudimentali non esiste nella giovinezza del vegetale; stato del pulvino. — *Cassia:* movimenti complessi delle sue foglioline. — *Bauhinia:* accartocciamento notturno delle foglioline. — *Mimosa pudica:* movimenti composti delle foglie, effetti dell'oscurità. — *Mimosa albida:* le sue foglioline ridotte. — *Schrankia:* movimento di discesa delle pennule. — *Marsilea:* la sola crittogama che, per quanto ci consta, è soggetta al sonno. — Osservazioni finali e riassunto. — Il nictitropismo è una modificazione della circumnutazione, regolata dall'alternarsi della luce e dell'oscurità. — Forma delle prime vere foglie . *Pag.* 217

Capitolo VIII.

CIRCUMNUTAZIONE MODIFICATA. MOVIMENTI DETERMINATI DALLA LUCE.

Distinzione fra l'eliotropismo e gli effetti della luce sulla periodicità dei movimenti delle foglie. — Movimenti eliotropici della Beta, del Solanum, della Zea e dell'Avena. — Movimenti eliotropici verso una luce scarsa nei generi Apios, Brassica, Phalaris, Tropæolum e Cassia. — Movimenti afeliotropici dei viticci di Bignonia, dei peduncoli fiorali di Cyclamen. — Interramento delle cassule. — L'Eliotropismo e l'Afeliotropismo sono forme modificate della circumnutazione. — Gradi pei quali un movimento si converte in un altro. — Eliotropismo trasversale, o Diaeliotropismo, sotto l'influenza dell'epinastia, del peso dell'organo e dell'apogeotropismo. — Apogeotropismo annullato a metà della giornata dall'eliotropismo. — Effetti del peso dei lembi dei cotiledoni. — Così detto sonno diurno. — Azione nociva di una luce intensa sulla clorofilla. — Movimenti destinati ad evitare questa intensa luce. . . . . *Pag.* 285

Capitolo IX.

SENSIBILITÀ DELLE PIANTE ALL'AZIONE DELLA LUCE; TRASMISSIONE DEI SUOI EFFETTI.

Utilità dell'eliotropismo — Le piante insettivore e le rampicanti non sono eliotropiche. — Il medesimo organo può essere eliotropico in un momento del suo sviluppo, e non in un altro. — Sensibilità straordinaria di alcune piante all'azione della luce. — Gli effetti della luce non sono in rapporto colla sua intensità. — Effetto di una illuminazione anteriore. — Tempo necessario per l'azione della luce. — Effetti susseguenti della luce. — L'apogeotropismo agisce appena diminuisce la luce. — Esattezza della direzione delle piante verso la luce. — Essa dipende dall'illuminazione di un intero lato della parte. — Sensibilità localizzata all'azione luminosa, e trasmissione dei suoi effetti. — Modo di inclinarsi dei cotiledoni di *Phalaris.* — Risultati della esclusione della luce sulle loro estremità. — Effetti trasmessi al disotto della superficie del suolo. — L'illuminazione laterale dell'estremità determina la direzione dell'incurvatura della base. — Cotiledoni di *Avena;* incurvatura della loro base, in causa dell'illuminazione della loro estremità superiore. — Risultati simili ottenuti negli ipocotili di *Brassica* e di *Beta.* — Afeliotropismo delle radichette di *Sinapis,* dovuto alla sensibilità delle loro estremità. — Osservazioni finali e riassunto del capitolo. — Mezzi coi quali la circumnutazione si cambia in eliotropismo ed afeliotropismo . . . . . *Pag.* 307

Capitolo X.

CIRCUMNUTAZIONE MODIFICATA: MOVIMENTI ECCITATI DALLA GRAVITAZIONE.

Mezzi d'osservazione. — Apogeotropismo. — Cytisus ; Verbena ; Beta. — Conversione graduale della circumnutazione in apogeotropismo nel Rubus, Lilium, Phalaris, Avena e Brassica. — Azione ritardatrice dell'eliotropismo sull'apogeotropismo. — Azione delle articolazioni e dei cuscinetti. — Movimenti dei peduncoli florali di Oxalis. — Osservazioni generali sull'apogeotropismo. — Geotropismo. — Movimenti delle radichette. — Sotterramento dei frutti. — Trifolium subterraneum. — Arachis. — Amphicarpæa. — Diageotropismo. — Conclusione *Pag.* 335

Capitolo XI.

LOCALIZZAZIONE DELLA SENSIBILITÀ ALLA GRAVITÀ E TRASMISSIONE DEI SUOI EFFETTI.

Considerazioni generali. — *Vicia faba:* effetti ottenuti tagliando l'estremità delle radichette. — Rigenerazione di queste estremità. — Effetti ottenuti esponendo per breve tempo le estremità delle radichette all'azione geotropica, e tagliandole in seguito. — Effetti ottenuti tagliandole obliquamente. — Effetti della loro cauterizzazione. — Effetti di un rivestimento di grasso delle radichette. — *Pisum sativum:* estremità delle radichette cauterizzate trasversalmente sulle faccie superiori ed inferiori. — *Phaseolus:* cauterizzazione delle radichette ed applicazione di un corpo grasso. — *Gossypium.* — *Cucurbita:* cauterizzazione trasversale delle faccie superiore ed inferiore. — *Zea:* cauterizzazione delle estremità. — Osservazioni finali e riassunto. — Vantaggi della localizzazione della sensibilità geotropica nell'estremità radiculare . . . . *Pag.* 355

Capitolo XII.

RIASSUNTO ED OSSERVAZIONI FINALI.

Natura del movimento circumnutante — Storia di un seme in germinazione. — La radichetta esce in principio e si mette a circumnutare. — Sensibilità considerevole della sua estremità. — Uscita dal suolo dell'ipocotilo, o dell'epicotilo, in forma di arco. — Sua circumnutazione e quella dei cotiledoni. — La pianticella produce un fusto portante una vera foglia. — Circumnutazione di tutti gli organi o di tutte le parti. — Modificazioni del movimento circumnutante. — Epinastia ed iponastia. — Movimenti delle piante rampicanti. — Movimenti nictitropici. — Movimenti posti sotto l'influenza della luce o della gravità. — Localizzazione della sensibilità. — Somiglianze fra i movimenti delle piante e quelli degli animali. — L'estremità della radichetta agisce come un cervello . . . . . *Pag.* 371

INDICE ALFABETICO

A

Abies communis, bruciatura o distruzione della radice principale, p. 130.
— *pectinata*, id., p. 130.
— effetto prodotto dall' *Æcidium elatinum*, p. 131.
Abronia umbellata, suo unico cotiledone sviluppato, p. 56.
— cotiledone rudimentale, p. 67.
— rottura degli involucri seminali, p. 73.
Abutilon Darwinii, sonno delle foglie e non dei cotiledoni, p. 216.
— movimento notturno delle foglie, p. 222.
Acacia Farnesiana, stato della pianta durante la veglia e il sonno, p. 261.
— aspetto notturno, p. 270.
— movimenti nictitropici delle foglie secondarie, p. 274.
— assi delle ellissi, p. 275.
— *lophantha*, caratteri della prima foglia, p. 281.
— *retinoides*, circumnutazione di un giovane fillodio, p. 161.
Acanthosicyos horrida, movimenti notturni dei cotiledoni, p. 209.
Acanthus candelabrum, ineguaglianza delle due prime foglie, p. 56-57.
— picciuoli non arcuati, p. 376.
— *latifolius*, variabilità delle prime foglie, p. 57.
— *mollis*, modo col quale le pianticelle escono da terra, p. 56.
— circumnutazione di una giovane foglia, p. 170, 185.
— *spinosus*, p. 57.
— movimenti delle foglie, p. 170.
Adenanthera pavonia, movimenti nictitropici delle foglioline, p. 256.
Æcidium elatinum, suoi effetti sui rami laterali di *Abies pectinata*, p. 131.
Æsculus hippocastanum, movimenti della radichetta, p. 23.
— sensibilità della punta radicolare, p. 119-121.
Afeliotropismo o Eliotropismo negativo, p. 8, 285, 294.
Albizzia lophanta, movimenti nictitropici, p. 262.
Albizzia lophanta, movimenti nictitropici delle foglie secondarie, p. 274.
Allium caepa, protuberanza conica del cotiledone arcuato, p. 43.
— circumnutazione della parte basilare d'un cotiledone, p. 43.
— modo di uscire da terra della pianticella, p. 62.
— modo di raddrizzamento, p. 70.
— *porrum*, movimenti dei peduncoli fiorali, p. 155.
Alopecurus pratensis, azione dell'apogeotropismo sui cuscinetti, p. 341.
Aloysia citriodora, circumnutazione del fusto, p. 145.
Amaranthus, sonno delle foglie, p. 264.
— *caudatus*, movimento notturno dei cotiledoni, p. 211.
Amorpha fruticosa, sonno delle foglioline, p. 242.
Ampelopsis tricuspidata, movimento iponastico dell'estremità curvata, p. 187-188.
Amphicarpæa monoica, circumnutazione e sonno delle foglie, p. 249-250.
— effetti dei raggi solari sulle foglioline, p. 303.
— movimenti geotropici, p. 352.
Anoda Wrightii, sonno dei cotiledoni, p. 207, 214.
— sonno delle foglie, p. 222.
— movimento di discesa dei cotiledoni, p. 303.
Apios graveolens, movimenti eliotropici dell'ipocotilo, p. 288, 289.
— *tuberosa*, discesa notturna verticale delle foglie, p. 251.
Apium graveolens, sonno dei cotiledoni, p. 209.
— *petroselinum*, id.
Apogeotropismo, movimenti effettuati coll'aiuto dei cuscinetti, p. 341.
Apogeotropismo, p. 8, 336.
Apogeotropismo ritardato dall'eliotropismo, p. 340.
Apogeotropismo (osservazioni finali sull'), p. 344.
Arachis hypogæa, circumnutazione del ginoforo, p. 154.
— effetti dell'irradiazione sulle foglie, p. 198, 203.
— movimenti delle foglie, p. 243.
— celerità del movimento, p. 275.

Arachis hypogæa, circumnutazione dei ginofori giovani, p. 351-352.
— movimento di discesa dei ginofori, p. 352.
Asparagus officinalis, circumnutazione della plumula, p. 44.
— effetto di una luce laterale, p. 330.
Asplenium trichomanes, movimenti delle fronde fruttifere, p. 176 (*nota* 1).
Astragalus uliginosus, movimenti delle foglioline, p. 242.
Avena sativa, movimenti dei cotiledoni, p. 47.
— movimenti dei cotiledoni circumnutanti e nictitropici, p. 288.
— movimenti dei cotiledoni vecchi, p. 340.
— sensibilità della punta radicolare all'umidità, p. 128.
— sensibilità dei cotiledoni alla luce laterale, p. 325.
— apogeotropismo pronunciato dei giovani cotiledoni, p. 340.
Averrhoa bilimbi, foglia allo stato di sonno, p. 225 226.
— movimenti angolari delle foglie dormienti, p. 227-229.
— esposizione delle foglie ad una intensa luce solare, p. 304.
Azalea indica, circumnutazione del fusto, p. 143.

B

Bary (De), sull'azione dell'*Æcidium* sui rami d'*Abies*, p. 131.
Batalin, sui movimenti nictitropici delle foglie, p. 195.
— sul sonno delle foglie di *Sida napæa*, p. 220.
— sopra il *Polygonum aviculare*, p. 264.
— sopra gli effetti della radiazione sulle foglioline di *Oxalis*, p. 304-305.
Bauhinia, movimenti nictitropici, p. 255.
— movimenti dei picciuoli delle giovani pianticelle, p. 273.
— aspetto notturno delle piante, p. 274.
Beta vulgaris, circumnutazione dell'ipocotilo, p. 38.
— movimenti dei cotiledoni, p. 38-39.
— effetti della luce, p. 85.
— movimenti notturni dei cotiledoni, p. 210.
— movimenti eliotropici, p. 286.
— effetti trasmessi dalla luce sull'ipocotilo, p. 328.
— movimenti apogeotropici dell'ipocotilo, p. 336.
Bignonia capreolata, movimenti afeliotropici dei viticci, p. 294, 295, 308.
Bouché, sopra la *Melaleuca ericæfolia*, p. 262.
Brassica napus, circumnutazione dei fusti fioriferi, p. 155.
Brassica oleracea, circumnutazione delle pianticelle, p. 11.
— circumnutazione della radichetta, p. 11-12.
— movimento geotropico della radichetta, p. 12.
— movimento dell'ipocotilo arcuato, sotto terra, p. 12-13.
— circumnutazione dell'ipocotilo e dei cotiledoni riuniti, p. 15-16.
— circumnutazione dell'ipocotilo nell'oscurità, p. 17.
— circumnutazione d'un cotiledone isolato, p. 16-17.
— rapidità del movimento, p. 17.
— ellissi descritte nel raddrizzamento dell'ipocotilo, p. 74.
— movimenti dei cotiledoni, p. 79.
— movimenti del fusto, p. 140.
— movimenti delle foglie, la notte, p. 157-159.
— sonno dei cotiledoni, p. 206-207.
— circumnutazione dell'ipocotilo di una pianticella, p. 289-290.
— circumnutazione e movimento eliotropico dell'ipocotilo, p. 291.
— effetto di una luce laterale sull'ipocotilo, p. 326-328.
— movimenti apogeotropici dell'ipocotilo, p. 339-340.
— *rapa*, movimenti delle foglie, p. 158-159.
Brongniart A., sopra il sonno di *Strephium floribundum*, p. 267.
Bruce (Dr.), sopra il sonno delle foglie d'*Averrhoa*, p. 225-226.
Bryophyllum calycinum, movimenti delle foglie, p. 163,

C

Camellia Japonica, circumnutazione di una foglia, p 159.
Candolle A. (De), *Trapa natans*, p. 67.
Canna Warscewiczii, circumnutazione della sua plumula, p. 42.
— circumnutazione della foglia, 172-173.
Cannabis sativa, movimenti delle foglie, p. 171.
— movimenti notturni dei cotiledoni, p. 211.
— discesa notturna delle giovani foglie, p. 302.
Cassia, movimenti nictitropici delle foglie, p. 252.
— *barclayana*, movimenti nictitropici delle foglie, p 254.
— leggero movimento delle foglioline, p. 273.
— *calliantha*, non soffre all'esposizione notturna, p. 199, *nota*.
— movimenti nictitropici delle foglie, p. 253.
— movimenti circumnutanti delle foglie, p. 254.
— *corymbosa*, cotiledoni sensibili al contatto, p. 87.

Cassia corymbosa, movimenti nictitropici delle foglie, p. 252.
— *floribunda*, utilità dei movimenti di sonno, p. 199.
— effetto, sulle foglie, della radiazione notturna, p. 202.
— circumnutazione e movimenti nictitropici di una fogliolina, p. 254.
— movimenti di una foglia giovane e di una più vecchia, p 273.
— *florida*, cotiledoni sensibili al contatto, p. 87.
— sonno dei cotiledoni, p. 211.
— *glauca*, cotiledoni sensibili al contatto, p. 87.
— sonno dei cotiledoni, p. 211.
— *lævigata*, effetti della radiazione sulle foglie, p. 199, *nota*.
— *mimosoides*, movimenti dei cotiledoni, p. 80.
— sensibilità dei cotiledoni, p. 87.
— sonno dei cotiledoni, p. 211.
— movimenti nictitropici delle foglie, p. 254.
— effetti dei raggi solari sui cotiledoni, p. 304.
— *neglecta*, movimenti, p. 80.
— effetti della luce, p. 87.
— sensibilità dei cotiledoni, p. 87.
— *nodosa*, sensibilità dei cotiledoni, p. 87.
— non si eleva punto durante la notte, p 211.
— *pubescens*, insensibilità dei cotiledoni, p. 87.
— non soffre l'esposizione notturna, p. 201, *nota*.
— sonno dei cotiledoni, p. 211.
— movimenti nictitropici delle foglie, p, 253-254.
— movimenti circumnutanti, p. 254.
— movimenti nictitropici dei picciuoli, p. 273.
— ampiezza del movimento notturno dei picciuoli, p. 273.
— (sp.?), movimenti dei cotiledoni, p. 80.
— *tora*, circumnutazione dei cotiledoni, e degli ipocotili, p. 26, 76, 211
— effetti della luce, p. 87.
— sensibilità al contatto, p. 87.
— movimenti eliotropici e circumnutazione, p. 293.
— leggero eliotropismo dell'ipocotilo, p. 310.
— movimenti apogeotropici d'un ipocotilo più vecchio, p. 338.
— movimenti di un giovane ipocotilo, p. 346.
Cassule (sotterramento delle), p. 348.
Caustico (nitrato d'argento). Suoi effetti sulla radichetta della veccia e del pisello, p. 105, 109, 112.
Cellule (dimensioni delle) nel pulvino di *Oxalis corniculata*, p. 83.
Cellule (modificazione nelle), p. 371.
Centrosema, p. 249.
Ceratophyllum demersum, movimento del fusto, p. 145.
Cereus Landbeckii, cotiledone rudimentale, p. 68.
— *speciosissimus*, circumnutazione del fusto, p. 142.
Cerinthe major, circumnutazione dell'ipocotilo, p. 36.
— circumnutazione dei cotiledoni, p. 36-37.
— ellissi descritte durante il raddrizzamento dell'ipocotilo, p. 74.
— effetti dell'oscurità, p. 85.
Chatin, sopra il *Pinus Nordmanniana*, p. 265.
Chenopodium album, sonno delle foglie, ma non dei cotiledoni, p. 216, 218.
— movimenti delle foglie, p. 264.
Ciesielski, sulla sensibilità della punta radicolare, p. 7, 355.
Circumnutazione, definizione, p 5.
— sue modificazioni, p. 181-191.
— relazione fra essa e l'eliotropismo, p. 296.
— sua importanza per ogni pianta, p 6.
Cissus discolor, circumnutazione della foglia, p. 159-160.
Citrus aurantium, circumnutazione dell'epicotilo, p. 22-23.
— cotiledoni ineguali, p. 66.
Clianthus Dampieri, movimento notturno delle foglie, p. 204.
Clinostato, istrumento di Sachs per annullare il geotropismo, p. 65.
Clorofilla alterata da una luce intensa, p. 304.
Cobæa scandens, circumnutazione, p. 185.
Cohn, sopra l'acqua segregata dalla *Lathræa squamaria*, p. 61.
— sui movimenti delle foglioline d'*Oxalis*, p 304.
Colutea arborea, movimenti notturni delle foglioline, p. 242.
Conifere, circumnutazione, p. 146.
Coronilla rosea, sonno delle foglioline, p. 243.
Corylus avellana, circumnutazione di un giovane ramo, p. 40.
— epicotilo arcuato, p. 55.
Cotiledoni rudimentali, p. 66-68.
— circumnutazione, p. 75-78.
— movimenti notturni, p 76-78.
— cuscinetti o pulvini, p. 78-79.
— movimenti periodici turbati dalla luce, p. 85.
— sensibilità al contatto, p. 86.
— movimenti nictitropici, p. 194-204.
— (lista dei) che si elevano o si abbassano di notte, p. 206.
— osservazioni finali sui loro movimenti, p. 213.
Cotyledon umbilicus, circumnutazione degli stoloni, p. 151, 152.
Crambe maritima, circumnutazione delle foglie, p 156.
Crinum capense, aspetto delle foglie, p. 173.
— circumnutazione, p. 174.
Crittogame, circumnutazione, p. 175.
Crotolaria (sp ?) sonno delle foglie, p. 232.
Cucumis dudaim, movimenti dei cotiledoni, p 33.
— sonno dei cotiledoni, p. 208.

Cucurbita aurantia, movimento dell'ipocotilo, p. 31-32.
— cotiledoni verticali di notte, p. 208.
— *ovifera*, movimento geotropico della radichetta, p. 29.
— circumnutazione dell'ipocotilo arcuato, p. 30.
— circumnutazione dell' ipocotilo raddrizzato, p. 31.
— movimenti dei cotiledoni, p. 31, 79, 86.
— posizione della radichetta, p. 63.
— rottura degli involucri seminali, p. 71.
— circumnutazione dell' ipocotilo durante il suo raddrizzamento, p. 74.
— sensibilità dell'estremità radicolare, p. 118.
— cotiledoni verticali di notte, p. 208.
— mancanza di apogeotropismo, p. 345-346.
— cauterizzazione trasversale della estremità, p. 365.
Cycas pectinata, circumnutazione di una giovane foglia, p. 42.
— incurvatura della prima foglia, p. 56.
— circumnutazione delle foglioline terminali, p. 171.
Cyclamen persicum, movimento dei cotiledoni, p. 34.
— cotiledoni involti, p. 56, 67.
— circumnutazione del peduncolo, p. 154.
— circumnutazione della foglia, 169.
— movimento di un peduncolo fiorale, p. 295.
— interramento delle cassule, p. 295.
Cyperus alternifolius, circumnutazione del fusto, p. 146.
— movimenti del fusto, p. 345.
Cytisus fragrans, circumnutazione dell'ipocotilo, p. 29.
— sonno delle foglie, p. 235-236.
— movimento apogeotropico del fusto, p. 271.

D

Dahlia, circumnutazione delle giovani foglie, p. 167.
Dalea alopecuroides, depressione notturna delle foglioline, p. 242.
Darlingtonia californica, afeliotropismo delle foglie, p. 308, *nota*.
Darwin C., sulla *Maurandia semperflorens*, p. 154.
— sull'origine della rapa di Svezia, p. 158, *nota*.
— sui movimenti delle piante rampicanti, p. 182-183, 186.
— sull'eliotropismo dei viticci di *Bignonia*, p. 294.
— sulla rivoluzione delle piante rampicanti, p. 308, *nota*.
— sopra l'incurvatura di un viticcio, p. 386.
Darwin F., sopra le radichette di *Sinapis alba*, p. 331, *nota*.
— sopra i semi igroscopici, p. 333, *nota*.
Darwin E. sopra i peduncoli di *Cyclamen*, p. 295.
Datura stramonium, movimenti notturni dei cotiledoni, p. 205.
Delphinium nudicaule, modo col quale escono da terra, p. 57.
Delpino, sopra i cotiledoni di *Chærophyllum*, p. 67.
— picciuoli confluenti dei due cotiledoni, p. 376.
Desmodium gyrans, movimenti delle foglioline, p. 176, *nota*.
— posizione notturna delle foglie, p. 196.
— sonno delle foglie e non dei cotiledoni, p. 216.
— circumnutazione e nictitropismo delle foglie, p. 244.
— movimenti delle foglioline laterali, p. 247.
— oscillazioni delle foglioline laterali, p. 247.
— movimenti nictitropici delle foglioline, p. 273.
— diametro notturno della pianta, p. 274.
— movimento laterale delle foglie, p. 275.
— movimenti a zig-zag delle estremità fogliari, p. 276.
— aspetto delle foglioline laterali, p. 282.
D. vespertilionis, p. 248, *nota*.
Deutzia gracilis, circumnutazione del fusto, p. 141 142.
Diaeliotropismo, p. 8.
— o eliotropismo trasversale, p. 285.
— influenzato dall'epinastia, p. 299.
— influenzato dal peso o dall'apogeotropismo, p. 300.
Diageotropismo, p. 8.
— o geotropismo trasversale, p. 353.
Dianthus caryophyllus, p. 159.
— circumnutazione della giovane foglia, p. 185.
Dicotiledoni, circumnutazione in tutta la serie, p. 49.
Dionæa, oscillazioni delle foglie, p. 178.
— *muscipula*, circumnutazione di una giovane foglia, p. 164.
— chiusura dei lobi e circumnutazione, p. 165.
— oscillazioni, p. 166.
Drosera capensis, struttura della prima foglia, p. 281.
— *rotundifolia*, movimenti di una giovane foglia, p. 163.
— movimenti dei tentacoli, p. 163-164.
— sensibilità dei tentacoli, p. 178.
— aspetto delle foglie, p. 281.
— foglie non eliotropiche, p. 307-308.
— circumnutazione delle foglie, p. 310.
— sensibilità, p. 386.
Duchartre, sulla *Tephrosia caribæa*, p. 242.
— sui movimenti nictitropici di *Cassia*, p. 252.

Duval-Jouve, sui movimenti di *Bryophyllum calycinum*, p. 163.
— sui movimenti delle foglie strette delle graminacee, p. 281.
Dyer, Thiselton, sulle foglie di *Crotolaria*, p. 232.
— sulla *Cassia floribunda*, p. 252, *nota*.
— sopra i peli assorbenti delle infiorescenze di *Trifolium subterraneum*, p. 351.

E

Echeveria stolonifera, circumnutazione della foglia, p. 162.
Echinocactus viridescens, cotiledoni rudimentali, p. 68.
Echinocystis lobata, movimenti dei viticci, p. 183.
— apogeotropismo dei viticci, p. 346.
Edera, eliotropismo del fusto, p. 308.
Elfving F., sopra i rizomi di *Sparganium ramosum*, p. 131.
— sui movimenti diageotropici di alcuni rizomi, p. 353, *nota*.
Elezione naturale in connessione col geotropismo, eliotropismo, ecc., p. 386.
Eliotropismo, p. 8, 307, 333.
Elymus arenarius, chiusura delle foglie durante la giornata, p. 281.
Embriologia delle foglie, 281.
Engelmann dott., sopra *Quercus virens*, p. 60.
Epinastia, p. 8, 184.
Epicotilo o plumula, p. 7.
— uscita da terra, p. 55.
— sua forma arcuata, p. 376.
Ereditarietà, p. 277, 334.
Erythrina caffra, sonno delle foglie, p. 250.
— *corallodendron*, movimento della fogliolina terminale, p. 250.
— *crista-galli*, azione della temperatura sul sonno, p. 218.
— movimenti delle foglioline terminali, p. 250.
Eucalyptus resinifera, circumnutazione delle foglie, p. 167.
Euphorbia jacquinæflora, movimenti nictitropici delle foglie, p. 264.

F

Fiore, circumnutazione dei fusti fioriferi, p. 153-155.
Foglie (circumnutazione delle), p. 155-181.
— dicotiledoni, p. 155-172.
— monocotiledoni, p. 172-175.
Foglie, nictitropismo delle, p 181.
— loro posizione notturna, p. 202.
— sonno o movimenti nictitropici, p. 216, 269.
— periodicità ereditaria dei loro movimenti p. 277.
— embriologia delle, p. 281.
— così detto sonno diurno, p. 303.
Flahault M., sopra la rottura degli involucri seminali, p. 71, 72, 73.
Fragaria rosacea, circumnutazione degli stoloni, p. 148-150.
Fragola (stoloni della), circumnutazione, azione della luce, p. 310.
Frank dott. A. B., i termini *eliotropismo* e *geotropismo* sono stati usati dapprima da lui, p. 7, *nota*.
— azione del geotropismo sulle radichette, p. 51, *nota*.
— sopra gli stoloni di *Fragaria*, p. 148, *nota*.
— movimenti periodici delle foglie, p. 195, *nota*.
— sulle foglie radicali all'oscurità, p. 302, *nota*.
— sui pulvini, p. 330.
— l'elezione naturale ed i suoi effetti sul geotropismo, l'eliotropismo, ecc., p. 386, *nota*.
— eliotropismo trasversale, p. 285.
Fuchsia, circumnutazione del fusto, p. 141-142.
Fusti (circumnutazione dei), p. 139-147.

G

Gazania ringens, circumnutazione del fusto, p. 143.
Generi contenenti le piante dormienti, p. 219-220.
Geotropismo, p. 8.
— suoi effetti sulla radichetta primitiva, p. 136.
— opposto all'apogeotropismo, p. 347.
— suoi effetti sull'estremità radicolare, p. 367.
Geranium cinereum, p. 209.
— *Endresii*, p. 209.
— *Ibericum*, movimenti notturni dei cotiledoni, p. 205.
— Richardsoni, p. 209.
— *rotundifolium*, movimenti notturni dei cotiledoni, 209, 214.
— *subcaulescens*, p. 209.
Germinazione, modificazione del seme germogliante, p. 372.
Gimnosperme, p. 265.
Githago segetum, circumnutazione dell'ipocotilo, p. 18, 75.
— interramento dell'ipocotilo, p. 75.
— pianticelle debolmente rischiarate, p. 86, 88.
— sonno di un cotiledone, p. 207.
— sonno delle foglie, p. 219.

Glaucium luteum, circumnutazione delle giovani foglie, p. 156.
Gleditschia, sonno delle foglie, p. 252.
Glycine hispida, discesa verticale delle foglioline, p. 250.
Glycyrrhiza, depressione notturna delle foglioline, p. 242.
Godlewski E , sopra la turgescenza delle cellule, p. 330
Gossypium (var. cotton Nankin), circumnutazione dell'ipocotilo, p 19.
— movimenti di un cotiledone, p. 19.
— sonno delle foglie, p. 222.
— *arboreum* (?), sonno dei cotiledoni, p. 208.
— *braziliense*, movimento notturno delle foglie, p. 222.
— sonno dei cotiledoni, p. 208.
— *herbaceum*, sensibilità dell'estremità radiculare, p. 117.
— cauterizzazione trasversale della radichetta, p. 364.
— *maritimum*, movimento notturno delle foglie, p. 222.
Grasso, suoi effetti sulle radichette, p. 126.
Gravitazione, movimenti ch' essa determina, p. 384.
Gray, Asa, sopra il *Delphinium nudicaule*, p. 57.
— sopra la *Megarrhiza californica*, p. 58.
— sopra l' *Asplenium trichomanes*, p. 176.
— sopra l'*Amphicarpæa monoica*, p. 353.
— sopra l'*Ipomæa Jalappa*, p. 378.
— Gressner dott., sopra il *Cyclamen Persicum*, p. 34, 56.
— sopra il *Cyclamen Persicum* (ipocotilo) p. 67.

H

Haberland dott., sopra l'ipocotilo dell'*Allium*, p. 43.
— sopra l'importanza dell'incurvatura delle giovani pianticelle, p. 62.
— sopra i cotiledoni epigei ed ipogei, p. 76.
— sull'incurvatura dell'ipocotilo, 376.
Hæmatoxylon Campechianum, movimenti notturni delle foglie, p. 252.
Hedera helix, circumnutazione, p. 143.
Hedysarum coronarium, movimenti notturni delle foglie, p, 243.
Helianthemum prostratum, geotropismo dei capitoli, p. 351.
Helianthus annuus, circumnutazione dell'ipocotilo, p. 33-34.
— movimenti notturni dei cotiledoni, p. 209.
— curvatura ad arco dell'ipocotilo, p. 64.
Helleborus niger, modo col quale esce da terra, p. 61.
Hensen, prof., sopra le radici nei fori dei vermi, p. 52.
Henslow, Rév., sopra il *Phalaris canariensis*, p. 45.
Hofmeister, sopra i movimenti di Spirogyra, p. 6, 177, *note*.
— sopra le foglie di *Pistia stratiotes*, p. 174.
— sopra i movimenti notturni dei cotiledoni, p 204.
— sopra i movimenti notturni dei petali, 281.
— e Batalin, sopra i movimenti di cavolo, p. 157.
Hooker, Sir J., sugli effetti della luce sopra gli Ascidi di *Sarracenia*, p. 308.

I

Iberis umbellata, movimenti del fusto, p. 140.
Illuminazione, sua influenza sui movimenti delle foglie, p. 271.
Imatophyllum vel *Clivia* (sp.?), movimenti delle foglie, p. 174.
Indigofera tinctoria, depressione notturna delle foglie, p. 242
Insettivore (piante), non eliotropiche, p. 307-308
— effetti prodotti su di esse dalla luce, p. 332.
Involucri seminali (rottura degli involucri), p. 71 e seguenti.
Ipocotilo, p. 7, 56, 375.
Ipocotili ed Epicotili, circumnutazione durante la loro incurvatura, p. 69.
— facoltà di raddrizzamento, p. 70.
— rottura degli involucri, p. 72.
— circumnutazione dopo il raddrizzamento, p. 74.
— circumnutazione nell'oscurità, p. 74-75.
Ipomæa bona nox, incurvatura dell'ipocotilo, p. 64.
— posizione notturna dei cotiledoni, p. 210, 214.
— *cærulea* vel *Pharbitis vil*, cicumnutazione, p. 35.
— movimenti di cotiledoni, p. 35, 36, 75.
— movimento notturno dei cotiledoni, p. 210.
— sonno delle foglie, p. 263.
— sensibilità all'influenza luminosa, p. 308.
— eliotropismo dell'ipocotilo, p. 309.
— *coccinea*, posizione notturna dei cotiledoni, p. 210, 214.
— *leptophylla*, modo col quale esce da terra, p. 59, 60.
— incurvatura dei picciuoli dei cotiledoni, p. 64.
— differenza nella sensibilità delle diverse parti alla gravitazione, p. 345.
— modo straordinario di germinazione, p. 378.
— *pandurata*, modo di germinazione, p. 60, 378.

Ipomœa purpurea (vel *Pharbitis hispida*), movimenti notturni dei cotiledoni, p. 210, 214.
— sonno delle foglie, p. 263.
— sensibilità all'azione luminosa, p 308.
— eliotropismo dell'ipocotilo, p. 309.
Iponastia, p. 8, 184.
Iris pseudo-acorus, circumnutazione delle foglie, p. 173.
Irmisch, sopra i cotiledoni di *Ranunculus ficaria*, p. 67.

K

Kerner, sopra l'incurvatura dei peduncoli, p. 281.
Kraus, sopra il *Triticum repens*, p. 131, *nota*.
— sopra la *Cannabis sativa*, p. 171, 211, 214.
— sopra i movimenti delle foglie, p. 218.

L

Lactuca scariola, sonno dei cotiledoni, p. 209.
Lagenaria vulgaris, circumnutazione delle pianticelle, p. 32.
— circumnutazione dei cotiledoni, p. 32.
— cotiledoni verticali di notte, p. 208.
Lathræa squammaria, modo col quale esce da terra, p. 61.
— quantità d'acqua secreta, p. 61, *nota*.
Lathyrus nissolia, circumnutazione del gambo di una giovane pianticella, p. 26.
— ellissi descritte, p. 74, 75.
Leguminose, sonno dei cotiledoni, p. 211.
— specie dormienti, p. 232.
Le Maout e Decaisne, p. 49.
Lepidium sativum, sonno dei cotiledoni, p. 207.
Lilium auratum, circumnutazione del fusto, p. 146.
— movimento apogeotropico del fusto, p. 339.
Linneo, *Somnus plantarum*, p. 193.
— sopra le piante dormienti, p. 219.
— sopra le foglie di *Sida abutilon*, p. 222.
— sopra l'*Ænothera mollissima*, p. 262.
Linum Berendieri, movimenti notturni dei cotiledoni, p. 205.
— *usitatissimum*, circumnutazione del fusto, p. 140.
Lolium perenne, apogeotropismo, p. 341.
Lonicera brachypoda, incurvatura dell'estremità, p. 186.
— sensibilità alla luce, p. 309.
Loomis, sopra l'*Asplenium trichomanes*, p. 176.
Lotus aristata, effetti dell'irradiazione sulle foglie, p. 200-201.
— *Creticus*, foglie allo stato di veglia e di sonno, p. 242.
Lotus Gebelii, movimento notturno dei cotiledoni, p. 212.
— pulvino delle foglioline, p. 242.
— *Jacobæus*, movimenti dei cotiledoni, p. 27, 76.
— pulvini (dei), p. 79.
— movimenti notturni, p 80, 84, 85.
— sviluppo del pulvino, p. 84.
— sonno dei cotiledoni, p. 211, 215.
— movimento nictitropico delle foglie, p. 241.
— *major*, sonno delle foglie, p. 241, 242.
— *peregrinus*, movimenti delle foglioline, p. 242.
Luce, movimenti ch'essa determina, 285, 380, 381.
— sua influenza sulla maggior parte dei tessuti vegetali, p. 330.
— essa agisce sopra la pianta come sul sistema nervoso di un animale, p. 331.
Lunularia vulgaris, circumnutazione delle fronde, p. 176.
Lupinus, p. 233.
— *albifrons*, sonno e movimenti delle foglie, p. 235.
— *Hartwegii* id., p. 233.
— *luteus*, circumnutazione dei cotiledoni, p. 29, 76, 85.
Lupinus, posizione delle foglie che dormono, p. 233.
— differenti posizioni delle foglie nella notte, p, 234.
— varii movimenti delle foglie e foglioline, p. 270.
— *Menziesii*, sonno delle foglie, p 235.
— *mutabilis*, sonno delle foglie, p. 235.
— *nanus*, sonno delle foglie, p. 235.
— *pilosus*, sonno delle foglie, p 233.
— *polyphyllus*, sonno delle foglie, p. 235.
— *pubescens*, sonno delle foglie nella giornata e di notte, p. 234.
— posizione dei picciuoli nella notte, p. 234.
— movimenti dei picciuoli, p. 273.
— *speciosus*, circumnutazione delle foglie, p. 162.
Lynch, Mr. B., sopra la *Pachira aquatica*, p. 66, *nota*.
— sopra i movimenti di sonno di *Averrhoa*, p. 225-226.

M

Maranta arundinacea, movimento nictitropico delle foglie, p. 266.
— mancanza di sonno dopo violenta agitazione, p. 218.
Marsilea quadrifoliata, effetto dell'irradiazione notturna, p. 201.
— circumnutazione e nictitropismo delle foglioline, p. 267-269.
— rapidità del movimento, p. 275.

Martins, sull'irradiazione notturna, p. 196.
Masters, Dr Maxwell, sopra le radici delle conifere, p. 146.
Maurandia semperflorens, circumnutazione del peduncolo, p. 154.
Medicago maculata, sonno delle foglie, p. 235.
— *marina*, sonno delle foglie, p. 236.
Meehan, Mr., effetto dell'*Æcidium* sulla *Portulaca oleracea*, p. 131.
Megarrhiza californica, modo di germinazione, p. 58, 59, 378.
Melaleuca ericæfolia, sonno delle foglie, p. 262.
Melarancio, circumnutazione di una pianticella, p. 316.
Melilotus, sonno delle foglie, p. 236.
— *alba*, sonno delle foglie, p. 237.
— *cærulea*, sonno delle foglie, p. 237.
— *dentata*, effetti dell'irradiazione notturna, p. 203
— *elegans*, sonno delle foglie, p. 237.
— *gracilis*, sonno delle foglie, p. 237.
— *infesta*, sonno delle foglie, p. 237.
— *italica*, foglie nell'oscurità, p. 200
— sonno delle foglie, p 237.
— *macrorrhiza*, foglie nell'oscurità, p. 200.
— sonno delle foglie, p. 237.
— *messanensis*, sonno delle foglie, p. 238, 282.
— *officinalis*, effetti dell'esposizione delle foglie all'oscurità, p. 200, 203.
— movimenti notturni delle foglie, p. 236-237.
— circumnutazione delle foglie, p. 238.
— movimento dei picciuoli, p. 273.
— *parviflora*, sonno delle foglie, p. 237.
— *petitpierreana*, foglie nell'oscurità, p. 200, 203.
— sonno delle foglie, p. 237.
— *secundiflora*, sonno delle foglie, p. 237.
— *suaveolens*, foglie nell'oscurità, p. 200.
— sonno delle foglie, p. 237.
Melilotus sulcata, sonno delle foglie, p. 237.
— *taurica*, foglie nell'oscurità, p 200.
— sonno delle foglie, p. 237, 282.
Metodo di osservazione, p. 8.
Mimosa albida, cotiledoni verticali di notte, p. 80.
— cotiledoni insensibili al contatto, p 88.
— cotiledoni dormienti, p. 211.
— foglioline rudimentali, p. 249.
— movimenti nictitropici delle foglie, p. 259-260
— circumnutazione del picciuolo principale, p. 260.
— torsione o rotazione delle foglie e foglioline, p. 272.
— prima vera foglia, p 282.
— effetti del sole sopra le foglioline basilari, p. 303.
— *marginata*, movimenti nictitropici delle foglioline, p. 261.
Mimosa pudica, movimenti dei cotiledoni, p. 73.
— rottura degli involucri seminali, p. 73.
— circumnutazione dei cotiledoni, p. 76.
— (pulvini di), p. 78-79.
— cotiledoni verticali di notte, p. 79.
— appena sensibili al contatto, p. 88.
— effetti dell'esposizione all'oscurità, p. 202.
— movimenti notturni delle foglie, p. 204.
— sonno dei cotiledoni, p. 211.
— circumnutazione e movimento nictitropico del picciuolo principale, p. 256-259.
— delle foglioline, p. 259.
— circumnutazione e movimento nictitropico delle foglie, p. 274.
— numero delle ellissi descritte in un tempo dato, p. 276.
— effetti del sole sulle foglioline, p. 304.
Mirabilis jalapa e *longiflora*, movimenti notturni dei cotiledoni, p. 210.
— movimento nictitropico delle foglie, p. 264.
Mohl, sopra l'eliotropismo dei viticci, e dei fusti delle rampicanti, p. 308.
Monocotiledoni, sonno delle foglie, p. 266.
Monotropa hypopitys, modo di germinazione, p. 61.
Morren, sopra i movimenti degli stami di *Sparmannia* e di *Cereus*, p 155.
Müller, Fritz, sopra la *Cassia tora*, p. 26, *nota*.
— sopra la circumnutazione del *Linum usitatissimum*, p. 140.
— sopra i movimenti dei peduncoli di *Alisma*, p. 155.
Mutisia clematis, movimenti delle foglie, p. 168.
— foglie non eliotropiche, p. 308.

N

Nephrodium molle, circumnutazione di una giovane fronda, p. 47.
— circumnutazione di una fronda più vecchia, p. 175.
— movimento dubbioso delle fronde, p. 345.
Neptunia oleracea, sensibilità al contatto, p. 89.
— movimento nictitropico delle foglioline, p. 256.
— movimento delle foglie, p. 274.
Nicotiana glauca, sonno delle foglie, p. 263-265.
— circumnutazione delle foglie, p. 265.
Nictitropismo, o sonno delle foglie, p. 194.
— suoi rapporti coll'irradiazione, p. 196-197.
— suo scopo, 280-281.
— foglie dotate di questo movimento, p. 379.
Nobbe, sopra la germinazione di *Martynia*, p. 73, *nota*.
Nolana prostrata, movimento delle pianticelle nell'oscurità, p. 37.

O

Œnothera mollissima, sonno delle foglie, p. 262.
Opuntia basilaris, circumnutazione combinata dell'ipocotilo e di un cotiledone, p. 33.
— circumnutazione di un ipocotilo solo, p. 67.
— circumnutazione dell'ipocotilo quando si raddrizza, p. 74.
— interramento dell'ipocotilo, p. 75.
Orchis pyramidalis, movimenti complessi dei pollinii, p. 333.
Oscurità, sua influenza sui movimenti delle foglie, p. 278.
Oxalis acetosella, circumnutazione del peduncolo fiorale, p. 153.
— effetti dell'esposizione all'irradiazione notturna, p. 197, 198, 203.
— circumnutazione e movimenti nictitropici di una foglia quasi completamente sviluppata, p. 224.
— circumnutazione e movimento nictitropico di una fogliolina, p. 225.
— celerità di circumnutazione delle foglioline, p. 275.
— effetto del sole sulle foglioline, p. 304-305.
— circumnutazione del peduncolo, p. 343-344.
— le sue cassule non sono sotterrate che qualche volta, p. 351.
— *articulata*, movimenti notturni dei cotiledoni, p. 211.
— (*Biophytum*) *sensitiva*, rapidità del movimento dei cotiledoni durante il giorno, p. 22.
— pulvino della, p. 78.
— cotiledoni verticali di notte, p. 80-81.
— *bupleurifolia*, circumnutazione di un picciuolo fogliaceo, p. 225.
— circumnutazione e movimento nictitropico della fogliolina terminale, p. 226.
— *carnosa*, circumnutazione del fusto fiorifero, p. 153.
— movimenti epinastici dei fusti fioriferi, p. 342.
— effetto dell'esposizione all'oscurità, p. 198 203.
— movimenti dei peduncoli fioriferi dovuti all'apogeotropismo e ad altre forze, p. 342-344.
— *corniculata* (var. *cuprea*), movimenti dei cotiledoni, p. 21.
— posizione dei cotiledoni, p. 80.
— pulvini rudimentali dei cotiledoni, p. 82.
— sviluppo del pulvino, p. 84.
— effetti della luce, p. 85.
— esperimenti sulle foglie tenute nell'oscurità, p. 198.
— *floribunda*, pulvino e cotiledoni, p. 79.
— movimento notturno, p. 81, 211, 214, 215.
— *fragrans*, sonno delle foglie, p. 222.
Oxalis Ortegesii, circumnutazione dei fusti fioriferi, p. 154.
— sonno delle larghe foglie, p. 224.
— diametro della pianta di notte, p. 274.
— influenza della luce solare sulle foglioline, p. 304.
— *Plumierii*, sonno delle foglie, p. 224.
— *purpurea*, esposizione delle foglie all'oscurità, p. 202.
— *rosea*, circumnutazione dei cotiledoni, p. 20-21.
— pulvino della, p. 78.
— movimento dei cotiledoni nell'oscurità, p. 81, 82, 211.
— effetto della luce, p. 86.
— mancanza di sensibilità nei cotiledoni, p. 88.
— *sensitiva*, movimento dei cotiledoni, p. 76, 88.
— circumnutazione del fusto fiorifero, p. 154.
— movimento notturno dei cotiledoni, p. 211, 214.
— sonno delle foglie, p. 224.
— *tropœoloides*, movimento del cotiledone di notte, p. 81, 83.
— *valdiviana*, circumnutazione combinata d'un cotiledone e dell'ipocotilo, p. 21.
— cotiledoni verticali di notte, p. 79, 80, 81.
— cotiledoni non sensibili, p. 88.
— movimento notturno dei cotiledoni, p. 211, 214.
— diversità del sonno delle foglie e dei cotiledoni, p. 216.
— movimenti delle foglie, p. 223.

P

Pachira aquatica, cotiledoni ineguali, p. 66, *nota*.
Pancratium littorale, movimento delle foglie, p. 174.
Pareliotropismo, sonno diurno delle foglie, p. 303.
Passiflora gracilis, circumnutazione e movimento nictitropico delle foglie, p. 262.
— movimento apogeotropico dei viticci, p. 346.
— sensibilità dei viticci, p. 374.
Pelargonium zonale, circumnutazione del fusto, p. 140
— circumnutazione e discesa delle foglie, p. 159, 160, 185.
Petunia violacea, movimento di discesa e circumnutazione di una foglia assai giovane, p. 169, 170, 185.
Pfeffer, prof., sopra la turgescenza delle cellule, p. 6.
— sopra i pulvini delle foglie, p. 78, 81.
— sui movimenti di sonno delle foglie, p. 193, 195.
— sull'elevazione notturna delle foglie di *Malva*, p. 222.
— intorno ai movimenti delle foglie di *Desmodium gyrans*, p. 245.
— sopra il *Phyllanthus Niruri*, p. 265.

Pfeffer, sull'azione del pulvino sulle foglie, p. 270.
— sui movimenti periodici delle piante dormienti, p. 277.
— sui movimenti dei petali, p. 281.
— intorno agli effetti dell'illuminazione sulle foglioline di *Robinia*, p. 303.
— sugli effetti della luce sulle parti provvedute di un pulvino, p. 330.
Phalaris canariensis, movimenti delle vecchie pianticelle, p. 45.
— circumnutazione dei cotiledoni, p. 45, 46, 75.
— movimento eliotropico e circumnutazione di un cotiledone abbastanza vecchio verso una luce debole e laterale, p. 291.
— sensibilità del cotiledone alla luce, p. 311.
— effetto dell'esclusione della luce dalle estremità dei cotiledoni, p. 311.
— incurvatura verso la luce, p. 312.
— effetto dell'inchiostro di Cina, p 317 e seg.
— effetti trasmessi dalla luce, p. 320.
— illuminazione laterale, p. 320.
— movimento apogeotropico dei cotiledoni inguainati, p. 337.
— trasformazione del movimento apogeotropico in circumnutazione, p. 340.
— movimento apogeotropico di un cotiledone, p. 339.
Phaseolus Hernandesii, movimento notturno delle foglie e foglioline, p. 251.
— *caracalla*, p. 66.
— movimento notturno delle foglie, p. 251.
— effetto della luce sulle foglioline, p. 303.
— *multiflorus*, movimento delle radici, p. 23.
— delle giovani radichette, p. 52.
— dell'ipocotilo, p. 65, 66.
— sensibilità dell'apice della radice, p. 114-116.
— sensibilità dell'estremità radicolare all'aria umida, p. 126.
— cauterizzazione e copritura di grasso dell'estremità, p. 364.
— movimento notturno delle foglie, p. 251.
— movimento nictitropico della prima foglia, p. 271.
— *Roxburghii*, effetti dell'irradiazione sulle foglioline, p. 303.
— *vulgaris*, p. 66.
— sonno delle foglie, p. 218.
— discesa verticale delle foglioline durante la notte, p. 251.
Phyllanthus Niruri, sonno delle foglioline, p. 265.
— *linoides*, sonno delle foglie, p. 264.
Piante giovani, loro movimenti circumnutanti, p. 11.
Piante, sensibilità alla luce, p. 307.
— movimenti igroscopici, p. 333.
— rampicanti, circumnutazione, p. 182.
— rampicanti, movimenti delle, p. 379.
Piante adulte, circumnutazione delle, p. 139-147.
Picciuoli, loro elevazione ed utilità per la pianta di notte, p. 274.
Pilocereus Houlletii, cotiledoni rudimentali, p. 68.
Pimelia spectabilis, sonno delle foglie, p. 264.
Pinus austriaca, circumnutazione delle foglie, p. 172.
— *nordmanniana*, movimento nictitropico delle foglie, p 265.
— *pinaster*, circumnutazione del cotiledone, p. 41.
— movimento di due cotiledoni opposti, p. 42.
— circumnutazione di una giovane foglia, p. 171-172.
— movimento epinastico inferiore di una giovane foglia, p. 188.
Pinzetta di legno attraverso alla quale si son fatte passare delle radichette di fava, p. 54.
Pistia stratiotes, movimento delle foglie, p. 174.
Pisum sativum, sensibilità dell'apice radicolare, p. 110.
— cauterizzazione dell'estremità radicolare, 363.
Plinio, sopra il sonno delle piante, p. 193.
Plumbago capensis, circumnutazione del fusto, p. 143-144.
Poinciana Gilliesii, sonno delle foglie, p. 252.
Polygonum aviculare, foglie verticali di notte, p. 264.
— *convolvulus*, movimento di discesa delle foglie, p. 218.
Pontederia (sp.?), circumnutazione delle foglie, p. 175.
Porlieria hygrometrica, circumnutazione e movimenti nictitropici del picciuolo della foglia, p. 228-231.
— effetti dell'inaffiamento, p. 230-231.
— occlusione delle foglioline durante la giornata, p. 281.
Portulaca oleracea, effetti dell'*Æcidium*, p. 131.
Primula sinensis, circumnutazione unita dell'ipocotilo e di un cotiledone, p. 34.
Pringshein, sopra la distruzione della clorofilla, p. 304, *nota*.
Prosopis, movimenti nictitropici delle foglioline, p. 256.
Psoralea acaulis, movimenti notturni delle foglioline, p. 242.
Pteris aquilina, rachide della, p. 61.
Pulvini, dei pulvini ed articolazioni dei cotiledoni, p. 78-84.
— loro azione sui movimenti dei cotiledoni, p. 215.
— loro azione sui movimenti nictitropici, p. 270.

Q

Quercus (sp. americana), circumnutazione di un giovane fusto, p. 39-40.
— *robur*, movimento delle radichette, p. 39-40.
— sensibilità dell'apice radicolare, p. 121-123.
— *virens*, modo di germinazione, p. 60, 378.

R

Radiazione notturna, sua azione sulle foglie, p. 195-196.
Radichette, loro modo di penetrare nel terreno, p. 50-55.
— circumnutazione delle, p. 50.
— esperienze colla pinzetta di legno e coi pezzi di legno perforati, p. 54.
— sensibilità dell'apice al contatto e ad altri eccitanti, p. 91.
— di *Vicia faba*, p. 93-110.
— vari esperimenti, p. 95-99.
— riassunto dei risultati, p. 101-106.
— influenza di un eccitante confrontata con quella del geotropismo, p. 106-107.
— sensibilità delle estremità all'aria umida, p. 125.
— estremità coperte di grasso, p. 128.
— effetto della distruzione della radichetta primaria, p. 129.
— incurvatura delle, p. 133.
— effetti dell'eccesso di umidità, p. 137.
— localizzazione della sensibilità geotropica, 367.
— uscita e circumnutazione di un seme germogliante, p. 372.
— estremità sensibile al contatto, p. 373.
— la cui estremità agisce come il cervello di un animale inferiore, p. 388.
— secondarie, sensibilità delle estremità nella fava, p. 108.
— secondarie, divergenza verticale geotropica, p. 129-132.
Ramey sopra i movimenti notturni dei cotiledoni di *Mimosa pudica*, e di *Clianthus Dampieri*, p. 204.
Ranunculus ficaria, modo di germinazione, p. 61, 64.
— cotiledone unico, p. 67.
— effetto della luce laterale, p. 330.
Raphanus sativa, sensibilità dell'apice radicolare, p. 119.
— sonno dei cotiledoni, p. 207.
Rattan, sopra la germinazione dei semi di *Megarrhiza californica*, p. 59.
Relazione fra la circumnutazione e l'eliotropismo, p. 92, 96.
Reseda odorata, eliotropismo dell'ipocotilo, p. 310.
Rhipsalis cassytha, cotiledoni rudimentali, p. 68.
Ricinus borboniensis, circumnutazione dell'ipocotilo, p. 39.
Riversione dovuta alla mutilazione, p. 131.
Robinia, effetti dell'irradiazione solare sulle foglie, p. 303.
— *pseudo-acacia*, foglie verticali di notte, p. 242.
Rodier, sopra i movimenti di *Ceratophyllum demersum*, p. 145.
Royer Ch., sopra i movimenti di sonno, p. 193, *nota*.
— sopra il sonno delle foglie, p. 217.
— sulle foglie di *Medicago maculata*, p. 235.
— sopra la *Wistaria sinensis*, p. 242.
Rubus idœus (ibrido), circumnutazione di un fusto, p. 141-142.
— movimento apogeotropico del fusto, p. 338.
Ruiz e Pavon, sopra la *Porlieria hygrometrica*, p. 230.

S

Sachs, sopra la nutazione girante, p. 5.
— sull'intima connessione fra la turgescenza e l'accrescimento, p. 5, *nota*.
— sopra i cotiledoni della cipolla, p. 43.
— intorno all'adattamento dei peli radiculari, p. 50.
— sul movimento della radichetta, p. 51, 52, 53
— sul movimento degli ipocotili di fava, p. 65.
— sulla sensibilità delle radichette, p. 92, 102, 137.
— della sensibilità della radichetta primaria nella fava, p. 108.
— intorno alla sensibilità della radichetta primaria nel pisello, p. 109.
— sull'effetto dell'umidità dell'aria, p. 125.
— sull'effetto della distruzione della radichetta primaria, p. 129, 130.
— sulla circumnutazione dei fusti fioriferi, p. 155.
— sull'epinastia, p. 184.
— sui movimenti delle foglioline di *Trifolium incarnatum*, p. 239.
— sopra l'azione della luce sui movimenti periodici delle foglie, p. 285.
— intorno al geotropismo ed eliotropismo, p. 297.
— sul *Tropæolum majus*, p. 310.
— sopra gli ipocotili di edera leggermente eliotropici, mentre i fusti sono afeliotropici, p. 310.
— dell'eliotropismo delle radichette, p. 328.
— intorno agli esperimenti sul taglio delle estremità radicolari di fava, p. 355.
— sulla curvatura dell'ipocotilo, p. 377.
— sulla somiglianza fra i movimenti delle piante e molti atti eseguiti dagli animali inferiori, p. 387.

Sarracenia purpurea, circumnutazione di un giovane ascidio, p. 156.
Saxifraga sarmentosa, circumnutazione di uno stolone inclinato, p. 149.
Schrankia aculeata, movimento nictitropico delle foglie, p. 261, 274.
— *uncinata*, movimento nictitropico delle foglioline, p. 261.
Securigera coronilla, movimenti notturni delle foglioline, p. 241.
Selaginella, circumnutazione della, p. 176.
— *Kraussii* (?), circumnutazione di una giovane pianta, p. 48.
Sida napæa, depressione notturna delle foglie, p. 220.
— non del pulvino, p. 220.
— *retusa*, le foglie si elevano verticalmente, p. 220.
— *rhombifolia*, sonno dei cotiledoni, p. 212.
— sonno delle foglie, p. 216.
— movimenti delle foglie, p. 220.
— non del pulvino, p. 220.
— circumnutazione e movimenti nictitropici di una foglia di una giovane pianta, p. 221.
— movimento nictitropico delle foglie, p. 271.
Siegesbeckia orientalis, sonno delle foglie, p. 218, 263.
Sinapis alba, incurvatura dell'ipocotilo verso la luce, p. 315.
— effetti della luce sulle radichette, p. 328, 384.
— accrescimento delle radici nell'oscurità, p. 331.
— *nigra*, sonno dei cotiledoni, p. 207.
Smilax aspera, viticci afeliotropici, p. 308.
Smithia Pfundii, cotiledoni non sensibili, p. 88.
— movimento iponastico dell'estremità uncinata di un ramo, p. 188-179.
— i cotiledoni non dormono di notte, p. 211.
— movimento verticale delle foglie, p. 243.
— *sensitiva*, sensibilità dei cotiledoni al contatto, p. 87.
— sonno dei cotiledoni, p. 211.
Solanum dulcamara, fusti circumnutanti, p. 183.
— *lycopersicum*, movimenti dell'ipocotilo, p. 37.
— dei cotiledoni, p. 37.
— effetti dell'oscurità, p. 85.
— elevazione notturna dei cotiledoni, p. 210.
— movimenti eliotropici dell'ipocotilo, p. 287.
— effetti della luce intermittente, p. 312.
— rapido eliotropismo, p. 315.
— *palinacanthum*, circumnutazione di un ipocotile arcuato, p. 37, 70.
— dei cotiledoni, p. 37.
— ellissi descritte dagli ipocotili dopo il loro raddrizzamento, p. 74.
Solanum palinacanthum, movimenti notturni dei cotiledoni, p. 210.
Sophora chrysophylla, le foglioline si elevano di notte, p. 251
Sparganium ramosum, rizomi dei, p. 131.
Sphærophysa salsosa, elevazione delle foglioline, p. 242.
Spirogyra princeps, movimenti della, p. 177, *nota*.
Stahl, Dr., sopra l'*Æcidium*, p. 131.
— sull'influenza della luce sopra le spore, p. 332, *nota*.
Stapelia sarpedon, circumnutazione dell'ipocotilo, p. 34, 35.
— cotiledoni ridotti, p. 68.
Stellaria media, movimento notturno delle foglie, p. 204.
Stoloni, circumnutazione dei, p. 148-152, 379.
Strasburger, influenza della luce sulle spore di *Hæmatococcus*, p. 311, *nota*.
— influenza della luce sopra le zoospore, p. 332.
Strephium floribundum, circumnutazione e movimento nictitropico delle foglie, p. 267.

T

Tamarindus indica, movimento nictitropico delle foglioline, p. 255.
Tecoma radicans, fusti afeliotropici, p. 308.
Tephrosia caribæa, p. 242.
Terminologia, p. 7.
Thalia dealbata, sonno delle foglie, p. 266.
— movimento laterale delle foglie, p. 275.
Trapa natans, cotiledoni ineguali, p. 67, *nota*.
Trichosanthes anguina, azione dello sperone, p. 73.
— movimento notturno dei cotiledoni, p. 208.
Trifolium, posizione notturna delle foglioline terminali, p. 194.
— *globosum*, peli protettori dei fiori, p. 351.
— *glomeratum*, movimento dei cotiledoni, p. 212.
— *incarnatum*, id.
— *pannonicum*, intorno alla prima vera foglia, p. 239.
— *pratense*, foglie esposte all'oscurità, p. 202.
— *repens*, circumnutazione dei peduncoli fioriferi, p. 154.
— movimenti circumnutanti ed epinastici dei peduncoli fioriferi, p. 190-191.
— movimento nictitropico delle foglie, p. 238.
— movimenti nictitropici e circumnutanti delle foglioline terminali, p. 240-241.
— movimenti di sonno, p. 238.
— *resupinatum*, cotiledoni senza pulvino, p. 81.
— circumnutazione del fusto, p. 141.
— effetti dell'oscurità, p. 202.
— posizione dei cotiledoni durante la notte, p. 81, 124.

Trifolium resupinatum, circumnutazione e movimenti nictitropici della fogliolina terminale, p. 240, 241.
— *strictum*, movimenti notturni dei cotiledoni, p. 80, 81.
— movimenti notturni e diurni dei cotiledoni, p. 212, 213, 215.
— movimento del cotiledone sinistro, p. 216.
— *subterraneum*, movimenti dei capitoli, p. 72.
— movimenti notturni dei cotiledoni, p. 80, 81, 212.
— circumnutazione dei peduncoli fioriferi, p. 154.
— circumnutazione e movimenti nictitropici delle foglie, p. 240.
— numero delle ellissi in 24 ore, p. 275.
— sotterramento delle infiorescenze, p. 348.
— movimenti del peduncolo, p. 350.
Trigonella Cretica, sonno delle foglie, p. 235.
Triticum repens, i suoi germogli sotterranei si piegano in alto, p. 131, *nota*.
— *vulgare*, sensibilità delle radichette all'umidità dell'aria, p. 128.
Tropæolum majus (?), sensibilità dell'apice della radichetta al contatto, p. 116.
— circumnutazione del fusto, p. 141.
— influenza dell'illuminazione sui movimenti nictitropici, p. 231, 232, 235.
— movimento eliotropico e circumnutazione dell'epicotilo di una giovane pianticella, p. 292.
Tropæolum majus (?), movimento eliotropico e circumnutazione di un vecchio internodio verso una luce laterale, p. 293.
— fusti giovani fortemente eliotropici, fusti vecchi leggermente afeliotropici, p. 310.
— azione della luce laterale, p. 332.
— *minus* (?), circumnutazione dell'ipocotilo arcuato e sotterrato, p. 22.

U

Ulex o ginestra spinosa, prima vera foglia, p. 281.
Uraria lagopus, discesa notturna verticale delle foglioline, p. 249.

V

Vaucher, sopra il sotterramento delle infiorescenze nel *Trifolium subterraneum*, p. 348.
— sopra la protezione dei semi, p. 351.
Verbena melindres (?), circumnutazione del fusto nell'oscurità, p. 145.
— movimento apogeotropico del fusto, p. 336.
Vicia faba, circumnutazione della radichetta, p. 24.
Vicia faba, dell'epicotilo, p. 25.
— curvatura dell'ipocotilo, p. 64-65.
— sensibilità dell'apice della radichetta, p. 93-94.
— sensibilità degli apici delle radici secondarie, p. 108.
— sensibilità al contatto della radichetta primaria un poco al disopra della sua estremità, p. 108
— esperimenti dimostranti la sensibilità degli apici radicolari, p. 95-101.
— riassunto dei risultati ottenuti dalle esperienze sulle radichette, p. 101-106.
— influenza di un eccitante sulla sua estremità radicolare, confrontata con quella del geotropismo, p. 106-108.
— circumnutazione delle foglie, p. 160-161.
— circumnutazione delle foglioline terminali, p. 161.
— effetti dell'apogeotropismo, p. 302.
— effetti ottenuti tagliando l'estremità delle radichette, p. 355.
— rigenerazione delle estremità, p. 357.
— effetti dell'amputazione delle radichette praticata obliquamente, p. 358.
— cauterizzazione delle estremità, p. 359.
— estremità spalmate di grasso, p. 362-363.
Vine, sulla turgescenza nelle cellule, p. 6.
Vries (De), sulla turgescenza, p. 6.
— sull'epinastia ed iponastia, p. 8, 184.
— sulla protezione degli ipocotili durante l'inverno, p. 378.
— stoloni afeliotropici, p. 310.
— sul movimento nictitropico delle foglie, p. 195
— sulla posizione delle foglie influenzata dall'epinastia, dal proprio peso, e dall'apogeotropismo, p. 300.
— sull'apogeotropismo dei picciuoli e delle nervature mediane, p. 302.
— sopra gli stoloni di fragola, p. 310.

W

Wells, *Essai sur la rosée*, p. 196, *nota*.
Wiesner (prof.), sulla circumnutazione dell'ipocotilo, p. 69.
— sull'incurvatura dovuta alla plasticità dell'organo ed al suo peso, p. 187.
— osservazioni sugli effetti della luce sulla clorofilla delle foglie, p. 304.
— sugli effetti della luce intermittente, p. 312
— sulle radici aeree, p. 331.
— su speciali adattamenti, p. 333.
Wigandia, movimenti delle foglie, p. 170.
Williamson (prof.), intorno alle foglie di *Drosera Capensis*, p. 281.

Wilson A. S., sul movimento delle foglie nella rapa di Svezia, p. 158, 205.
Winkler, sulla protezione delle pianticelle, p. 75.
Wistaria sinensis, depressione notturna delle foglioline, p. 242.
— circumnutazione della, p. 309.

Z

Zea mays, circumnutazione del cotiledone, p. 46.
Zea mays, movimento geotropico delle radichette, p. 46-47.
— sensibilità dell'apice delle radichette al contatto, p. 123.
— radichette secondarie, p. 124.
— movimenti eliotropici delle pianticelle, p. 46, 287.
— estremità cauterizzate delle radichette, p. 366.
Zukal, intorno ai movimenti di Spirulina, p. 177, *nota*.