

ALDO MEROLA

**RICERCHE SOPRA UN SINGOLARE APPARATO SEMINALE  
A FUNZIONE PNEUMATODICA**

S O M M A R I O

**PREMESSA.**

**MATERIALE E METODO.**

**Cap. I: RICERCHE ANATOMICHE E MORFOLOGICHE**

Distribuzione degli pneumatodi sulla superficie del seme.

Loro forma e loro genesi.

Anatomia: ostiolo, canalicolo, cavità.

**Cap. II: RICERCHE FISIOLOGICHE**

Circolazione dell'aria.

Emissione di anidride carbonica.

**CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.**

**RIASSUNTO.**

**SUMMARY.**

**BIBLIOGRAFIA.**



ALDO MEROLA

## RICERCHE SOPRA UN SINGOLARE APPARATO SEMINALE A FUNZIONE PNEUMATODICA

### P R E M E S S A

Esaminando, anche superficialmente, dei semi (1) di *Araucaria Bidwilli* KOOK., si è colpiti subito da particolari formazioni che si osservano su di essi, in corrispondenza del polo ottuso. (2) Tali formazioni, in numero vario e disposte più o meno regolarmente, come meglio vedremo in seguito, si presentano come prominenze piuttosto accentuate. Tuttavia, ad onta di questa evidenza, la loro presenza al polo ottuso del seme di *Araucaria Bidwilli* non é stata presa in con-

---

(1) A proposito dei semi di *Araucaria Bidwilli* facciamo notare che recentemente (1948) WILDE e EAMES, studiando l'evoluzione dell'ovulo di questa specie, sono giunti alla conclusione che il termine seme sin qui usato è morfologicamente inesatto. Infatti, essi dicono, il suddetto seme, rispetto ai semi normali in certi punti manca di qualche cosa (piccoli tratti di tegumento seminale) mentre in altre zone presenta qualche cosa in più (limitate porzioni delle squame circostanti). Come si vede, però, il seme di *Araucaria Bidwilli*, nel suo complesso, è sempre un seme vero e proprio; e quelle piccole particolarità rilevate da WILDE e EAMES sono senza dubbio interessanti a conoscersi ma non ci autorizzano addirittura a creare un nuovo termine. Pertanto noi, nel presente lavoro, continueremo ad usare la parola seme. Del resto non altrimenti fanno gli stessi su lodati A.A. i quali si limitano solo a porla fra virgolette (« seeds »).

(2) Nel seme di *Araucaria Bidwilli* si possono distinguere: una faccia dorsale piuttosto convessa, una ventrale alquanto convessa, un polo acuto corrispondente alla regione micropilare ed un polo ottuso slargato corrispondente alla regione calazale. Quest'ultimo ci interessa più da vicino. Tra la faccia dorsale e quella ventrale si notano due rilievi longitudinali. Tale forma può essere notevolmente modificata per condizioni meccaniche diverse determinatesi nel cono.

siderazione da buona parte degli A.A. che, con scopi diversi, si sono soffermati sui caratteri sia di tale specie, sia dei semi delle *Araucaria* in genere. Ciò è attribuibile al fatto che, sin dall'epoca della prima descrizione dell'*A. Bidwilli*, nessuno studiò minutamente i caratteri dei semi i quali, senza dubbio, in quel tempo erano già noti. Infatti ENDLICHER (1847) ne conosceva l'uso alimentare (*Seminibus integrae autochthonum tribus victitant*, l. cit. pag. 187). Ed anche CARRIÈRE (1855) parla di « *graines comestibles, tres recherchées des indigènes* ». E del resto l'affermazione che allora i semi della *Araucaria Bidwilli* non erano stati accuratamente descritti trova conferma anche nel fatto che lo stesso ENDLICHER non accenna in particolare ad essi, ma, parlando in generale dei semi di questo genere, li dice sempre saldati con la squama (*oum squama conereti*, l. cit. pag. 184) mentre noi sappiamo bene che nella specie in considerazione i semi hanno la particolarità di rendersi liberi. (3) Egli si sarebbe astenuto da una tale affermazione generale se, anche tramite i riferimenti altrui, fosse venuto a conoscenza del caso dell'*Araucaria Bidwilli*.

Lo stesso accade per altri A.A. come CARRIÈRE (1855) STRASBURGER (1872), BENTHAM e HOOKER (1880), RADAIS (1894), BEISSNER (1909), DALLIMORE and JACKSON (1948), i quali accennando ai semi delle *Araucaria*, li dicono in linea di massima saldati alla squama. Ma quello che più meraviglia è la constatazione che persino il BORZI (1905) che si soffermò sui caratteri del seme dell'*Araucaria Bidwilli*, dice che « il guscio è molto solido, compatto e relativamente liscio all'esterno » senza minimamente accennare alle formazioni in questione.

Solo molto di recente WILDE e EAMES (1948) hanno data una scrupolosissima descrizione del seme dell'*Araucaria Bidwilli* considerando, naturalmente, anche quelle sporgenze che si rinvencono al

---

(3) Tale particolarità, unita ad altre come, specialmente, i semi con ali rudimentali e, soprattutto, la distribuzione geografica (Australia), ha fatto ritenere che l'*Araucaria Bidwilli* costituisca, nell'ambito della sezione Columbea cui essa comunemente è attribuita, una eccezione. Essa infatti, presenta caratteri intermedi tra la sezione Eutacta e la sezione Columbea. Tuttavia, per lo meno per tradizione, è messa in quest'ultima. Però WILDE e EAMES ritengono che per le suddette particolarità debba essere creata una nuova sezione del genere *Araucaria*. In appoggio a questo fatto sta la constatazione che recentemente (1947) anche WHITE ha creato per due nuove specie di *Araucaria* della Nuova Guinea (*A. Huntseni* ed *A. Schumanniana*) vicini alla *Araucaria Bidwilli*, una nuova sezione di questo genere.

suo polo ottuso e che noi sin da ora chiameremo pneumatodi, in dipendenza della loro funzione risultataci dalle ricerche esposte nel presente lavoro. I due A.A. sopra citati, parlando del punto in cui il fascio vascolare penetra nel seme, dicono che esso « is cleary marked on mature seeds by a conspicuous row of holes at the larger end of the seed » (pag. 320). Chiamando tali punti « holes » (= fori), essi danno implicito il concetto di aperture attraversabili dall'aria. Del resto definiscono « hole » anche il micropilo evidentemente pervio. Insomma WILDE e EAMES, con la descrizione di tali particolari, ammettono l'esistenza di aperture ai due estremi del seme. Vedremo in seguito come questo fatto, anche indipendentemente dalle nostre ricerche, costituisca già di per se stesso un buon elemento per la interpretazione della funzione pneumatodica delle sporgenze osservabili nella regione calazale del seme.

Quanto poi alla esistenza di formazioni pneumatodiche del tipo di quelle dei semi di *Araucaria Bidwilli* in altre specie congeneri, diremo subito che ciò non è possibile poiché, come è stato accennato sopra, solo in questa specie il seme si libera completamente dalla brattea.

Osservando sui semi in discussione le sporgenze con le rispettive aperture centrali, si intuisce a priori che attraverso di esse sia possibile uno scambio gassoso del seme con l'ambiente esterno. WILDE e EAMES, tuttavia, non fanno alcuna allusione fisiologica avendo le loro ricerche fini esclusivamente morfologici.

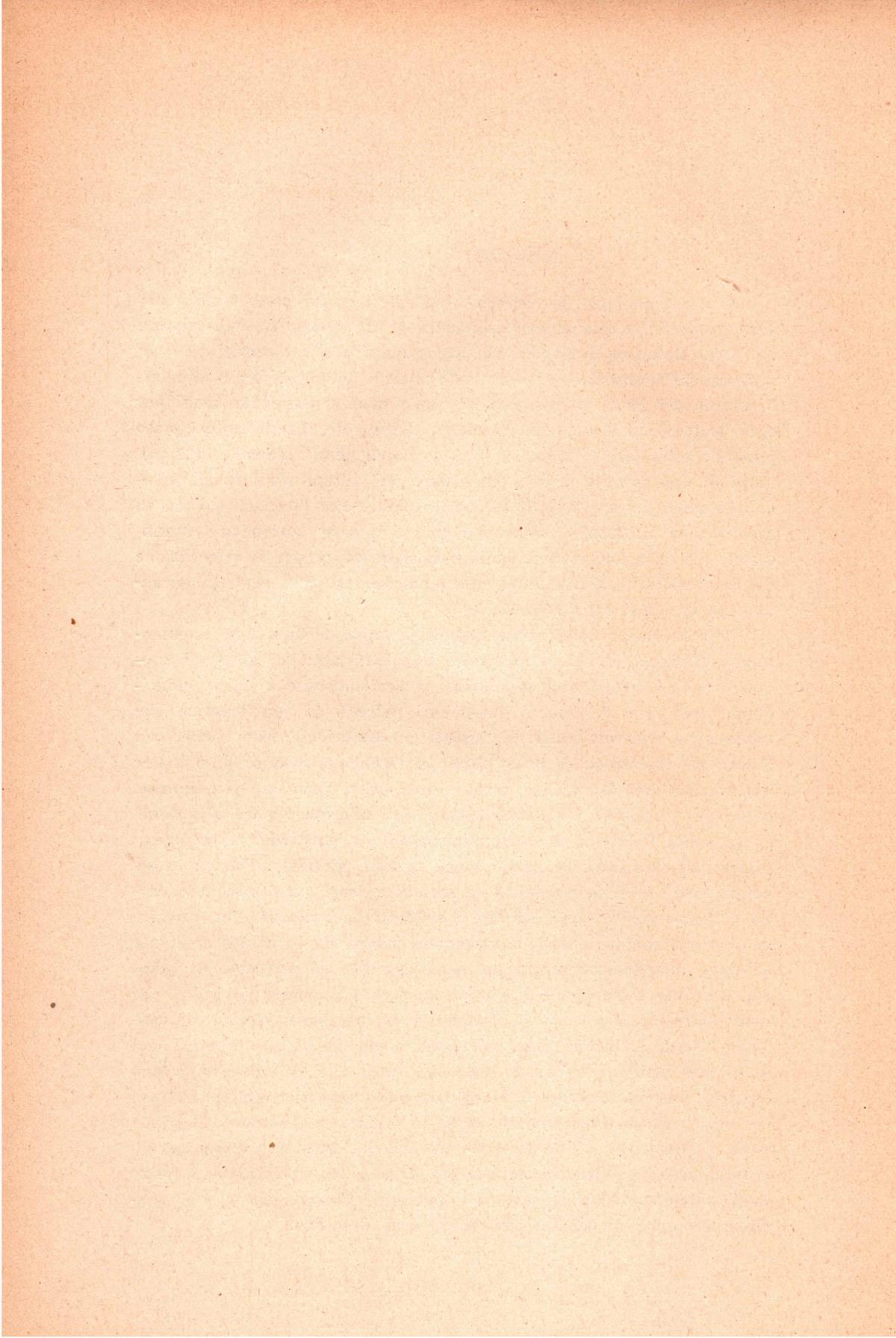
A noi, perciò, sorse subito il sospetto che si trattasse di formazioni pneumatodiche e, pertanto, rivolgemmo le nostre ricerche soprattutto a dimostrare la funzionalità di questo apparato. Una volta conseguiti i primi risultati positivi, integrammo le ricerche fisiologiche con ricerche anatomiche le quali ci fecero meglio intendere il funzionamento degli pneumatodi. Tuttavia, nelle pagine seguenti, abbiamo preferito tener distinti i due gruppi di ricerche antepoendo a quelle fisiologiche le indagini morfologiche ed anatomiche. Ciò soprattutto perchè — possiamo anticiparlo sin d'ora, ma lo chiariremo meglio dopo — gli pneumatodi rappresentano, nel tegumento seminale, il percorso dei fasci vascolari ormai disseccati, la conoscenza dei quali è indispensabile per poter ben intendere la formazione, e quindi il funzionamento, degli pneumatodi stessi.



## Materiale e metodo

Il materiale per le ricerche qui riferite ci è stato fornito dai semi prodotti da due annosi esemplari di *Araucaria Bidwilli* viventi nell'Orto Botanico di Napoli. Particolarmente ci siamo serviti dei semi prodotti dall'individuo crescente nel reparto delle conifere e che nell'autunno del 1949 produsse molti coni i quali contenevano quasi per ogni brattea, un seme completamente sviluppato. In tal modo è stato possibile estendere l'esame a numerosissimi semi (alcune migliaia). Molti di essi furono messi a germinare per potere studiare gli pneumatodi nelle diverse fasi della germinazione. Per ottenere questa, in accordo con HICKEL, e contrariamente a quanto sosteneva GUILLOCHON, non abbiamo usato alcuna cura particolare per la orientazione dei semi all'atto della semina, ottenendo sempre una perfetta germinazione in quasi tutti i casi.

Per lo studio delle prime fasi di sviluppo dell'apparato pneumatodico ci siamo serviti di materiale imparaffinato; per gli stadi successivi siamo ricorsi esclusivamente al sezionamento a mano, coincidendo essi con l'inizio di imponenti processi di lignificazione che interessano notevoli tratti dei tessuti circostanti all'ovulo e che, con l'ulteriore evoluzione di quest'ultimo, si estendono sempre di più. Per osservazioni più dettagliate sulla forma degli pneumatodi esaminati nella loro integrità, ci siamo serviti del microscopio da dissezione. Quanto alla funzionalità degli pneumatodi in questione, ci occorreva dimostrare due fatti: in primo luogo la loro pervietà all'aria; in secondo luogo la reale esistenza di scambi gassosi tra l'ambiente esterno e l'interno del seme, tramite i suddetti pneumatodi. Per provare la pervietà abbiamo usata una comune pompa da biciclette mediante la quale introducevamo aria nei semi applicati ad un tubo di gomma. Durante l'operazione i semi erano tenuti immersi in acqua per controllare con esattezza la fuoriuscita di aria sotto forma di bollicine. Anzi, in alcuni casi, per poter bene localizzare i punti dai quali tali bollicine venivano emesse, durante l'esperimento furono eseguite osservazioni con il binoculare sulla superficie del polo ottuso del seme. Altri accorgimenti usati in questi casi saranno descritti nella parte dedicata alle ricerche fisiologiche. Lo stesso dicasi per gli scambi gassosi effettuati naturalmente, durante la germinazione, a mezzo degli pneumatodi tra il seme e l'ambiente esterno, per la dimostrazione dei quali si usò un dispositivo colà descritto.



## CAPITOLO I

### Ricerche anatomiche e morfologiche

Distribuzione degli pneumatodi sulla superficie del seme.

Gli pneumatodi dei quali trattiamo si osservano nella regione calazale dei semi di *Araucaria Biduilli*. Essi possono essere distinti in due gruppi: quelli allineati in modo alquanto regolare (Fig. 2, P) e quelli che giacciono fuori di questo allineamento (Fig. 2, S). I primi si susseguono con molta regolarità, secondo una linea curva che può essere identificata come l'intersezione del piano di simmetria del seme, parallelo alle due facce, con il tegumento seminale. In tal modo, gli pneumatodi situati agli estremi di siffatta serie risultano spostati abbastanza lateralmente rispetto al seme e spesso l'ultimo di essi segna l'inizio di quei rilievi longitudinali presenti ai due lati del seme ed ai quali accenna anche il BORZI. In altri casi, addirittura, gli ultimi pneumatodi sono situati in un solco che si forma sulla faccia laterale del seme, alla base della salienza longitudinale alla quale accennavamo prima. Secondo WILDE e EAMES vi sono casi in cui gli pneumatodi situati agli estremi dell'allineamento calazale sarebbero abbastanza prossimi al polo acuto del seme. Tali casi, che sul materiale studiato dai due A.A. precedenti sembrano non essere troppo rari, non sono stati giammai riscontrati nei numerosissimi semi da noi presi in esame. La loro presenza, tuttavia, si spiega facilmente: ne vedremo tra breve il motivo.

La distanza tra gli pneumatodi non è assolutamente costante. In generale si osserva che più grosso è il seme, maggiore è tale distanza. In ovuli nei quali non si era sviluppato endosperma, ma che tuttavia si erano abbastanza accresciuti, gli pneumatodi avevano dimensioni quasi normali ma erano vicinissimi tra loro. Frequentemente quelli situati verso il centro della regione calazale sono più ravvicinati fra loro mentre man mano che ci si sposta verso i lati la distanza tra di essi aumenta, gli ultimi risultando abbastanza discosti (Fig. 2 P). L'intervallo oscilla in media tra i due ed i quattro millimetri; però, è sempre tale da conservare, nella normalità dei casi, l'indipendenza, sin dalla base, dei singoli pneumatodi. Talora questi appaiono accostati in modi diversi: o raggruppati a due a due (molto raro); o due

di essi sono molto vicini ma tuttavia ben distinti e presentano i rispettivi ostioli riuniti a mezzo della stretta cavità che li separa (Fig. 12); oppure se ne possono trovare alcuni riuniti per i fianchi (Fig. 3, 4, 10). Ma volendo procedere alla descrizione di tutti questi casi non si finirebbe più. Solo vogliamo ricordare che, quando le formazioni in questione sono molto ravvicinate, i solchi tra di esse interposti risultano molto profondi.

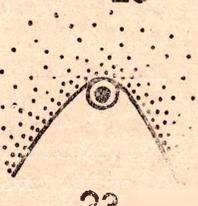
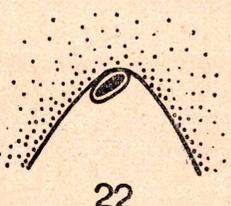
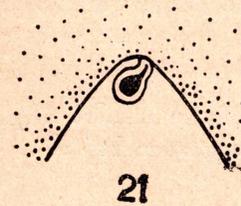
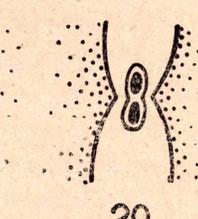
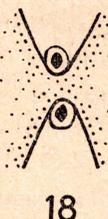
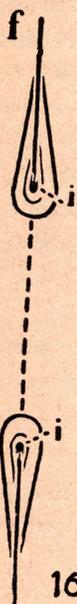
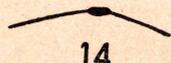
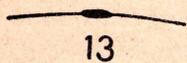
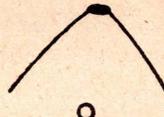
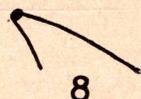
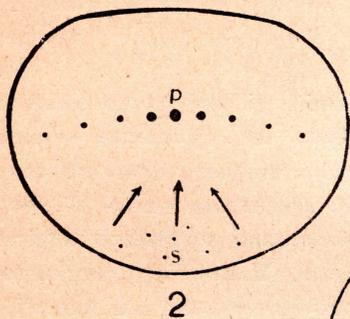
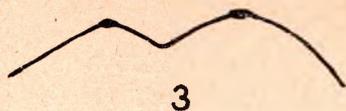
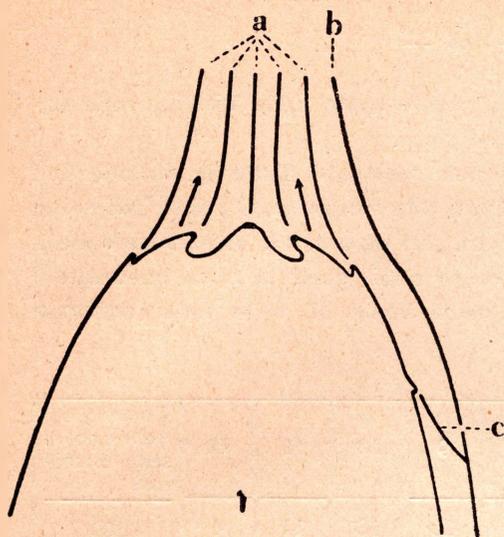
Gli pneumatodi più rilevati sono quelli situati al centro del polo ottuso del seme. Infatti, procedendo verso i lati, essi si vanno facendo sempre meno manifesti (Fig. 1) finchè gli ultimi della serie si riducono alla sola apertura situata nel fondo di una lieve depressione. Tutto quanto abbiamo detto sin' ora riguarda gli pneumatodi disposti nella regione calazale del seme secondo una linea che si estende, per lo più, per circa un quarto della lunghezza complessiva di esso. Ma, come dicevamo in principio, vi sono anche pneumatodi situati all'infuori di questo allineamento e che potremmo chiamare supplementari (Fig. 2, S). Essi sono in numero assai scarso e si rinvengono quasi esclusivamente sulla faccia inferiore (1) del seme. Hanno una forma particolare e spesso sono occlusi. Ciò non toglie che originariamente erano pervi perchè attraversati da un fascio vascolare il quale, essendo molto esile, aveva determinata nel tegumento seminale una apertura alquanto angusta. Questa, con l'ingrossamento del seme realizzatosi poco prima del distacco, si è obliterata.

---

(1) E propriamente nel tratto di detta faccia più prossimo al polo ottuso del seme.

---

Fig. 1. Schema della formazione degli pneumatodi nella regione calazale di un seme di *Araucaria Bidwilli*; a fasci vascolari diretti all'ovulo, b fascio vascolare della squama ovulifera, c sua diramazione penetrante nel tegumento seminale. Le frecce indicano la direzione delle trazioni. - Fig. 2. Regione calazale di un seme di *Araucaria Bidwilli*: p pneumatodi disposti al centro ed ordinatamente, s pneumatodi supplementari situati verso la parte inferiore. Le frecce indicano la direzione delle trazioni agenti su questi ultimi. - Figg. 3-15. Forme diverse di pneumatodi isolati o riuniti (3, 4, 10, 11 e 12). Sono visibili le diverse posizioni che può assumere l'ostiolo. Fig. 16. Due pneumatodi formatisi in corrispondenza dei punti (i) di entrata e di uscita di un unico fascio vascolare (f) incluso nel tegumento seminale per piccolo tratto. Fig. 17. Pneumatode ellissoidale visto di prospetto. Figg. 18-20. Diversi gradi di fusione di due pneumatodi vicini visti di prospetto. Figg. 21-23. Alcune forme di ostioli in pneumatodi più o meno regolari.



Osservando la figura 2 ci si rende conto della distribuzione degli pneumatodi al polo ottuso del seme.

Il numero degli pneumatodi non è costante. Tuttavia, escludendo i supplementari, esso varia entro limiti non troppo ampi e cioè tra sei e dodici. (1) Più frequentemente, però, essi sono sette, otto, nove o dieci. In un esame da noi fatto su cento semi, quelli a nove pneumatodi sono risultati essere i più frequenti come si vede nella seguente tabella:

Numero degli pneumatodi per ciascun seme.	6	7	8	9	10	11	12	Totale del numero di semi esaminati
Numero di semi.	1	18	22	26	18	11	4	100

#### Loro forma e loro genesi.

Gli pneumatodi dell' *Araucaria Bidwilli* si presentano come protuberanze sulla superficie abbastanza liscia del tegumento seminale e, nella maggioranza dei casi, lasciano chiaramente vedere nel centro un forellino. Tali protuberanze sono più accentuate verso il centro della regione calazale del seme dove presentano un'altezza aggirantesi, di solito, intorno a 1,5 - 2 millimetri. Raramente raggiungono dimensioni maggiori. Però, osservando gli pneumatodi più laterali, si nota che essi sono molto poco appariscenti e gli ultimi si riducono appena ad una lievissima sporgenza ellissoidale situata al centro di una cavità a mala pena rilevabile e che accoglie il fascio vascolare ad essa diretto. Al centro di tale sporgenza esiste una piccola apertura la quale frequentemente è rivolta verso il polo acuto del seme (Fig. 1, pneumatode corrispondente al fascio vascolare e; Fig. 17). Tal volta si riscontrano casi di riduzione pneumatodica ancora più spinti, per cui questi organi sono ridotti al solo forellino centrale invisibile ad occhio nudo. E la dimostrazione macroscopica di tali pneumatodi si può fare solo con metodo fisiologico cioè osservando l'aria che, introdotta nel seme, fuoriesce da essi (2).

Gli pneumatodi, con il disseccamento che precede la liberazione dei semi dalle squame, diventano ancora più pronunziati perchè essi

(1) Molto raramente se ne riscontrano in numero maggiore o minore

(2) Di tale metodo diremo più dettagliatamente nella seconda parte di questo lavoro.

si contraggono molto meno dei tessuti sui quali sono impiantati. Un fatto analogo fu osservato dal CHIARUGI per gli pneumatodi dei frutti di *Erythea edulis*.

Quanto alla forma, gli organi dei quali qui ci occupiamo possono essere definiti come conici. Del resto questa è la forma sotto la quale più frequentemente gli pneumatodi si presentano, indipendentemente dalla loro origine morfologica. Anche il BECCARI, accennando ad analoghe formazioni dei frutti di *Erythea edulis* - delle quali però egli non definì il significato fisiologico che fu poi chiarito dal CHIARUGI - le paragonò a piccoli coni vulcanici. Comunque, nel nostro caso, la forma conica tipica non si osserva quasi mai, essendo essa spessissimo alquanto deformata in relazione alla particolare origine degli pneumatodi dei semi dell'*Araucaria Bidwilli*. Essi, infatti, corrispondono ai punti nei quali i fasci vascolari penetrano nel tegumento seminale provenendo da un plesso situato nella squama ovulifera subito al di dietro dell'ovulo (1). Tali fasci per WILDE e EAMES - i quali hanno preso minutamente in esame anche specie fossili - nell'*Araucaria Bidwilli* rappresenterebbero la riduzione di un complesso di tre gruppi di tessuto conduttore diretti a tre ovuli indipendenti, appartenenti a tre squame, e successivamente ridottisi ad uno soltanto. Ad ogni modo, prescindendo da queste considerazioni, sta il fatto che, secondo l'orientazione dei fasci vascolari osservati in un seme quasi completamente sviluppato, si ha una determinata forma di pneumatodi. Infatti, come appare dalla figura 1 (a, fascio centrale), i fasci vascolari diretti verso il centro della regione calazale hanno un decorso piuttosto rettilineo e ad essi corrispondono pneumatodi di forma conica più o meno regolare. Al contrario, i fasci diretti lateralmente hanno un decorso il quale, diventa sempre più obliquo man mano che essi si allontanano dal centro. (Fig. 1, a fasci laterali). Ed è proprio in corrispondenza di questi ultimi che si formano pneumatodi dall'aspetto conico ma con asse alquanto inclinato, in modo da rivolgere l'apertura verso il centro del polo ottuso del seme. Ciò si spiega tenendo presente che i fasci vascolari diretti all'ovulo sono in origine tutti paralleli; ma poi, con l'evolversi di questo in seme, si ha un notevole aumento della superficie calazale

---

(1) Che gli pneumatodi di *Araucaria Bidwilli* abbiano una origine vascolare, si deduce anche dal semplice esame di un seme libero, indipendentemente dal considerare stadi primordiali dello sviluppo. Infatti, spesso si trova sul bordo degli pneumatodi un solco nel quale era adagiato il fascio vascolare e, per di più, tracce essiccate di questo si rinvengono frequentemente nei forellini che essi presentano.

e conseguentemente, i punti in cui essi penetrano nel tegumento vengono spostati lateralmente, tanto più fortemente quanto più verso i lati del seme essi sono disposti. Accade così che in certi casi l'asse dello pneumatode è a tal punto inclinato che esso aderisce per tutto un lato alla superficie del tegumento seminale, determinando, addirittura, molto spesso una depressione. Insomma si generano delle trazioni la cui intensità aumenta man mano che ci si sposta verso il del polo ottuso del seme. La loro direzione è indicata dalle frecce della figura 1. E' per questo che ai lati si osservano pneumatodi molto deformati (Fig. 1). Accanto a tali trazioni, che potremmo dire laterali, si hanno, con l'ingrossamento del seme, anche altre trazioni dirette dal basso verso l'alto: sono quelle che determinano la formazione degli pneumatodi che abbiamo chiamati altrove supplementari. Esse sono dovute a piccoli fasci vascolari che penetrano nell'ovulo verso il margine inferiore della regione calazale e che, con lo svilupparsi del seme e con l'ingrossarsi di questa zona, vengono spinti notevolmente verso il basso. E' così che si stabiliscono delle trazioni dirette dal basso verso l'alto, come indicano le frecce della figura 2. Tali trazioni sono spesso abbastanza forti essendo notevole lo spostamento in basso dei punti in cui i fasci vascolari penetrano nel tegumento seminale.

Si deve far notare inoltre, che spesso anche gli pneumatodi centrali presentano l'asse del cono lievemente inclinata verso la faccia superiore del seme. Ciò indica che pure essi sono stati sottoposti ad una leggera trazione diretta dal basso verso l'alto in conseguenza di un lieve spostamento in basso dei punti di penetrazione dei fasci vascolari. In conclusione, nella genesi degli pneumatodi entrano in gioco due trazioni (dai lati verso il centro e dal basso verso l'alto) di modo che dovè non arriva l'una, l'altra fa risentire la propria azione. Non sono rari i casi in cui su di uno stesso pneumatode agiscono entrambe. Conseguenza è la formazione di un apparato pneumatodico ben evidente. Si arguisce da ciò che le trazioni hanno in generale, importanza nello sviluppo degli pneumatodi. Infatti, in casi in cui esse non si verificano, si formano pneumatodi molto poco sviluppati. Per esempio quando si trovano due di questi disposti molto lateralmente, allineati secondo uno stesso asse e diretti in senso opposto (Fig. 16) vuol dire che essi sono dovuti ad un unico fascio vascolare *f* (nel caso della figura 16), giacente lateralmente all'ovulo ed imprigionato per un tratto più o meno breve nel rivestimento legnoso che circonda il seme. In questo caso gli pneumatodi costituiscono un rilievo minimo perchè nei punti i non si poteva attuare alcuna trazione essendo il fascio *f* continuo. Solo si noterà una specie di solco in corrispondenza del fascio vascolare, conseguenza meccanica del fatto

che, con l'ingrossarsi dell'ovulo, il fascio viene sempre più teso in modo da esercitare una notevole pressione su quello strato che costituirà poi, nel seme libero, l'involucro legnoso.

In altri casi, invece, gli pneumatodi disposti molto lateralmente sono dovuti a ramificazioni di fasci vascolari situati ai lati dell'ovulo (Fig. 1) Si tratta di esili fasci vascolari distaccatisi con notevole ritardo rispetto agli altri da qualche fascio più marginale della squama. Ci si rende conto facilmente di ciò osservando brattee con ovuli nei primissimi stadi di sviluppo. In tali casi gli pneumatodi si distinguono facilmente perchè, ad onta della loro posizione, sono molto rilevati e si presentano inclinati in modo da avere l'apertura rivolta verso il polo acuto del seme. Ciò è dovuto al fatto che con l'ingrossarsi di questo i punti di impianto delle ramificazioni in questione vengono portati sempre più distalmente.

Talvolta i fasci vascolari si bipartiscono a brevissima distanza dal tegumento seminale. Tale divaricamento diviene poi più accentuato con l'evoluzione del seme per l'ampliamento della superficie sulla quale sono impiantati gli pneumatodi. Questi sono allora molto ravvicinati e con i rispettivi assi inclinati l'uno verso l'altro in modo che le aperture si guardano (Fig. 18, visti dall'alto). Un caso analogo un pò più accentuato, e determinatosi allo stesso modo, è quello degli pneumatodi riportati nella figura 3 (visti di fianco) in cui essi risultano fusi solo per un piccolo tratto al di sotto della sommità. Ma talvolta tale fusione va ancora oltre fino ad interessare gli interi fianchi dei due pneumatodi i cui condotti, tuttavia, restano distinti. Altre volte accade che il fascio vascolare si divide subito dopo che è penetrato nel tegumento seminale. Si origina così un unico pneumatode con una unica apertura ma fornito internamente di due canalicoli ben distinti. (Fig. 11). Oppure talora si osserva che i due pneumatodi si fondono quasi completamente in modo da costituire un'unica grossa bozza sulla quale si vedono due piccole sporgenze perforate nel loro mezzo (Fig. 10). Del resto gli stessi pneumatodi supplementari, ai quali abbiamo accennato prima, si potrebbero interpretare come dovuti a fascetti vascolari che, distaccatisi dai fasci vascolari principali diretti all'ovulo, divergono più o meno da essi. E che si tratti di fascetti vascolari secondari è provato dal fatto che essi determinano nel tegumento seminale dei piccoli forellini che spesso si obliterano con l'evolversi del seme, mentre è difficilissimo trovare pneumatodi otturati tra quelli situati in posizione normale — in serie, cioè — perchè essi sono dovuti ai fasci vascolari principali e, come tali, più grossi. Secondo WILDE e EAMES quelli che noi abbiamo chiamati pneumatodi supplementari sono dovuti a fasci non esclusivamente ovariali, ma anche brat-

teali i quali, nella regione calazale restano parzialmente inclusi nel tegumento seminale. A noi, in verità, in numerosi semi esaminati non è capitato che solo scarsissimamente qualcuno di questi casi. Ed il riconoscerli sarebbe stata cosa agevole per la coesistenza di due pneumatodi allineati secondo uno stesso asse, situati a breve distanza e non rilevati (Fig. 16). Anzi, a proposito di quest'ultimo carattere, aggiungeremo che, per lo meno nei casi da noi osservati, gli pneumatodi supplementari, anche se non conici, si presentano come grosse bozze le quali indicano manifestamente l'esistenza di una trazione. Ora noi abbiamo detto a pagina 18 che, nei casi in cui sussiste imprigionamento parziale da parte del tegumento seminale di un fascio della squama, non si determina trazione alcuna. In conclusione, nel nostro caso, gli pneumatodi supplementari sono stati assoggettati ad una trazione e non sono disposti due a due secondo uno stesso asse; da ciò si deduce che quanto WILDE e EAMES sostengono non vale per buona parte dei semi da noi considerati. Con ciò però, non vogliamo dire che la loro affermazione non corrisponde a verità, poichè sia i fasci vascolari della squama, sia quelli diretti all'ovulo, specialmente se si considerano derivati dalla riduzione di tre gruppi di tessuto conduttore, presentano una grande variabilità nei particolari della loro distribuzione.

Abbiamo parlato precedentemente di trazioni che determinano la formazione di pneumatodi. Non bisogna, però, credere che tali organi non si formino senza di queste, le quali, evidentemente, hanno importanza solo nel senso che ne fanno aumentare le dimensioni e ne influenzano la forma. Infatti, se si osservano i fasci vascolari diretti ad un giovanissimo ovulo, quando sono allo stato di cordoni procambiali, e perciò sono da escludersi assolutamente le trazioni, si nota che già quello strato (1) che costituirà il rivestimento legnoso del seme, forma intorno ad essi delle minute sporgenze coniche ricordanti gli pneumatodi adulti. Solo lo spessore delle loro pareti è estremamente ridotto in confronto dello spazio centrale occupato da cellule allungate che accompagnano il fascio vascolare. Insomma nello sviluppo del seme lo pneumatode si differenzia molto presto ed appare come

---

(1) Secondo la divisione del tegumento seminale dell'*Araucaria Bidwilli* in tre strati — come da ricerche dei più volte citati WILDE e EAMES — lo strato cui qui accenniamo è lo strato medio ed il distacco, all'atto della liberazione del seme, avverrebbe appunto tra questo strato e lo strato esterno. Secondo tale divisione si può anche dire che quella specie di estroflessioni che costituiranno gli pneumatodi appartengono allo strato medio ma si sviluppano nello strato esterno.

una specie di guaina sporgente che il tessuto di rivestimento del seme forma intorno al fascio, anche prima che questo sia completamente differenziato.

#### Anatomia

Passiamo ora a considerare l'anatomia interna degli pneumatodi. Tagliando trasversalmente uno di questi, specialmente se disposto al centro della regione calazale del seme, la cavità che si osserva internamente allo pneumatode appare decisamente ellittica, cioè schiacciata ai due lati ed allungata verso la faccia dorsale e la faccia ventrale del seme. Tale configurazione interna, per nulla rilevabile all'esame esterno dello pneumatode, denota che, dopo la prima formazione di quest'organo, subentra un considerevole sviluppo del seme in senso dorsale e ventrale in modo da determinare un tale stiramento. Esso, per contro, non si verifica o è molto meno accentuato, per gli pneumatodi situati abbastanza lateralmente, nei quali, praticando delle sezioni trasversali, si vede all'interno una cavità quasi circolare. Se, invece, si fanno sezioni longitudinali degli pneumatodi, ci si convince che, nella maggior parte dei casi, esiste una struttura interna piuttosto complicata la quale lascia distinguere in essi, specialmente col sussidio di un esteso esame comparativo, tre parti principali e cioè: un forellino mediante il quale lo pneumatode comunica con l'esterno; una cavità allogata più profondamente; un canalicolo che congiunge la cavità con il forellino. Tutto questo complesso è situato in un tessuto costituito dal tegumento seminale, il quale soggiace a particolari modificazioni (Fig. 24). Pertanto nella trattazione che segue prenderemo in esame queste parti nel seguente ordine: forellino, canalicolo, cavità, tessuto circostante allo pneumatode.

*Ostiolo* (Fig. 24,o). Chiamiamo ostiolo l'apertura mediante la quale l'interno dello pneumatode è in comunicazione con l'esterno. Esso è chiaramente visibile alla sommità di ciascuno pneumatode e corrisponde esattamente agli « holes » di cui parlano WILDE e EAMES, come abbiamo detto in principio. Nella maggior parte dei casi sono pervi, e solo raramente se ne trovano alcuni occlusi. L'occlusione, però, si riscontra difficilmente negli pneumatodi centrali mentre non è rara in quelli situati verso la faccia ventrale del seme (pneumatodi supplementari). Gli ostioli hanno aspetto svasato con margine arrotondato e spesso presentano su di questo un solco determinato dal fascio vascolare che vi penetrava. Anzi, di frequente, si vedono sporgere da esso i resti di tale fascio. Più spesso assumono forma circolare, specialmente negli pneumatodi centrali (Fig. 23), mentre in quelli laterali è più frequente la forma ellissoidale (Figg. 15, 17 e 22)

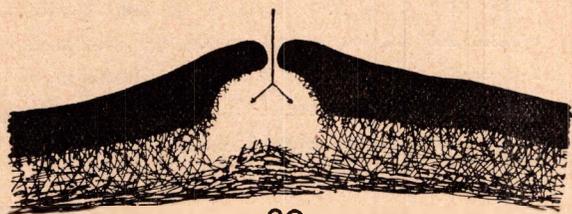
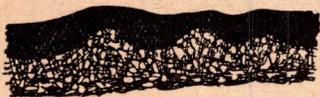
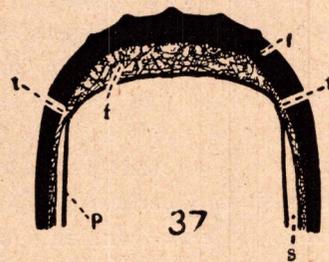
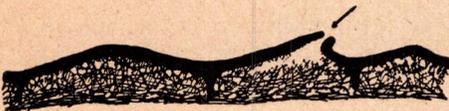
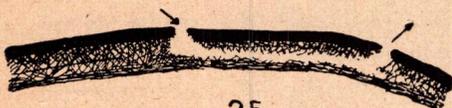
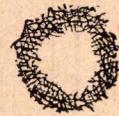
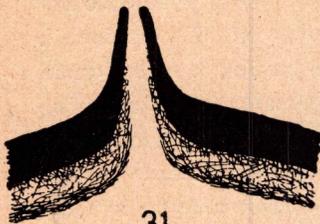
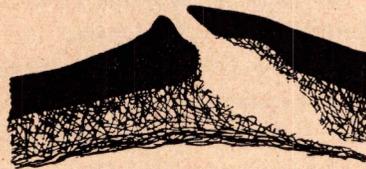
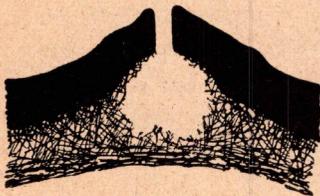
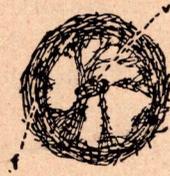
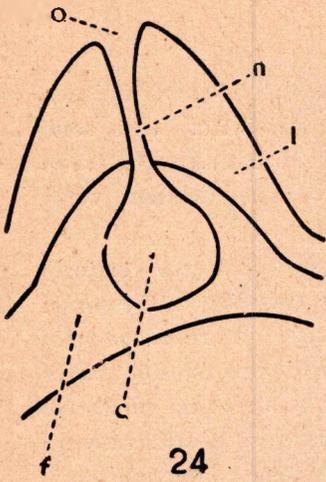
in rapporto alla trazione e alla compressione esercitata dal fascio vascolare. Altre volte si notano forme stranissime di ostioli (fig. 21). Quanto alle dimensioni, in quelli circolari si riscontra, in media, un diametro che non va oltre i 0,5 mm. Raramente tali dimensioni vengono sorpassate. Se, invece, si tratta di ostioli ellittici, allora la lunghezza raggiunge, e talvolta oltrepassa il millimetro. In altri casi queste aperture sono così piccole da essere visibili solo con l'aiuto di una lente. Di solito sussiste un rapporto tra le dimensioni dello pneumatode e quelle del corrispondente ostiolo. Ma non sempre si verifica ciò, potendosi rinvenire pneumatodi molto grossi con ostioli minimi e viceversa.

Normalmente gli ostioli sono situati alla sommità degli pneumatodi. Ma talora se ne osservano alcuni che si aprono lateralmente (Fig. 5), alla base o in posizione subapicale. Non parliamo poi dei casi dovuti a biforcazione del fascio vascolare in cui ve ne sono due su di un unico pneumatode. Allora, di solito, uno si trova all'apice mentre l'altro può trovarsi in punti diversi (Figg. 4 e 10).

L'ostiolo può assumere una posizione varia nei confronti della superficie del tegumento seminale. Infatti, rispetto a quest'ultimo, esso può essere parallelo, obliquo o addirittura perpendicolare. Que-

---

Fig. 24. Rappresentazione schematica di uno pneumatode tipico; o ostiolo, n canalicolo, e cavità, l strato legnoso del tegumento seminale, f strato fibroso dello stesso. Fig. 25. Pneumatode scavato per intero nel tessuto legnoso. Fig. 26. Aspetto del fascio vascolare (v) in uno pneumatode funzionante. Fig. 27. Sezione trasversale di un canalicolo rivestito da abbondante tessuto fibroso (f) e con fascio vascolare (v) centrale al quale sono restati aderenti gruppi di fibre. Fig. 28. Lo stesso ma con fascio vascolare (v) spostato lateralmente. Fig. 29-32. Alcuni aspetti assunti dagli pneumatodi. Fig. 33. Diverticolo formatosi intorno ad un fascio vascolare e perciò delimitato da fibre disposte regolarmente. Fig. 34. Lo stesso formatosi diversamente e, di conseguenza, circondato da fibre disposte in tutte le direzioni. Fig. 35. Due pneumatodi in corrispondenza. Fig. 36. Formazione di un diverticolo per distacco del tessuto fibroso dal tessuto legnoso in seguito ad essiccamento. Fig. 37. Sezione schematica della regione calazale di un seme di *A. Bidwilli*; l tessuto legnoso, f tessuto fibroso, p pellicola nucellare, t punti in cui questa si separa dal tegumento seminale, s spazio compreso tra il tessuto fibroso e la pellicola nucellare. Notare il maggiore spessore del tessuto fibroso in corrispondenza della regione calazale. Fig. 38. Aspetto alveolato del tessuto fibroso. Fig. 39. Maggiore compattezza del tessuto fibroso in corrispondenza del centro della cavità pneumatodica.



sta disposizione, che è particolarmente evidente negli ostioli ellittici, è in rapporto con la forma degli pneumatodi. Ed infatti essi sono paralleli negli pneumatodi conici non troppo deformati, mentre sono perpendicolari od obliqui in pneumatodi più o meno inclinati verso la superficie del seme.

*Canalicolo* (Fig. 24, n). Il canalicolo é quel minuscolo condotto che mette la cavità in rapporto con l'ostiolo e quindi con l'esterno. Esso può avere un decorso rettilineo o tortuoso in relazione alla forma esterna dello pneumatode e rappresenta il percorso del fascio vascolare nell'interno del tegumento seminale. Quando il canalicolo appare incurvato vuol dire che il fascio vascolare si è incurvato in seguito all'accrescimento del seme. Alla sua estremità il canalicolo si presenta svasato in modo da continuarsi insensibilmente nello ostiolo (Fig. 24). Il suo lume in sezione trasversale, si presenta per lo più circolare, raramente schiacciato. Questo lume è rivestito da un sottile strato di tessuto fibroso che si continua insensibilmente con il tessuto legnoso e che solo raramente riempie tutto il canalicolo. Ma anche in questo caso la pervietà non viene compromessa per le numerose discontinuità che si riscontrano in tale tessuto.

Il fascio vascolare, essiccandosi, si contrae in modo che di solito si addossa alla parete del canalicolo determinandone un ampliamento del lume fatto questo che si osserva bene negli pneumatodi funzionali. Se lo si distacca esso appare come una sottile laminetta nella quale al microscopio è possibile distinguere a mala pena qualche tracheide che lascia vedere chiaramente anche le areole. Raramente accade che la contrazione del fascio vascolare è tale da non permetterne assolutamente il riconoscimento in uno pneumatode completamente sviluppato. Ma anche quando esso persiste le sue dimensioni non sono mai tali da impedire il passaggio dell'aria. Ci si rende facilmente conto di ciò osservando la disposizione che il fascio in questione assume in uno pneumatode sezionato longitudinalmente (Fig. 26, v). Si vede così il suo impianto nel tessuto fibroso sottostante allo pneumatode, e nel quale esso si ramifica. Tale tessuto, che appare più compatto, spesso viene via asportando il fascio vascolare. Questo, in alcuni casi, contraendosi, non perde i rapporti col tessuto fibroso ad esso circostante e col quale resta congiunto mediante poche fibre disposte a raggiera; cosa che è ancora più evidente qualora il fascio vascolare non si sposti lateralmente, ma resti nel mezzo del canalicolo (Figg. 27 e 28). Ne è da credere che una tale disposizione possa ostacolare la circolazione dell'aria poiché le lacune delimitate sono sufficientemente ampie e largamente comunicanti fra loro.

*Cavitá* (Fig. 24, c). La cavità rappresenta la parte inferiore, slargata a guisa di pancia di fiasco, riscontrabile in quasi tutti gli pneumatodi in questione. Essa di solito appare scavata in due strati di tessuto (Fig. 29, 30 e 39): il pavimento, infatti, è affondato nel tessuto fibroso; mentre la volta è delimitata dal tessuto legnoso. Raramente abbiamo osservato cavità scavate esclusivamente nel tessuto legnoso (Fig. 25). In questi casi il canalicolo è ridottissimo e la cavità è quasi a contatto con l'ostiolo. Tutta la cavità, così come il canalicolo, è rivestita da uno strato di tessuto fibroso, anche nella volta dove esso trapassa subito in tessuto legnoso (Figg. 29, 30 e 39). Talora la forma della cavità sottopneumatodica varia molto. Così essa può assumere un aspetto allungato quasi fusiforme (Fig. 30) oppure può essere schiacciata lateralmente in modo da apparire ampia solo se vista in sezione longitudinale. Se invece si porta l'osservazione sopra sezioni trasversali di uno pneumatode essa si presenterà come compressa ai due lati. Talvolta la cavità è a forma di cono con il vertice rivolto in alto verso l'inizio del canalicolo (Fig. 31). Comunque sia, indipendentemente dalla forma, nella maggior parte dei casi essa è vuota. Solo raramente si vede nell'interno come un trabecolato molto lasso costituito da fibre. Talora sembra che la cavità manchi: in realtà essa è sostituita da una zona di tessuto fibroso ad interstizi più grossi del normale, quasi come si trattasse di numerose piccole cavità sostituenti nel loro complesso l'unica normale.

Il fascio vascolare ha importanza nella genesi della cavità pneumatodica perché esso, contraendosi con il disseccamento, lascia dello spazio libero ed inoltre trascina seco, strappandolo, parte del tessuto fibroso che lo circonda ed al quale è strettamente unito. Ma anche altri fatti meccanici contribuiscono alla formazione della cavità: per esempio la contrazione del tessuto fibroso in seguito al disseccamento. In tal modo si formeranno delle cavità laddove questo tessuto non è saldamente unito al sovrastante tessuto legnoso; cioè, nel nostro caso, in corrispondenza delle discontinuità tra i suddetti due tessuti riscontrabili a livello delle aperture pneumatodiche. Così si spiega la formazione della cavità pneumatodica.

Essa sembra predisposta a far meglio diffondere l'aria nel tessuto fibroso. Però il passaggio di aria si attua anche attraverso quella zona di questo tessuto che circonda la base di ciascun canalicolo.

Frequentemente la cavità degli pneumatodi presenta complicazioni sotto forma di digitazioni o meglio di diverticoli che si affondano nel tessuto circostante. Essi, ad un primo esame, sembrano doversi attribuire a ramificazioni del fascio vascolare. Ma questo, in realtà, per ogni cavità, determina la formazione di un solo diverticolo,

derivando gli altri da un semplice distacco del tessuto fibroso dal tessuto legnoso durante l'essiccamento (Fig. 36). Infatti, in relazione a ciò, è possibile distinguere due tipi di diverticoli: quelli formatisi intorno ad un fascio vascolare ed identificabili facilmente per il fatto che le fibre che li delimitano sono disposte concentricamente in modo regolare (Fig. 33), e quelli originatisi per contrazione del tessuto fibroso e perciò presentanti un lume non ben definito con fibre spezzate e disposte irregolarmente (Fig. 34). Noi chiamiamo diverticoli principali i primi e secondari gli altri. Di raro si osserva che un diverticolo secondario corra parallelamente al principale. Piuttosto non sono infrequenti i diverticoli dei diverticoli.

I diverticoli di ogni cavità sono in numero variabile. In generale tale numero è tanto maggiore quanto minore è la loro lunghezza.

In alcuni casi il canalicolo sbocca direttamente in due diverticoli quasi che l'unica cavità molto angusta fosse divisa in due da un setto di fibre (Fig. 32). Evidentemente si tratta di un caso in cui il fascio vascolare si è biforcuto alla base dello stesso canalicolo.

I casi in cui due pneumatodi disposti ai lati della regione calazale sono in comunicazione tra di loro (Fig. 35) — perchè rappresentano il punto di entrata e di uscita di uno stesso fascio vascolare — possono essere considerati come due lunghi diverticoli congiunti. Essi probabilmente lasciano circolare l'aria meglio degli pneumatodi normali.

Quando il seme cade sul terreno si inizia subito un processo di disfacimento del tessuto fibroso che riveste il canalicolo e la cavità. In tal modo, queste due parti essenziali dello pneumatode vengono ad essere ampliate e perciò la loro funzionalità ne risulta esaltata. Il canalicolo e la cavità così ampliati sono attraversati dalle ife dei funghi che hanno contribuito al disfacimento dei tessuti.

*Tessuti circostanti agli pneumatodi.* Gli pneumatodi qui considerati normalmente presentano il canalicolo sviluppato nel tessuto legnoso e la cavità, per buona parte, affondata nel sottostante tessuto fibroso. Perciò la conoscenza più minuta di tali tessuti è indispensabile per comprendere bene il funzionamento di questi organi.

Il tessuto legnoso che riveste il seme è costituito da cellule allungate, disposte a gruppetti e parallele fra loro con parete fortemente ispessita. Tale tessuto spesso si assottiglia in vicinanza degli pneumatodi (Figg. 31 e 32), fino addirittura ad interrompersi a livello di queste formazioni. Al tessuto legnoso segue, procedendo dall'esterno verso l'interno, il tessuto fibroso. Tra questi due tessuti, però, si frappone una zona intermedia di passaggio che presenta frammisti i caratteri di entrambi. Tale zona di passaggio è quasi assente verso

il polo acuto del seme dove le cellule dei due strati sono disposte più regolarmente e parallelamente fra loro.

Il tessuto fibroso è caratterizzato da un gran numero di lacune le quali si fanno più ampie in corrispondenza degli pneumatodi. Ciò é, tra l'altro, conseguenza del fatto che le fibre, in tali punti, spesso non sono disposte parallelamente, come di norma, ma in modo irregolare e secondo direzioni diverse. E siccome una tale disposizione si osserva proprio nella zona di passaggio tra lo strato medio e l'interno (nel senso di WILDE e EAMES), sembra quasi che questa zona si ingrossi a livello degli pneumatodi costituendo tutta la massa di tessuto alveolato. Certo è fuor di dubbio che quando tale tessuto riveste il canalicolo (Fig. 26, 31 e 32) o quando la cavità pneumatolica è scavata nel tessuto legnoso (Fig. 25), è solo il tessuto della zona intermedia che prende ampia parte alla costituzione del tessuto aerenchimatico dello pneumotode. Si deve aggiungere però che proprio sotto di questo, in mezzo al tessuto spugnoso ad ampi meati, esiste un piccolo nodo costituito da tessuto più compatto. (Visibile specialmente nella fig. 39). Questo fatto fa sì che l'aria entrata nel canalicolo penetri nel tessuto fibroso con maggiore facilità e di qui poi passi nel seme, attraverso minuti forellini che sono distribuiti al di sotto dello pneumotode, spesso non in direzione del canalicolo, ma un pò lateralmente ad esso. Lo strato fibroso, nella regione calazale, a livello degli pneumatodi, si ingrossa in modo da dare l'impressione che su di esso siano impiantati tanti piccoli rilievi, a guisa di bozze, anche essi di tessuto fibroso, ma a meati più ampi (1) (Fig. 38). In conseguenza di ciò lo strato fibroso del seme appare fortemente ispessito nella regione calazale, laddove esso è unito alla pellicola nucellare. Meno si ispessisce il legno (Fig. 37). Infatti misure eseguite e riportate nel seguente specchietto ne danno conferma:

Spessore del tessuto fibroso nel tratto in cui esso è unito alla pellicola nucellare . . .	mm. 2
Spessore del tessuto legnoso nel suddetto tratto „	1,50
Spessore del tessuto fibroso nel tratto in cui è disgiunto dalla pellicola nucellare . . .	mm. 0,25
Spessore del tessuto legnoso nel suddetto tratto „	1,25

---

(1) Quando si trovano due o tre pneumatodi vicini, il tessuto lacunoso dell'uno comunica con quello dell'altro.

Come si vede, mentre nel polo ottuso del seme lo strato di tessuto legnoso subisce un lieve aumento in spessore (da mm. 1,25 a mm. 1,50), un tale incremento è notevolissimo per il tessuto fibroso che addirittura diviene circa quattro volte più spesso (da mm. 0,55 a mm. 2) in corrispondenza dell'area pneumatodica. Del resto l'ispessimento calazale del tessuto fibroso si osserva anche semplicemente all'esame macroscopico di un seme sezionato longitudinalmente. A livello di tale ispessimento le lacune sono numerose e grandi, come rileva anche la ruvidità al tatto, mentre ai lati ed alla estremità micropilare mancano tali meati e la superficie di sezione si presenta, perciò, liscia al tatto (Fig. 37).

Le cellule dello strato fibroso sono fortemente impregnate di tannino tanto che, se trattate con cloruro ferrico, si colorano intensamente in bruno. Il tessuto legnoso resta incolore ma, nel tratto più prossimo al tessuto fibroso, si scurisce lievemente per la presenza di tracce di tannino provenienti da quest'ultimo tessuto.

Le lacune del tessuto fibroso sono piene di aria come si dimostra facilmente immergendone rapidamente una sezione, piuttosto spessa, in acqua ed osservando al microscopio: le bollicine di aria saranno evidenti.

Dicevamo poco prima che quando la pellicola nucellare non è saldata al tessuto fibroso quest'ultimo si presenta meno spesso con lacune piccolissime o quasi assenti. Queste, però, si possono facilmente determinare esercitando con un ago una certa pressione su di una sezione immersa in acqua. Tale constatazione ci fa intuire che il fattore che determina nel tessuto fibroso alveolato la formazione di piccole cavità è proprio la adesione di questo tessuto ai resti della nucella. In altri termini, gli spazi vuoti si formano tardivamente, quando le cellule del tessuto nel quale essi si riscontrano sono già morte. Le cavità avrebbero così un'origine puramente meccanica. Ciò non può disturbare la funzionalità dell'apparato pneumatodico il quale pure entra in attività molto tardi, con l'essiccamento dei fasci vascolari.

Quanto poi al meccanismo col quale la pellicola nucellare, aderendo al tessuto fibroso, determina in esso la formazione di lacune, bisogna logicamente ammettere che essa eserciti una trazione, conseguenza della contrazione che accompagna l'essiccamento.

Riassumendo quanto abbiamo detto in questo capitolo possiamo dire che gli pneumatodi dei semi dell'*Araucaria Bidwilli* sono sempre presenti e sono distribuiti, per la maggior parte, al polo ottuso del seme con una certa regolarità. Il numero è molto variabile. Così pure la loro forma che è in strettissimo rapporto con la disposizione

dei fasci vascolari e, soprattutto, con gli spostamenti che questi subiscono durante l'ingrossamento del seme. Ciò perchè, nel nostro caso, gli pneumatodi non rappresentano altro che il percorso dei fasci vascolari nell'interno del tegumento seminale. L'esame anatomico degli pneumatodi lascia distinguere in essi tre parti: l'ostiolo, il canalicolo ed una cavità pneumatodica.

Tutto lo pneumatode, poi, è immerso, con la sua parte inferiore, nel tessuto fibroso il quale, perchè ricco di meati, lascia liberamente circolare l'aria entrata attraverso l'ostiolo. Di qui l'aria passa nel seme tramite innumerevoli discontinuità che si osservano su di una pellicola la quale rappresenta il resto della nucella che, nella regione calazale del seme di *Araucaria Bidwilli*, è saldamente unita al tessuto fibroso.

## CAPITOLO II

### Ricerche Fisiologiche

Dopo la minuta descrizione della genesi e soprattutto della anatomia degli pneumatodi dei semi della *Araucaria Bidwilli*, sembra ovvio che essi siano realmente funzionali. Ed anzi appare manifesto come la loro funzionalità debba essere alquanto perfetta ad onta della loro peculiarissima origine morfologica. Occorre tuttavia darne le prove sperimentali. Cosa che, per l'appunto, noi abbiamo fatta su vasta scala con l'intento precipuo di dimostrare due complessi di fatti: dapprima che gli pneumatodi sono pervii e perciò si lasciano attraversare dall'aria; secondariamente che essi, al momento della germinazione, permettono gli scambi gassosi del seme con l'ambiente esterno, indipendentemente da condizioni sperimentali particolari. Pertanto tutte le ricerche qui riportate sono riunite in due paragrafi distinti.

#### Circolazione dell'aria

Per tali ricerche ci siamo serviti di semi normali distaccati dalla brattea tenuti in laboratorio per circa due mesi dopo la caduta dei coni. In essi quindi non si era affatto iniziata la germinazione perchè appena raccolti, erano stati sottratti alla umidità. Pur tuttavia l'ingrossamento dell'embrione e dell'endosperma aveva già determinato l'ampliamento del foro micropilare in corrispondenza della estremità acuta del seme. Ad uno di questi semi veniva applicato dal lato del micropilo, un tubo di gomma fissandovelo bene con un manicotto di paraffina, onde impedire ogni sfuggita di aria. Quindi, dopo avere immerso il seme nell'acqua, per rendere più evidente la eventuale fuoriuscita di aria, mediante una comune pompa da biciclette, si introduceva aria nel tubo. Si osservava così, che dalla parte ottusa del seme venivano fuori numerose bollicine di aria le quali, gorgogliando, si susseguivano a brevi intervalli, dando così l'impressione di un getto d'acqua a ventaglio (Fig. 40). A secondo delle dimensioni degli ostioli variava la grossezza delle singole bollicine. Anzi proprio osservando le bollicine ci si poteva rendere conto del diverso diametro degli ostioli. Ed infatti, conformemente a quanto abbiamo detto precedentemente, su queste parti degli pneumatodi, si constatava che le bolli-

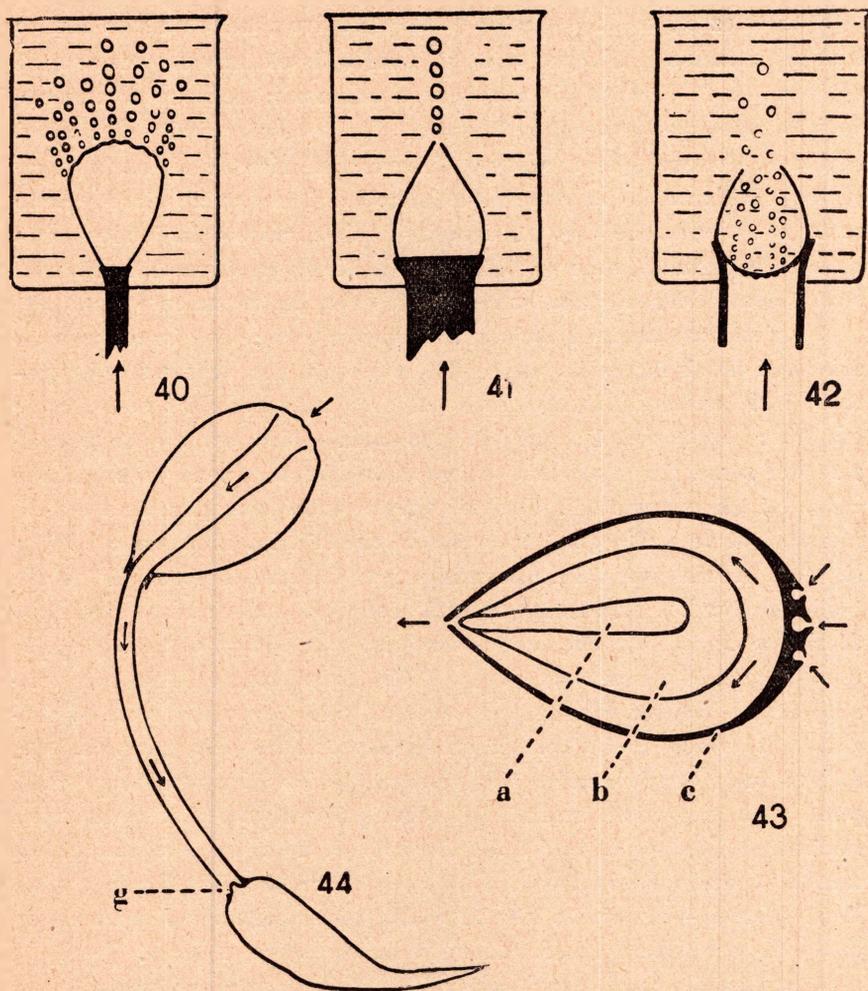


Fig. 40. L'aria introdotta dal micropilo fuoriesce dagli pneumatodi sotto forma di bollicine ben visibili quando il seme è immerso in acqua. Fig. 41. Introducendo l'aria dagli pneumatodi si vede che questa fuoriesce dal micropilo. Fig. 42. L'aria immessa dagli pneumatodi penetra nello interno del seme attraverso minuscole discontinuità esistenti sulla superficie interna del tegumento seminale e propriamente sulla pellicola nucellare. Fig. 43. Schema della circolazione dell'aria in un seme di *A. Bidwilli*. L'aria entrata dagli pneumatodi fuoriesce dal micropilo passando tra l'endosperma (b) ed il complesso tegumento seminale-pellicola nucellare (c). Tale spazio nel disegno è stato esagerato; a embrione. F. 44. Schema della circolazione dell'aria in un seme di *A. Bidwilli* in avanzata germinazione. L'aria entrata attraverso gli pneumatodi penetra nel tube cotiledonare applicato al di sotto di essi e di qui, attraverso il suo lume, giunge fino alla gemma della plantula (g).

eine di aria erano molto più grosse al centro che non ai lati della regione calazale. Se la stessa operazione veniva praticata senza tenere il seme immerso nell'acqua non si poteva assolutamente mettere in evidenza la fuoriuscita di aria dagli pneumatodi; neanche avvicinandovi la mano per avvertire il soffio. Da questi primi esperimenti risultava, dunque, che il seme dell'*Araucaria Bidwilli* si lascia attraversare dall'aria da un estremo all'altro (regione micropilare-regione calazale) ad onta che esso sia riempito dall'embrione e dall'endosperma i quali, per giunta, sono avvolti in una pellicola (residuo della nucella) strettamente aderente alla superficie interna del tegumento seminale.

Ripetemmo anche la prova in senso inverso: cioè introducemmo aria dagli ostioli facendola uscire dal micropilo per vedere se gli pneumatodi si lasciavano attraversare dall'aria in entrambi i sensi, come era logico supporre. Un tubo di gomma fu applicato alla regione calazale del seme, in modo da abbracciare tutta la zona in cui erano compresi gli pneumatodi. Fissato questo tubo con paraffina ed immerso il seme nell'acqua, si constatò che l'aria, immessa col solito sistema, fuoriusciva dalla estremità micropilare sotto forma di grosse bollicine (Fig. 41). Data la velocità con la quale queste venivano fuori era chiaro, dunque, che non sussisteva nessuno ostacolo durante il passaggio. Evidentemente tutta l'aria introdotta nel seme con questo sistema, veniva convogliata verso il polo acuto del seme e, propriamente verso quel foro, dal quale, al momento della germinazione, spunta fuori la radichetta. Ma restava da chiarire attraverso quali punti della superficie interna del tegumento seminale l'aria penetrava nell'interno del seme. Per fare ciò ci si servì di un seme accuratamente svuotato — con lo scopo di non ledere la pellicola che riveste l'endosperma — e privato per buon tratto del tegumento seminale in modo da permettere l'osservazione della superficie interna.

Applicando sulla zona con pneumatodi il tubo di gomma, così come era stato fatto nell'esperimento precedente, ed introducendo aria, si notava che questa compariva sotto forma di piccolissime bollicine su di un tratto abbastanza esteso, della superficie interna del tegumento seminale ma, comunque, non oltre la regione calazale. Inoltre si constatava che i punti di fuoriuscita erano in numero di gran lunga superiore agli pneumatodi e che al centro della regione calazale non si formavano bollicine (1) (Fig. 42). Si può concludere,

---

(1) Dato che l'esame anatomico di questa zona lascia riconoscere un tessuto fibroso abbondantemente alveolato, l'ostacolo al passaggio dell'aria deve essere quivi determinato da assenza di discontinuità sulla superficie interna della pellicola nucellare.

perciò, che ogni pneumatode non sbocca direttamente nel seme, ma che esso fa capo al tessuto fibroso. Da questo, infine, l'aria passa nell'interno del seme attraverso piccolissime, irregolari soluzioni di continuo riscontrabili nella nucella ormai estremamente schiacciata e fortemente aderente, nella regione calazale, al tessuto fibroso in questione. La pellicola nucellare in stadi non molto lontani dalla germinazione, costituisce un rivestimento impermeabile su tutto l'endosperma. Pertanto, in tali stadi, l'aria che entra attraverso gli pneumatodi può poi fuoriuscire solo attraverso questi stessi. Ciò perchè l'aria penetrata nel tessuto fibroso tramite gli pneumatodi non può neppure raggiungere lo spazio compreso tra la pellicola nucellare ed il tegumento seminale (Fig. 37, s), anche se spinta con forte pressione. Infatti, il tessuto fibroso nei punti in cui è libero dalla pellicola nucellare, subisce un forte stipamento in modo che non si formano quelle numerose lacune che esso presenta al di sotto degli pneumatodi. Solo in qualche raro caso l'aria penetra nello spazio esistente tra il tegumento seminale ed i resti della nucella a causa delle rotture che si verificano in quest'ultima per le forti pressioni realizzate durante l'esperimento.

Si può concludere, dunque, che con l'inizio della germinazione aumentano le possibilità di scambi aeriferi tra l'interno del seme e l'esterno. Ciò è provvidenziale essendo ben noto come questi scambi siano necessari in un seme in germinazione per l'intensificarsi dei processi respiratori.

In altri casi alcuni semi furono svuotati accuratamente asportando totalmente o parzialmente l'endosperma e l'embrione operando dalla parte del micropilo. Immettendo aria da questo si notava che essa fuoriusciva dagli pneumatodi con la stessa velocità e nella stessa quantità constatata precedentemente per i semi integri. Ciò dimostra che l'endosperma, apparentemente aderente alla superficie interna del tegumento seminale, in realtà non costituisce alcun ostacolo al passaggio della corrente d'aria che attraversa il seme da un estremo all'altro.

Le porzioni di tessuto fibroso esistenti al di sotto degli pneumatodi sono quelle che meglio lasciano passare l'aria. Infatti se si tagliano alla base alcuni pneumatodi in modo da mettere allo scoperto non solo il tessuto fibroso situato in corrispondenza di essi, ma anche quello che li circonda, immettendo aria si vede che le bollicine escono soltanto dalla parte centrale del tessuto fibroso e non da quello circostante che pur è in diretto contatto con l'acqua.

Questo stesso esperimento può anche dimostrarci un altro fatto. Cioè che l'apertura dell'ostiole non lascia passare acqua. Infatti, negli

esperimenti precedenti abbiamo visto che l'aria fuoriesce normalmente dagli pneumatodi di semi immersi nell'acqua. Ciò non potrebbe assolutamente accadere se in essi penetrasse dell'acqua, come ci dimostra la constatazione che, dopo immersione, non si ha emissione di bollicine da pneumatodi ai quali è stato artificialmente allargato l'ostiolo. Bisogna però fare osservare che in realtà, anche negli pneumatodi normali, dopo molto tempo di immersione, non può passare aria. Comunque si tratta di casi estremi che in natura normalmente non si verificano. Del resto, anche in questi semi fortemente imbevuti di acqua si può ristabilire la pervietà degli pneumatodi con il semplice essiccamento.

Se si otturano con paraffina tutti gli pneumatodi di un seme di *Araucaria Bidwilli* e nella regione calazale si asporta una porzione legnosa di tegumento seminale in modo da mettere allo scoperto il sottostante tessuto fibroso, si vede che l'aria, per lo meno in principio, passa attraverso di quest'ultimo. Ma se una tale asportazione si pratica verso il polo acuto del seme o, comunque, laddove la pellicola nucellare è distaccata dal tessuto fibroso, l'aria non fuoriesce da queste aperture artificiali per la maggiore compattezza che tale tessuto presenta in detti punti. Quindi si conclude da ciò che tanto il tessuto fibroso quanto quella pellicola costituita dai resti della nucella schiacciata, si lasciano attraversare dall'aria solo nella porzione calazale. Ciò non accade per la regione micropilare in cui solo il micropilo allargato rappresenta la via di passaggio dell'aria.

Insomma anche queste osservazioni ci convincono che l'aereazione del seme in questione è esclusivamente limitata alla regione micropilare ed a quella calazale in particolar modo.

Per vedere se l'apparato pneumatodico sia funzionale sin da quando il seme non si è ancora reso libero, immettemmo aria dalla regione micropilare in un seme ancora contenuto nella brattea. Si vedeva così che le bollicine spuntavano dalla parte superiore (1) della squama, laddove essa si riduce ad un sottile involucro cartilagineo che riveste il seme e che, anzi, secondo WILDE e EAMES, (2) farebbe

(1) Le bollicine d'aria non uscivano mai dalla parte inferiore che presenta i tessuti più spessi per il sovrapporsi di due organi: la squama ovulifera e la brattea copritrice.

(2) WILDE e EAMES distinguono nel tegumento seminale dell'*Araucaria Bidwilli* tre strati che denominano rispettivamente, dallo interno verso lo esterno, I, II e III. Al III corrisponde lo strato fibroso ricco di tannino che si trova sulla faccia interna del tegumento seminale; al II, lo strato legnoso ben visibile nel seme maturo; infine al I strato corrisponde una parte del tegumento seminale che non si trova nel seme libero perchè resta aderente alla squama. Noi, per semplicità, in seguito useremo questa distinzione.

addirittura parte di quest'ultimo (strato I del tegumento seminale). In particolare l'aria veniva fuori dalle piccole fenditure di tale involuero formatesi dopo il distacco della brattea dal cono. Quindi l'apparato pneumatodico o non funziona proprio o funziona molto scarsamente in un seme non libero. Del resto, anche se esso potesse funzionare, in queste condizioni il seme non ne sarebbe molto avvantaggiato perché, nel cono, le brattee sono strettamente aderenti e l'aria che vi circola è molto scarsa. Solo poco prima del distacco del cono i semi si ingrossano tanto da determinare la formazione di grossi spazi tra le singole brattee. Allora, forse, gli pneumatodi cominciano a funzionare. Tale limitata funzionalità, ammesso che sussista, dura, però, per poco tempo perché la maturità del seme coincide presso a poco con il distacco del cono dalla pianta madre. Questo, caduto sul terreno, entra in disfaccimento con una rapidità eccezionale. Le brattee si isolano, la pellicola al di sopra del seme marcisce e l'apparato pneumatodico può liberamente funzionare perché in diretto contatto con l'ambiente esterno.

L'apparato pneumatodico funziona anche per qualche tempo dopo la germinazione, quando la plantula è ormai fuoriuscita dal seme. Per comprendere bene ciò occorre, prima di riferire le prove sperimentali eseguite con questo scopo, ricordare alcuni particolari della germinazione dei semi dell'*Araucaria Bidwilli*. I cotiledoni di questa specie sono, come è noto, nella maggior parte dei casi, saldati insieme in modo da costituire un tubo che con la sua base è adagiato intorno alla gemma apicale, al di sopra dell'ipocotile, mentre l'estremo distale raggiunge, nel seme, il polo più ottuso di questo. In altri termini, tale estremo distale si trova al di sotto dell'apparato pneumatodico. Questa disposizione viene conservata, naturalmente, anche durante la germinazione; solo che il tubo cotiledonare si allunga notevolmente, portando fuori del seme, a distanza di diversi centimetri, l'ipocotile il quale diventerà ben presto organo di riserva dei materiali originariamente accumulati nell'endosperma. La via per questo trasporto di sostanze è costituita dal tubo cotiledonare il quale rappresenta in tale stadio, l'unico collegamento tra i tessuti di riserva del seme e le altre parti dell'embrione, ormai abbastanza lontane. Però, una volta completatosi l'accumulo delle sostanze di riserva nell'ipocotile, la plantula, per lo meno da noi, entra in riposo. Allora il tubo cotiledonare si dissecca ed alla sua base, sull'ipocotile, si forma un tessuto di distacco. Non per questo, però, si verifica subito la separazione che, al contrario, si attuerà più tardi, quando la gemma riprenderà il suo sviluppo.

Il tubo cotiledonare col disseccamento ed il raggrinzimento dei suoi tessuti permane ancora pervio. In tal modo esso funziona ancora — meccanicamente, s'intende — a servizio della plantula giacchè permette che l'aria giunga alla gemma apicale attraverso il suo lume. Bisogna ricordare, infatti, che durante la germinazione l'estremità distale del tubo cotiledonare si allunga digerendo l'endosperma ed andandosi, così, ad applicare fortemente con la sua apertura superiore al di sotto degli pneumatodi. L'aria passa in questi e di qui nel tubo cotiledonare che poi la porta alla gemma. Di tale aria la gemma si avvantaggia specialmente al momento della ripresa vegetativa.

La prova sperimentale di ciò si ebbe dal seguente esperimento. Semi di *Araucaria Bidwilli*, abbastanza avanzati nella germinazione, furono privati dell'asse ipocotile ingrossato — con la radice e la gemma — in modo da ridurli soltanto al tegumento seminale includente l'endosperma abbastanza consumato ed il tubo cotiledonare, in parte immerso in detto endosperma, in buona parte sporgente dal seme. Alla estremità di questo canale delimitato dai cotiledoni, laddove esso era attaccato all'ipocotile, venne applicato un sottile tubo di gomma. Inoltre furono ocluse con paraffina tutte le spaccature determinatesi durante la germinazione sul tegumento seminale. Tale dispositivo fu immerso in acqua. Così si vedeva che introducendo aria dalla estremità prossimale del tubo cotiledonare, essa fuoriusciva dall'apparato pneumatodico. L'esperimento fu ripetuto in senso inverso, cioè introducendo l'aria dal polo distale, (1) sempre con esito positivo. In tal modo veniva dimostrata l'esistenza di una comunicazione che, sul finire della germinazione, si stabilisce tra la gemma apicale e l'ambiente esterno, tramite il tubo cotiledonare e l'apparato pneumatodico.

#### Emissione di anidride carbonica.

Tutte le ricerche dianzi esposte dimostrano che effettivamente gli pneumatodi si lasciano attraversare dall'aria. Però ad esse si potrebbe obiettare che il passaggio dell'aria nei nostri esperimenti, si effettuava sotto una forte pressione cioè in condizioni non naturali.

---

(1) L'apertura distale del tubo cotiledonare assume spesso una forma allungata ed è disposta parallelamente alla superficie del tegumento seminale e spostata lateralmente, specialmente, quando l'estremità dei cotiledoni si allunga molto in modo da contorcersi al di sotto del polo ottuso del seme. Significativo è il fatto che molto spesso questa apertura sia parallela alla linea lungo la quale sono disposti gli pneumatodi. Essa spesso sembra oclusa da piccole porzioni di endosperma che si osservano internamente. Ciò è solo una parvenza perchè si è visto, negli esperimenti sopra riportati, che essa si lascia attraversare dall'aria.

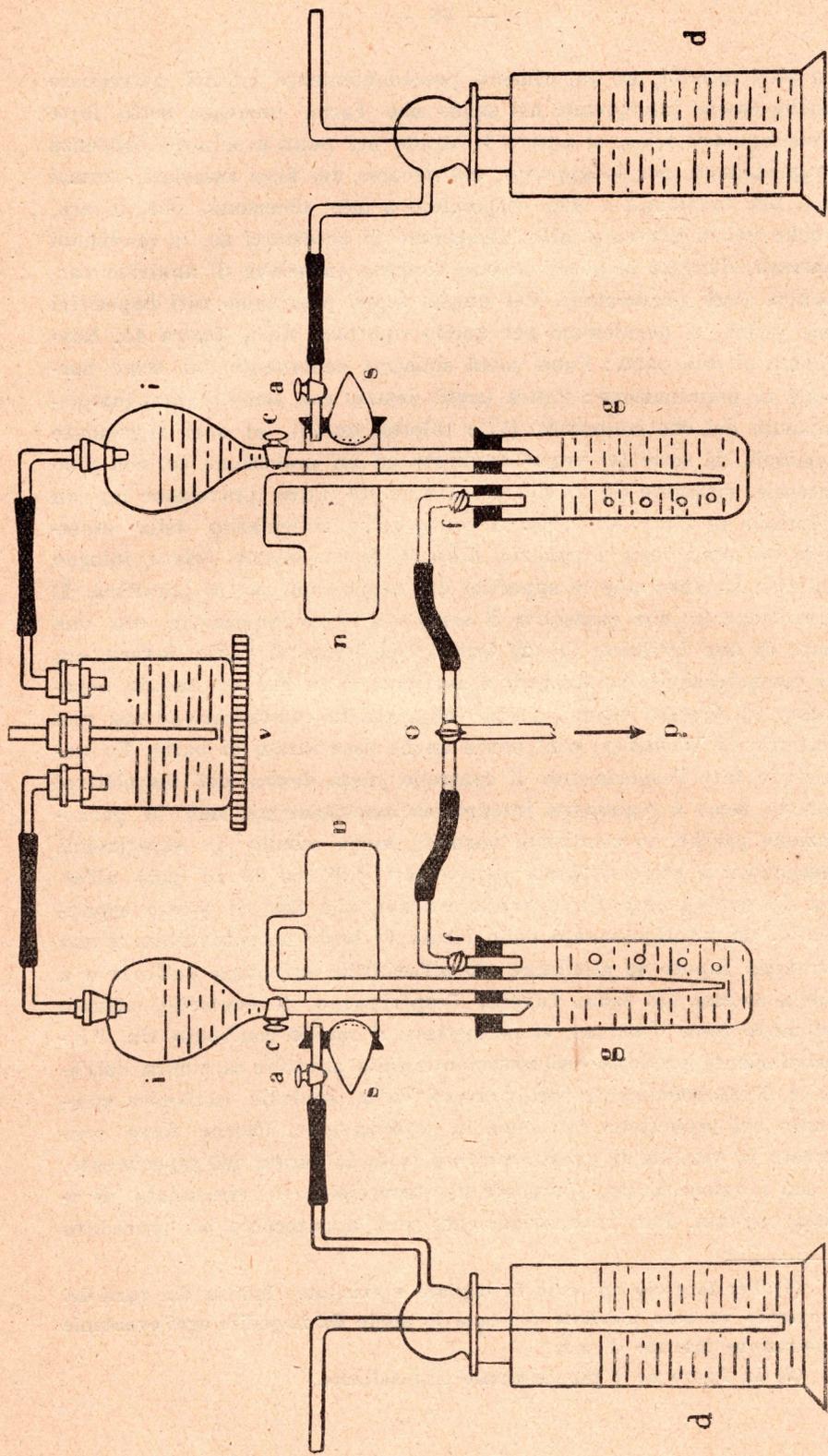


Fig. 45. Dispositivo allestito per dimostrare la emissione di anidride carbonica dagli pneumatodi dei semi di *A. Biduilli* in germinazione. La metà destra del dispositivo serve da controllo. Per ulteriori spiegazioni vedere il testo.

In altri termini, gli esperimenti precedentemente riferiti potrebbero anche essere interpretati nel senso che l'aria, immessa sotto forte pressione nel seme, si apriva la strada nei punti di minore resistenza rappresentati, per lo appunto, dal decorso dei fasci vascolari - ormai non più funzionali -. Per rispondere a tale obiezione, che, invero, anche noi ci eravamo fatta, pensammo di accertarci se, in condizioni normali, durante la germinazione vi fosse emissione di anidride carbonica dagli pneumatodi. Per questo scopo provammo vari dispositivi ma, infine, ci decidemmo per quello riportato nella figura 45. Esso consta di due parti: l'una (metà sinistra) contenente un seme normale in germinazione; l'altra (metà destra) con seme privato completamente del suo contenuto (1) e ridotto, quindi, al solo tegumento seminale. Il seme (s) venne applicato ad un provettone (n) con tubo laterale, ripiegato ad u, che pescava in un altro provettone (g) con soluzione di idrato di bario. A causa della irregolarità della superficie dei semi della *Araucaria Bidwilli* fu necessario colare intorno ad essi, su entrambe le superfici del tappo, un pò di paraffina. Il provettone (n) che conteneva il seme era in comunicazione con una serie di due Drescher (d) (2) Quello con idrato di bario, invece, era in comunicazione con la pompa aspirante (p) e con un imbuto separatore (i). Questo ultimo, a sua volta, era in comunicazione con una bottiglia di Woulff (v) contenente anche essa idrato di bario. Fu necessario fare l'esperimento di controllo (metà destra del dispositivo) con un seme a tegumento integro ma assolutamente non in germinazione perchè, in condizioni normali, come risulta da esperimenti precedenti, il seme si lascia attraversare dall'aria da un polo all'altro. Di conseguenza riscontrando poi noi, alla fine di questo esperimento, un intorbidamento dello idrato di bario nei provettoni g non avremmo saputo se attribuire ciò all'anidride carbonica dell'aria o a quella emessa dal seme. Invece, l'esperimento di controllo, attuato nel modo testè descritto, ci permetteva il rapido confronto tra l'intorbidamento prodotto esclusivamente dalla anidride carbonica dall'aria e l'intorbidamento determinato dalla anidride carbonica contenuta nel provettone con seme in germinazione. Perchè fosse conservata la vitalità di questo durante tutta la durata dell'esperimento, la sua porzione acuta, sporgente dal turacciolo, fu circondata di ovatta bagnata. Per il funzionamento dell'apparecchio si procedeva

---

(1) Per fare ciò un seme fu tagliato e svuotato. Indi le due parti del tegumento vennero incollate con cura in modo da impedire ogni eventuale penetrazione laterale di aria.

(2) In figura ne è rappresentato uno soltanto.

nel modo seguente: tenendo chiusi i rubinetti c-c, aperti a-a ed f-f, si metteva in funzione la pompa aspirante in modo da riempire i quattro provettoni (n-n e g-g) con aria priva di anidride carbonica perchè gorgogliata attraverso l'idrato di bario dei quattro Drescher. Dopo di ciò venivano chiusi i rubinetti a-a e f-f e si apriva il rubinetto situato alla base della bottiglia di Woulff originariamente piena di soluzione di idrato di bario, facendo scendere fino ad un certo livello questa soluzione. In tal modo lo spazio lasciato libero dalla soluzione si riempiva di aria priva di anidride carbonica. Indi si aprivano i rubinetti c-c degli imbuto separatori nei quali precedentemente era stata immessa una soluzione limpida di idrato di bario. Tale soluzione veniva così introdotta nei provettoni g-g sotto la pressione dell'aria proveniente dalla bottiglia di Wolf e perciò priva di anidride carbonica. Dopo di ciò i rubinetti c-c venivano chiusi e si lasciava tale dispositivo per un periodo di 2-6 giorni. Indi aprendo i rubinetti f-f si metteva in funzione la pompa aspirante facendo gorgogliare nei provettoni g-g l'aria contenuta nei provettoni n-n. Per evitare che in questo momento penetrasse dell'aria nello apparecchio a mezzo del foro esistente nel polo acuto del seme si aveva cura di otturarlo con paraffina. Sin da quando si iniziava il gorgogliamento si poteva vedere con molta evidenza che la soluzione di idrato di bario del provettone g di sinistra assumeva un aspetto latteo nei confronti di quella del provettone g di destra che invece appariva leggermente intorbidata. Tale differenza era anche palese lasciando riposare le soluzioni dei due provettoni ed osservando poi la quantità di precipitato. Dunque i semi avevano respirato e l'anidride carbonica da essi prodotta era fuoriuscita dagli pneumatodi. E' presumibile, però, che in natura anche dal polo acuto del seme venga emessa una certa quantità di anidride carbonica.

Gli esperimenti esposti in questo capitolo dunque ci confermano che i semi di *Araucaria Bidwilli* si lasciano attraversare dall'aria da un estremo all'altro per la esistenza della apertura micropilare e delle aperture pneumatodiche. Tale aerazione si attua specialmente quando il seme si è distaccato dalla brattea madre e comincia la germinazione. E persino nel momento in cui il fusticino si sviluppa gli pneumatodi funzionano ancora a servizio della gemma di questo, tramite il tubo cotiledonare disseccato. Inoltre resta provato che anche in condizioni naturali dagli pneumatodi, durante le prime fasi della germinazione viene eliminata anidride carbonica.

### Considerazioni conclusive.

Gli apparati pneumatodici sono frequenti nel regno vegetale e si rinvengono in quelle piante o, meglio, in quelle loro parti che o per condizioni di ambiente, o per peculiarità istologiche, sarebbero impossibilitate ad effettuare scambi gassosi con l'ambiente esterno senza di essi. La necessità di tale scambio sussiste, naturalmente, anche per l'embrione vegetale il quale è in rapporto con l'ambiente esterno solo tramite i tessuti ad esso circostanti: vale a dire i tessuti del seme e del frutto. E, quando questi tessuti sono impermeabili ai gas o per lignificazione o per altri ispessimenti delle pareti cellulari, ritroviamo in essi particolari formazioni che esplicano una tale funzione (v. per esempio gli pneumatodi più volte descritti per i frutti e per i semi). Rientra, dunque in queste considerazioni generali il caso degli pneumatodi dei semi della *Araucaria Bidwilli*. Essi però, sono notevoli per le loro dimensioni costituendo formazioni ben distinte sul tegumento seminale e facilmente osservabili nei loro particolari ad occhio nudo. La loro notevole grossezza può mettersi in rapporto col fatto che il tegumento seminale è fortemente ispessito e ad onta di ciò, l'embrione deve attivamente respirare. Dei due gruppi di pneumatodi - quelli disposti secondo una linea che passa per il centro del polo ottuso del seme e quelli situati disordinatamente verso la faccia inferiore del seme - i primi sono più altamente funzionali e più grossi, mentre i secondi spesso sono oblitterati e non molto rilevati.

Non deve meravigliare la particolare origine degli pneumatodi in questione i quali non rappresentano altro che il percorso, nel tegumento seminale, dei fasci vascolari essicatisi nelle ultime fasi della evoluzione del seme. Infatti, è noto che gli pneumatodi rappresentano molto spesso, l'adattamento alla funzione aerifera di formazioni aventi originariamente tutt'altra funzione. Il caso più normale, più logico, è quando essi si evolvono da altri apparati aventi la medesima funzione aerifera, come accade, appunto, per gli pneumatodi sviluppatisi in corrispondenza degli stomi. Il fascio vascolare, col cambiare direzione (1) e con l'esercitare sul tegumento seminale una trazione, fa assumere ad ogni singolo pneumatode una forma determinata. Si potrebbe addirittura dire che nei semi di *Araucaria Bidwilli* non esistano due pneumatodi perfettamente uguali. Insomma il fascio vascolare funziona fino all'ultimo a servizio del seme: dapprima come

---

(1) In seguito all'ingrossamento del seme.

via di apporto di sostanze nutritive, poscia, disseccandosi, determina la formazione di un'apertura che funge da via respiratoria.

Nella maggior parte dei casi gli pneumatodi qui considerati presentano un ostiolo, un canalicolo ed una cavità. L'ostiolo è il forellino mediante il quale lo pneumatode comunica con l'esterno. Il canalicolo mette in comunicazione la cavità con l'ostiolo. La cavità, infine, rappresenta la parte più profonda dello pneumatode, rigonfiata a guisa di fiasco, ed è determinata soprattutto dalla contrazione dei tessuti conseguente all'essiccamento del seme. Quanto all'ostiolo noteremo che esso è abbastanza perfetto nei confronti delle aperture degli pneumatodi di altre specie, le quali in molti casi derivano da semplici dilacerazioni delle epidermidi, come per esempio accade per la radici respiratorie (MONTEMARTINI). Negli pneumatodi dell'*Araucaria Bidwilli*, invece, l'apertura è preformata (1) e, del resto, la morfologia con parata di simili formazioni respiratorie ci insegna che tale caso non é esclusivamente limitato a questa specie. La cavità presenta spesso dei diverticoli i quali si perdono sempre più assottigliandosi, nel sottostante tessuto fibroso, nel quale risulta immersa tutta la parte inferiore dello pneumatode. Ciò fa notare una certa rassomiglianza tra gli pneumatodi dell'*Araucaria Bidwilli* e quelli della *Erythea edulis* descritti dal Chiarugi. Per quanto sussistano tra di essi profonde differenze, avendo origini del tutto diverse.

Dicevamo che gli pneumatodi dell'*Araucaria Bidwilli* risultano immersi nei tessuti di rivestimento del seme: tessuto leguoso e tessuto fibroso. Quest'ultimo tessuto, in corrispondenza della regione calazale, raggiunge un notevole spessore e presenta una struttura spiccatamente lacunosa (2). Ciò dice che uno pneumatode, indipendentemente dall'organo sul quale si forma, deve sempre avere una tale struttura perchè sia assicurata la sua funzionalità. Le lacune del tessuto fibroso sono circondate da fibre le quali, in origine, erano saldamente unite, per tutta la loro lunghezza, ma poi, con l'essiccamento, si sono discostate. Si forma così un tessuto spugnoso che, per la cavità che contiene, permette un perfetto scambio gassoso con l'ambiente, proprio come le lacune che si rinvengono in un normale tessuto aerenchimatico, per esempio di radici a funzione respiratoria.

L'aria, entrata negli pneumatodi, penetra poi nello interno del seme attraverso piccole discontinuità che si riscontrano sulla superfi-

---

(1) E' il punto in cui il fascio vascolare penetra nel tegumento seminale, come è stato detto più volte.

(2) Anche nelle radici respiratorie, al di sotto delle dilacerazioni epidermiche (aperture pneumatodiche) si trova un tessuto lacunoso.

cie interna della pellicola nucellare. Questa rappresenta ciò che resta della originaria nucella ormai schiacciata, e, nella regione calazale, aderisce intimamente alla superficie interna del tegumento seminale. Tale continuità dei tessuti con lo strato nucellare è indispensabile perchè sia assicurato il passaggio dell'aria. Inoltre, bisogna osservare che questa disposizione permette meglio l'aereazione del seme perchè, in tal modo, le vie che conducono l'aria sono in diretto rapporto con l'endosperma e, all'atto della germinazione, con il tubo cotiledonare. L'aria non passa mai nel tessuto fibroso, laddove esso è digiunto dalla pellicola nucellare. Infatti, se ciò accadesse, l'aria passerebbe al di fuori di tale pellicola ed uscirebbe dal micropilo senza venire a contatto con l'endosperma e l'embrione.

Dopo che il seme si è liberato dalla brattea, o perchè schizza fuori o per disfacimento di questa, gli pneumatodi rappresentano l'unica via di entrata e di uscita dell'aria e perciò costituiscono le sole aperture mediante le quali il seme è in rapporto con l'ambiente esterno. Infatti, la pellicola nucellare, in questo stadio, è integra e perciò non lascia passare l'aria. Cosa che, al contrario, sarà possibile poco più tardi, per le lacerazioni della pellicola conseguenti all'ingrossamento dell'endosperma e dell'embrione. Si stabilisce così una corrente di aria (micropilare-calazale o viceversa) che attraversa il seme da un estremo all'altro. Gli pneumatodi sono, allora, pervii all'aria in ogni senso sia in semi integri sia in semi svuotati e ridotti al solo tegumento.

Comunque, si può affermare che gli pneumatodi di semi perfettamente sviluppati, ma contenuti ancora nella brattea, non sono funzionali o lo sono pochissimo. Essi, infatti, si trovano nella regione calazale o addirittura nella faccia inferiore del seme, cioè in quelle parti che risultano maggiormente affondate nei tessuti della brattea. Ma, anche se essi fossero più superficiali, lo stesso sarebbero inattivi perchè le brattee collabiscono perfettamente nel cono nel quale, di conseguenza, circola una quantità minima di aria.

Quando i grossi e pesanti coni della *Araucaria Bidwilli* si distaccano dalla pianta madre e cadono da notevoli altezze, essi spesso si aprono lasciando schizzar fuori i semi che sono così distribuiti su di una ampia superficie. E' logico che essi allora, isolati ed a contatto con l'aria, possono liberamente effettuare con l'ambiente esterno gli scambi gassosi. Si inizia così subito l'emissione della radichetta, abbastanza robusta, che proseguirà nel suo sviluppo trovando condizioni favorevoli di umidità e di substrato. In altri casi, invece, i coni, cadendo, non si aprono ma non per questo viene impedita la germinazione dei semi in essi contenuti. Le brattee, infatti, si distaccano ben

presto dall'asse del cono per il marciume che le invade con singolare rapidità. Anche in questo caso, dunque, i semi vengono in contatto dell'aria che, tramite gli pneumatodi, penetra nel loro interno.

Intanto, con l'inizio della germinazione, le riserve del seme vengono utilizzate con conseguente diminuzione di volume dell'endosperma. In tal modo tra il tegumento seminale e le restanti parti del seme si determina un vuoto che funziona molto bene da camera d'aria che favorisce la circolazione dei gas. Questa camera d'aria è fraposta tra due sistemi di aperture: quello pneumatodico da un lato e quello micropilare dall'altra parte. Però anche prima che si inizi l'utilizzazione delle riserve dell'endosperma, quando questo è ancora apparentemente aderente al tegumento seminale ed un simile vuoto non si è ancora formato, l'aria ugualmente circola con facilità.

L'apparato pneumatodico funziona anche per qualche tempo dopo la germinazione. Infatti il tubo formatosi per l'unione dei cotiledoni, allungandosi, consuma l'endosperma e si va ad applicare al di sotto degli pneumatodi a mezzo della estremità distale, permettendo così che l'aria entrata attraverso questi giunga fino alla gemma della plantula. In tal modo si vede che le disposizioni riscontrate nei semi della *Araucaria Bidwilli* in germinazione sono perfettamente adatte a dare la massima possibilità di respirazione agli apici radicali e caulinari che, appunto, sono tessuti a respirazione molto intensa. Infatti l'apice radicale, finché non esce dal seme, è situato in corrispondenza dell'apertura micropilare, mentre l'apice caulinare si trova in fondo al tubo cotiledonare attraverso il quale gli perviene l'aria. Una prova sperimentale di ciò sta nella constatazione che se in un seme di *Araucaria Bidwilli* si introduce aria dalla estremità prossimale del tubo cotiledonare, dopo l'asportazione dello ipocotile e relativa gemma, essa fuoriesce dagli pneumatodi. Risulta dimostrato che questi organi, durante la germinazione, emettono anidride carbonica.

Gli pneumatodi dei semi di *Araucaria Bidwilli* sono particolarmente grandi ed altamente funzionali perché, come è noto, in questa specie, come del resto in molte altre, l'embrione non soggiace quasi ad alcun periodo di latenza e quindi ha continuamente bisogno di grandi quantità di ossigeno, molto più di quanto non ne consumi l'endosperma. Basti ricordare che asportando un embrione di Mays dalla cariossidi si è potuto assodare che circa il 70 % dell'anidride carbonica emessa dalle cariossidi di questa specie in germinazione spetta all'embrione.

Per l'assenza di un periodo di latenza i semi di *Araucaria Bidwilli* si distinguono dai semi di moltissime altre specie.

In questi ultimi, infatti, la respirazione riprende il suo normale ritmo solo quando si inizia la germinazione cioè quando il tegumento seminale comincia a rompersi e quindi l'aereazione si attua facilmente. Gli embrioni di *Araucaria Bidwilli*, invece, una volta perduti i rapporti con la pianta madre, devono subito mettersi in rapporto con l'ambiente esterno, tramite l'apparato pneumatodico. E' vero che esiste anche una apertura verso il polo acuto del seme, ma questa in primo luogo si amplia solo in un secondo momento e poi anche quando ha assunte le dimensioni definitive è insufficiente, da sola, ad una perfetta aereazione del seme. Ciò non esclude, naturalmente, che essa favorisca sensibilmente l'attuarsi di tale circolazione d'aria per le ragioni dianzi esposte.

#### RIASSUNTO

In questo lavoro l'autore dimostra che quelle particolari formazioni osservabili nella regione calazale del seme di *Araucaria Bidwilli* hanno funzione pneumatodica. Pertanto esse possono senz'altro essere definite come pneumatodi. Se ne distinguono due gruppi: quelli disposti al centro del polo calazale e quelli situati verso la parte inferiore di detta zona. Tutti derivano dai fasci vascolari diretti all'ovulo o, talora, da qualche fascio della squama ovulifera che è restato incluso nel tegumento seminale. I primi, però, sono più altamente funzionali, mentre tra i secondi ve ne sono molti oblitterati. Insomma gli pneumatodi non rappresentano altro che il percorso dei fasci vascolari nel tegumento seminale. Con l'essiccamento questi fasci si contraggono lasciando libero uno spazio che resta beante perchè ormai i tessuti ad esso circostanti si sono lignificati. In tal modo per ogni fascio vascolare si forma uno pneumatode nel quale, nella maggior parte dei casi, sono discernibili tre parti: un ostiolo, che è la apertura mediante la quale lo pneumatode comunica con lo esterno; un canalicolo, di lunghezza varia e nel quale si continua l'ostiolo; una cavità slargata a guisa di fiasco e situata più o meno profondamente nel tegumento seminale. Il canalicolo e la cavità sono rivestiti da una specie di tessuto fibroso che è ricco di lacune e pertanto lascia circolare facilmente l'aria.

Gli pneumatodi permettono il passaggio dell'aria come dimostra l'esperienza nel quale questa, se introdotta dalla apertura micropilare, fuoriesce dagli ostioli. L'esperienza riesce anche se ripetuta in senso inverso, sia che si operi su semi integri sia che si tratti di semi parzialmente o totalmente svuotati. L'aria penetra nell'interno del seme attraverso minutissime discontinuità esistenti sulla superficie interna

della pellicola nucellare. A causa della integrità di questa gli pneumatodi rappresentano, per i semi appena liberati dalla brattea, l'unica via mediante la quale il seme è in rapporto con l'esterno. Solo in un secondo momento la rottura della pellicola nucellare permette la funzionalità della apertura micropilare. Si stabilisce allora una corrente d'aria che attraversa il seme da un polo all'altro.

Nei semi contenuti ancora nella brattea gli pneumatodi non sono funzionali. Essi entrano in attività solo dopo che i semi si sono resi liberi e funzionano anche per qualche tempo dopo la germinazione. Infatti il tubo formatosi per l'unione dei cotiledoni, applicandosi con l'estremità distale al di sotto degli pneumatodi, permette all'aria introdotta attraverso di questi di giungere fino alla gemma della plantula. Ciò è dimostrato dal fatto che, se si introduce aria dalla estremità del tubo cotiledonare, essa fuoriesce dagli pneumatodi. Da questi, durante la germinazione, viene emessa anidride carbonica; ultima ed inconfutabile prova, questa, della loro funzionalità.

#### S U M M A R Y

In this work the author shows that the particular formations which are to be seen in the chalazal part of the seeds of *Araucaria Bidwilli*, have a pneumatodic function. Therefore they may briefly said pneumatodical formations. We distinguish two groups: some disposed at the centre of the calatial end and others situated towards the inferior part of the said zone. All of them come from the vascular bundles directed to the ovule, and, sometimes, from some bundles of the ovuliferous scale remained enclosed in the tegument of the seed. The former, however, are more strongly functional, while the latter are mostly obliterated. In short the pneumatodes represent only the way of the vascular bundles in the tegument of the seed. Through the drying these bundles draw together and set free a space, which remains pervious, for now the tissues around them are lignified. In this way for each vascular bundle is formed a pneumatode in which, in the most cases, three parts are distinguished: an ostiole that represents the opening through which the pneumatode communicates with the outside; an canalicular of different seize and in which the ostiole continues; a cavity widened in the manner of the flask and situated more or less deeply in the tegument of the seed. The canalicular and the cavity are covered by a kind of fibrous tissue, which is rich in empty spaces and therefore it lets the air spread freely.

The pneumatodes allow the passing of the air as the experiment shows that when we introduce the air from the micropilar opening,

the same comes out of the ostioles. The experiment takes place even if it is repeated in the inverse sense both when one works on whole seeds and also when one uses seeds, which are partially or wholly emptied. The air penetrates inside the seed through very minute discontinuities existing on the inward surface of the nucellar film. Owing to the integrity of this film the pneumatodes represent for the seeds, as soon as they are set free from the bractea, the only way through which the seed is in relation with the exterior. Only in a second time the breaching of the nucellar film allows the function of the micropilar opening. It takes place then a draft, that crosses the seed from one pole to the other.

In the seeds, which are still contained in the bractea, the pneumatodes are not functional. They become active only when the seeds have become free and they still work for some time after the germination. Indeed the tube obtained for the union of the cotyledons applies itself with the distal extremity beneath the pneumatodes and allows so the air introduced through them to reach the bud of the plantlet. This is proved by the fact that if we introduce air from the extremity of the cotyledonar tube, the air comes out of the pneumatodes, from which, during the germination, comes out carbonic anhydride and this is the last and unquestionable prove of their functional power.

## BIBLIOGRAFIA

- BECCARI O. - Le palme americane della Tribù delle Corypheeae. *Webbia*, vol. II, p. 121-122, 1907.
- BEISSNER L. - Handbuch der Nadelholzkunde. Berlin, 1909.
- BENTHAM G. et Hooker J. D., Genera plantarum. Vol. III, pars I, 1880.
- BORZI A. - Biologia della germinazione della *Araucaria Bidwilli* Hook. *Contribuzioni alla biologia vegetale*. Vol. III, fasc. III, Palermo, 1905.
- CARRIÈRE E. A. - Traité général des conifères. Paris, 1885.
- CHIARUGI A. - Un particolare tipo di pneumatodi delle drupe di « *Erythea edulis* » S. Votson (Palmae). *N. Giorn. Bot. Ital.* n. s. vol. I, p. CXXIV, 1938.
- DALLIMORE W. and JACKSON A. B. - A handbook of coniferae, London, 1948.
- ENDLICHER S. - Synopsis Coniferarum. Sangalli, 1847.
- GUILLOCHON L. - Observations sur le mode de germination de l'*Araucaria Bidwilli* Hook. *Bull. Soc. Bot. de France*, Ser. V, Tome I, pag. 891, 1925.
- GUILLOCHON L. - Observation sur le mode de germination de l'*Araucaria imbricata* Pav. *Ibidem*, Tome II, pag. 444, 1926.
- HICKEL R. - A propos de la germination des *Araucaria*. *Ibidem*; pag. 968, 1926.
- MESSERI A. - Ricerche sulla morfologia della plantula nelle Coniferae. Le Araucarieae. *N. Giorn. Bot. Ital.* n. s. vol. XLVII, I, pag. 119, 1940.
- MONTMARTINI L. - Contributo allo studio del sistema aerifero delle Bambusee. *Contribuzioni alla biologia Vegetale*, vol. III. fasc. II, Palermo, 1904.
- RADAIS M. - Contribution a l'étude de l'anatomie comparée du fruit des conifères. *Annales des Sciences naturelles*, VII sér., Botanique. XIX, pag. 165, 1894.
- SEWARD A. C. and SIBILLE O. F. - The Araucarieae recent and extinct. *Philos. Trans. of the Royal Soc. of London*, 198, pag. 305, 1906.
- STRASBURGER E. - Die Coniferen und Gnetaceen. Leipzig, 1872.
- WHITE C. T. - Notes on two species of *Araucaria* in New Guinea and a proposed new section of the Genus. *Journ. Arnold. Arb.*. XXVIII, pag. 259, 1947.
- WILDE M. H. - and EAMES A. J. - The ovule and « seed » of *Araucaria Bidwilli* with discussion of the taxonomy of the Genus. I, Morphology. *Annals of Botany*, 12, prg. 311, 1948.

