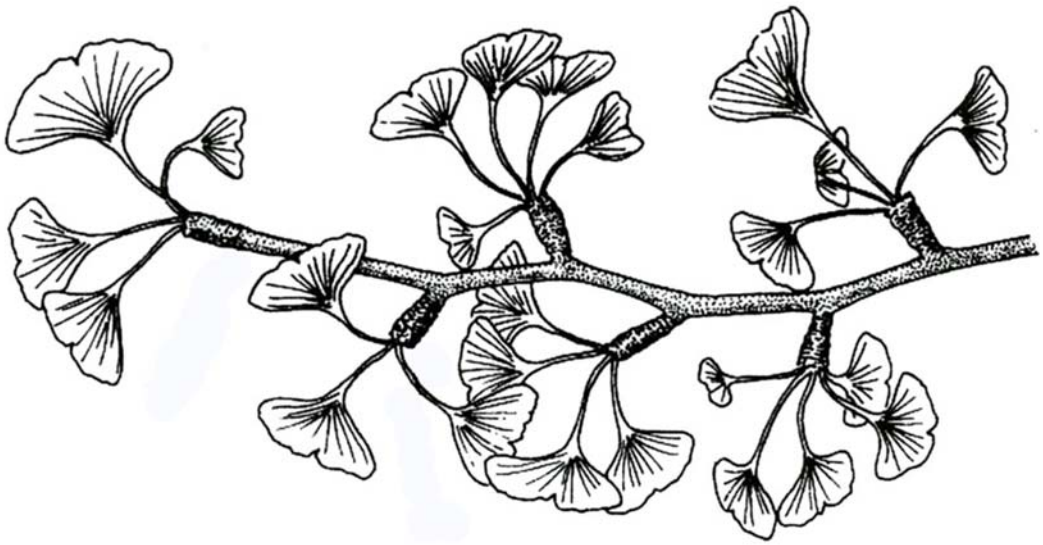
NATURALMENTE

Fatti e trame delle Scienze

Fabrizia Gianni

L'organismo vegetale



NATURALMENTE
scienza

NATURALMENTE

Raccolta di articoli di Fabrizia Gianni

Spedizione: Poste Italiane SpA - Spedizione in abbonamento postale - D. L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma 1, CB PISA
Iscrizione al ROC numero 16383
Direttore responsabile: Luciano Luciani
Segretario di redazione: Enrico Pappalettere (e.pappalettere@alice.it) 3487934426
Redazione: Sandra Bocelli, Francesca Civile, Brunella Danesi, Fabio Fantini, Fabrizia Gianni, Vincenzo Terreni, Isabella Marini
Impaginazione: Vincenzo Terreni (terreni@naturalmentescienza.it)
Edizione e stampa: ETS Piazza Carrara, 16-19 PISA - tel. 050 29544 - fax 050 20158
Proprietà: ANISN - Pisa c/o Museo di Storia naturale e del Territorio, Via Roma, 79 - 56011 Calci (Pi)
Abbonamenti:
Conto Corrente Postale n. 14721567
Banca Intesa - San Paolo
IBAN: IT 95 T 0306914020013958150114
Cassa Risparmio di Lucca, Pisa e Livorno
IBAN: IT 96 A 0620014011000000359148
Ordinario 20,00 euro; ordinario e CD tutto Naturalmente 30,00 euro; ordinario e tutto Naturalmente pdf 25,00 euro; sostenitore 35,00 euro; Scuole, Associazioni, Musei, Enti ecc. 27,00 euro; biennale 36,00 euro; estero 40,00 euro; singolo numero 8,00 euro; numeri arretrati 12,00 euro; copie saggio su richiesta.
Registrato il 25/02/1989 presso il Tribunale di Pisa al n. 6/89
Informazioni: www.naturalmentescienza.it
050/571060-7213020; fax: 06/233238204

Collaboratori
Maria Arcà Centro studi Ac. Nucleici CNR Roma
Maria Bellucci doc. St. Fil. Prato
Claudia Binelli doc. Sc. Nat. Torino
Marcello Buiatti doc.Genetica Università di Firenze
Luciana Bussotti doc. Sc. Nat. Livorno
Stefania Consigliere dip. Antropologia Università di Genova
Luciano Cozzi doc. Sc. Nat. Milano
Tomaso Di Fraia dip. Archeologia Università di Pisa
Elio Fabri doc. Astronomia Università di Pisa
Tiziano Gorini doc. Lettere Livorno
Alessandra Magistrelli doc. Sc. Nat. Roma
Piegiacomo Pagano ENEA Bologna
Marco Piccolino doc. Fisiologia e Storia della Scienza Università di Ferrara
Giorgio Porrotto cultore di politica scolastica Roma
Laura Sbrana doc. Lettere Pisa
Marco Tongiorgi doc. Stratigrafia Università di Pisa
Maria Turchetto Dipartimento Filosofia e Beni culturali Università *Ca' Foscari* di Venezia

Indice

1. Percezione e risposta delle piante agli stimoli dell'ambiente nel quale vivono
(parte prima)

11. Percezione e risposta delle piante agli stimoli dell'ambientenel quale vivono
(parte seconda)

15. La pianta: i movimenti tropici e la gravità
(parte terza)

23. Le piante rampicanti e il loro movimento
(parte quarta)

29. Neurobiologia vegetale: fantascienza?
(parte quinta)

In copertina
Gimko biloba

Gazebo

L'organismo vegetale: come imparare a conoscerlo *facendolo a pezzi* (prima parte)

Fabrizia Gianni

Introduzione

Lo studio dei caratteri esteriori delle piante corre il rischio di essere messo in secondo piano da quello della loro struttura interna. Lo studente, di fronte alla stupefacente varietà di forme vegetali non sa da che parte cominciare né cosa fare per ricavarne delle informazioni (da Willis 1897).

Prendo come spunto questa riflessione per introdurre una serie di articoli nei quali propongo un personale percorso didattico finalizzato alla conoscenza dell'organismo vegetale.

Da anni insegno in una scuola secondaria superiore e, con profondo rammarico, posso affermare che la parte del programma di scienze più trascurata, a tutti livelli scolastici, è quella che riguarda la conoscenza del mondo vegetale.

Il perché si verifichi questo non rientra nelle finalità di quanto tratto, anche se confesso che sia un argomento a cui sono molto sensibile.

Riporto di seguito alcuni dei metodi *canonici* usati per presentare la pianta.

Un approccio, a livello di scuola primaria, ma non solo, si basa sulla morfologia della foglia e del fiore, a patto che quest'ultimo rientri nel *modello tipo* ovvero deve essere vistosamente colorato, profumato e formato da tutte le parti fiorali (vedi calice, corolla, parte maschile e parte femminile).

In altri casi il mondo vegetale si insegna incominciando con le osservazioni inerenti la germinazione dei semi posti vicino al calorifero protetti nella soffice bambagia inumidita. Il perché un seme possa produrre una pianta viene spiegato in modo poco approfondito e ricorrendo, a volte, a spiegazioni di tipo *metafisico* inserendo il fenomeno in *una* delle *meraviglie del creato*.

Nella scuola superiore non si studia la morfologia della pianta, la sistematica vegetale risulta poco gradita, ne consegue una presentazione del mondo vegetale focalizzata sulla fisiologia vegetale. Queste preconoscenze sono finalizzate allo studio dell'organulo cellulare vegetale per antonomasia: il cloroplasto, nel quale si svolge il *miracolo* (tale rimane nella sostanza se non si arriva a uno studio biochimico del processo) della fotosintesi, indispensabile *punto di inizio della Vita sulla Terra.*

I risultati purtroppo, salvo alcune lodevoli eccezioni, sono poco confortanti e, senza nulla togliere alla validità dei metodi che ho più sopra accennato, riporto una sequenza didattica da me elaborata e modificata nel corso degli anni, che ha portato dei riscontri insperati nei miei studenti. Mi auguro che quanto scriverò conduca ad un confronto di idee con i colleghi che lo riterranno opportuno dato che una conoscenza approfondita e consapevole del regno vegetale è una posta in gioco molto importante.

Il fine che mi pongo attraverso l'insegnamento dell'organismo vegetale è quello di indicare quali siano le competenze necessarie per una lettura del paesaggio, competenze che permettono così di rilevare le continue dinamiche e le profonde diversità che caratterizzano gli ambienti che ci circondano.

Parole semplici per introdurre un organismo complesso

Ormai risale a quasi trenta anni fa (1978) una piccola pubblicazione, scritta dal grande architetto Bruno Munari, intitolata *Disegnare un albero* (1).

La pubblicazione fa parte della collana *disegnare colorare costruire* diretta dallo stesso Bruno Munari e progettata con il fine di aiutare gli insegnanti delle scuole elementari (così almeno si definivano prima della riforma Moratti) nel loro lavoro di informazione degli elementi del linguaggio visivo. *Questi libretti hanno anche lo scopo di evitare gli stereotipi che si trovano nei disegni infantili e (…..) possono anche servire a chi si accinge per la prima volta a disegnare o a dipingere.*

Prendendo così in prestito le parole di un *non addetto ai lavori* desidero mettere in evidenza i concetti di natura scientifica che ritrovo nelle espressioni, anche poetiche, che egli usa per spiegare ai bambini l'albero.

Finalmente l'inverno è finito (ambiente e ritmi stagionali) *e dalla terra, dove era caduto un seme, sbuca un filo verticale verde. Il sole comincia a farsi sentire e il segno verde cresce* (organismo autotrofo, fotosintesi). *E' un albero, ma nessuno lo riconosce adesso, così piccolo. Man mano che cresce però si ramifica* (organismo ramificato), *ogni anno spunteranno le gemme sui rami* (crescita indefinita), *dalle gemme sbucheranno altri rami, quel filo verde di prima è diventato un bel tronco pieno di rami. Più avanti ancora avrà costruito una grande ramificazione sulla quale farà sbucare foglie, fiori e frutti* (gli organi dell'albero); *d'autunno spargerà attorno a sé i suoi semi* (il futuro individuo pronto per lo sviluppo, ma quiescente), *alcuni cadranno sotto di lui, altri saranno portati lontano dal*

vento. In quasi ogni posto dove sarà caduto un seme, nascerà un albero simile a lui (categoria sistematica, la specie).
Dalla descrizione più sopra ricalco i punti importanti da fissare: l'albero è un organismo a crescita continua, in stretta relazione con l'ambiente nel quale vive e con una forma strana, complessa, è un *organismo ramificato*.
Mi soffermo sulla forma dell'albero: l'impatto visivo che si ricava ad una veloce osservazione è quasi sempre di tipo volumetrico, un volume non definito che ostruisce la vista o fa da sfondo. Perché non avvicinarci con carta e matita e provare a disegnarlo?

Iniziamo col disegnare un albero
Mi affido anche in questo caso alle parole e ai consigli di Bruno Munari.
(…) A questo punto qualcuno dice: io non so disegnare, io sono la negazione del disegno. Assolutamente non sono capace di disegnare, non so disegnare nessuna cosa, niente di niente (…). A queste persone si può fare questo discorso: sapete fare questi disegni?
E si disegna sulla lavagna o su di un foglio, una A, una B, una C maiuscole in stampatello.
Ma queste sono le prime tre lettere dell'alfabeto: una lettera è fatta solo con linee rette, una con rette e curve e una solo di curve. Ma quelle le so fare diranno.
Bene, e allora lo sapete fare non solo con la penna, ma anche con la matita, anche col pennarello, anche col pastello…..saprete farle anche strette o larghe, alte o basse, con linee dritte o con linee tremolanti ….
Certamente queste le sappiamo fare.
E sapete disegnare anche la lettera i greco: y? (Fig. 1)

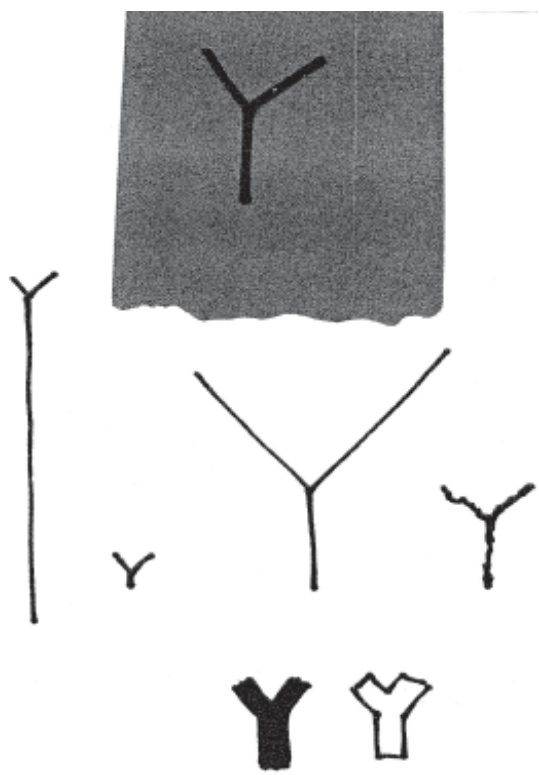


fig. 1 *E sapete disegnare anche la lettera i greco: y?* Bruno Munari *disegnare un albero* Zanichelli

Certamente.
E sapete disegnarla alta o bassa o stretta o larga o tremolata o sottile o grossa? Certamente.
Bene, allora disegnate una i greco molto grossa e poi sulle due braccia alzate continuate il disegno con altre due i greco più piccole e via di seguito…(Fig. 2).

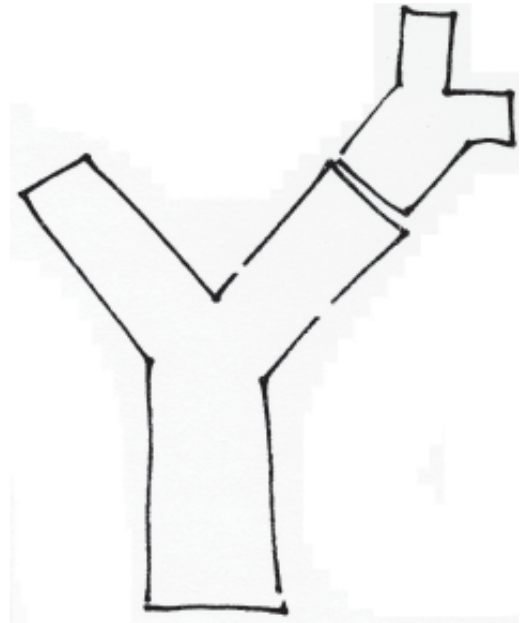


fig. 2 …. *allora disegnate una i greco molto grossa e poi sulle due braccia alzate* … Bruno Munari *disegnare un albero* Zanichelli

Avrete disegnato un albero.
In realtà il disporre in ordine gerarchico tante i greco non basta, ci vuole un'attenta osservazione per comprendere come queste i greco si dispongono nello spazio.
L'albero ramifica, man mano che passano gli anni il suo tronco diventa sempre più grosso, i rami sempre più numerosi. Ogni foglia in cima ai rami, ha un tubetto che passa dentro il tronco e la tiene in contatto con la terra: con questo tubetto succhia il suo nutrimento. Il tronco è l'insieme di tutti questi tubetti, per questo è più grosso degli altri rami, man mano che i rami vanno in alto diventano sempre più sottili. L'ultimo è sottilissimo porta solo poche foglie. Possiamo stabilire una regola di crescita: il ramo che segue è sempre più sottile del ramo che lo precede (Fig. 3).

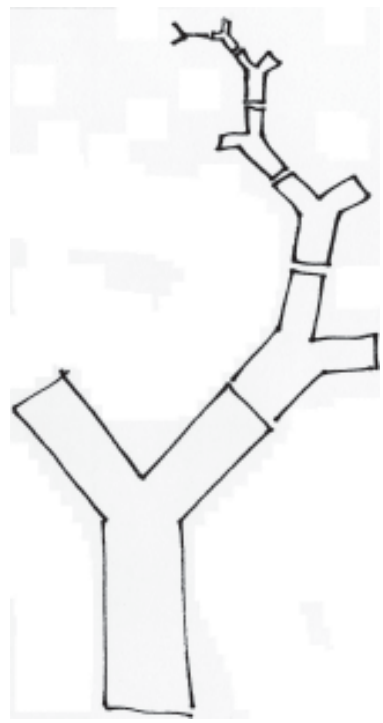


fig. 3….*il ramo che segue è sempre più sottile del ramo che lo precede* Bruno Munari *disegnare un albero* Zanichelli

L'albero può ramificare in vari modi, dividendosi in due, in tre, in più rami. Vediamo se si può fare uno schema di crescita di un albero a due rami. Una crescita sempre a due: il tronco si divide in due rami, ogni ramo continua a dividersi in due rami sempre meno grossi. Questo schema di crescita è così facile che tutti lo possono disegnare (Fig. 4).

fig. 4 *Vediamo se si può fare uno schema di crescita di un albero a due rami.* Bruno Munari *disegnare un albero* Zanichelli

Disegniamolo dunque pur sapendo che è uno schema e che sarà difficile riscontrare in natura un albero disegnato così perfetto. Per crescere in modo così preciso, un albero dovrebbe crescere in un posto senza vento, con il sole fisso in alto, con le piogge sempre uguali, con il nutrimento che viene dalla terra sempre costante. In quel posto non ci dovrebbero essere fulmini e nemmeno sbalzi di temperatura, niente neve e gelo, mai troppo caldo e secco….
Ma in realtà sappiamo che tutte queste condizioni ambientali non esistono e quindi il nostro schema si trasforma, si adatta e sembra un altro. Ma se guardate bene potete ritrovarlo ancora (...) (Fig. 5).

fig. 5 *Se c'è sempre tanto vento come in riva al mare, l'albero si trasforma così, ma è sempre la stessa struttura* Bruno Munari *disegnare un albero* Zanichelli

Ma c'è un altro fatto da considerare quando si disegna un albero. Il fatto è che ci sono anche i rami matti, come in quasi tutte le famiglie. Ecco allora che un rametto sottile sbuca dal tronco, come uno scherzo d'aprile. Rametti possono sbucare da tutte le parti e riempire l'albero. Ma a guardar bene, si può ancora vedere lo schema della ramificazione primaria (Fig. 6).
Ecco che, a questo punto, il cielo diventa buio, viene un temporale con i fiocchi, l'albero si agita al vento, disordinato come se avesse paura. Un fulmine dal cielo quasi nero si precipita sull'albero e

fig. 6 *Ecco allora che un rametto sottile sbuca dal tronco, come uno scherzo d'aprile.* Bruno Munari *disegnare un albero* Zanichelli

in un bagliore accecante sparisce. Sotto una fitta pioggia si può vedere un pezzo dell'albero a terra, un grosso ramo con i suoi rametti. Si sente solo il rumore della pioggia fitta sulle foglie. L'anno dopo l'albero è diventato mutilato. Però continua a buttare i suoi rami come niente fosse. E' così che gli alberi cambiano forma: un fulmine, la neve col suo peso sui rami, insetti roditori che mangiano il legno…e l'albero cambia forma (Fig. 7).

fig. 7 *L'anno dopo l'albero è diverso, mutilato…*

Altri ramificano con un numero diverso di rami. L'oleandro ramifica a tre, l'aucuba a quattro… Scopriteli voi stessi osservando gli alberi che incontrate. Ricordate che la ramificazione non è mai perfetta, che cambiano le distanze e i tempi: crescita a 4, a 5, a 6 rami.
Osservando una foglia di quercia possiamo notare che, al suo interno, ci sono nervature ramificate che ricordano le stesse ramificazioni dell'albero. Proviamo a togliere il contorno della foglia e a considerare solamente questa ramificazione, come se fosse un albero. Basta mettere le foglie al termine delle ramificazioni ed ecco che la nervatura della foglia sembra un albero (Fig. 8).
Questo infatti è un altro modello di crescita delle piante: un tronco centrale va su diritto verso il cielo e tanti rami, un poco più grossi verso il basso, un poco più sottili quelli in alto, nascono tutti intorno al tronco. Anche il tronco comincia grosso in basso e diventa sempre più sottile andando in alto, tanto che quando è in cima si confonde con i rami (...). Qualche volta anche il tronco di questi alberi, che di solito è unico, si può trovare diviso in due

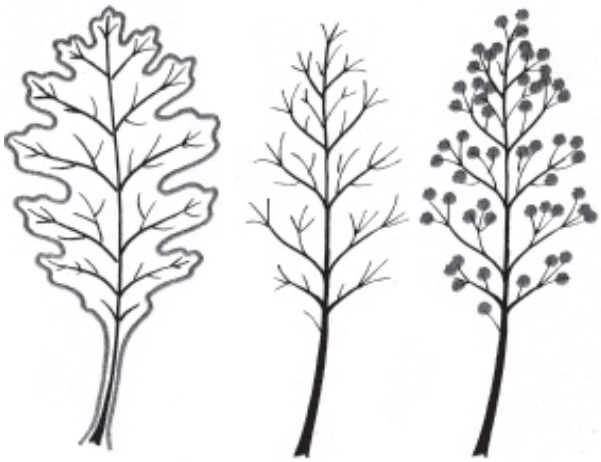


fig. 8 *Osservando una foglia di quercia possiamo notare che, al suo interno, ci sono nervature ramificate che ricordano le stesse ramificazioni dell'albero* Bruno Munari *disegnare un albero* Zanichelli

tronchi, ma la ramificazione è come se fosse su un solo tronco. Ogni albero ha la sua corteccia. Alcuni alberi hanno il tronco liscio che sembra ghisa, altri hanno una pelle che si sfoglia, come se fosse fasciato. Alcuni tronchi sono lucidi e altri opachi. Alcuni hanno cortecce molto sporgenti, altri hanno solo dei puntini sparsi…(Fig. 9).

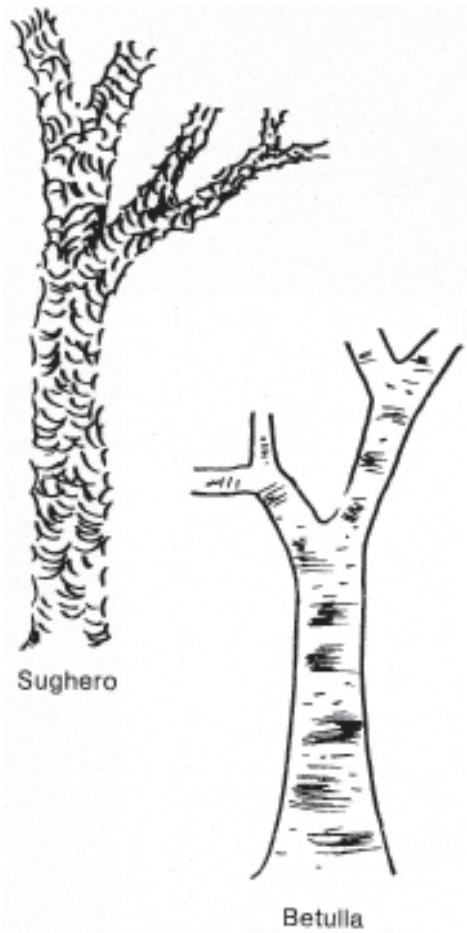


fig. 9 *Ogni albero ha la sua corteccia* Bruno Munari *disegnare un albero* Zanichelli

Dal brano sopra trascritto è possibile trarre una serie di regole che**,** se pure da una parte finalizzate al disegno dell'albero più corrispondente alla realtà, dall'altra non possono non spingere a chiedersi quali siano le cause di queste regole:

· *il ramo che segue è sempre più sottile di quello che lo precede*

Nella pianta il collegamento nutrizionale tra i suoi organi è svolto dai tessuti conduttori. Ogni foglia possiede i suoi tessuti conduttori che la tengono strettamente collegata con il suolo e che si distribuiscono nella lamina fogliare determinando una fitta rete di nervature. Cade la foglia, i tessuti conduttori perdono la loro funzionalità, ma si accumulano permettendo l'ingrossamento del tronco e aumentando la stabilità della pianta.

· *l'albero può ramificare in vari modi, dividendosi in due, in tre, in più rami.*

Ogni pianta ha la sua ramificazione caratteristica che le deriva dalla sua informazione genetica**:** per es**.** l'oleandro ramifica a tre, l'aucuba a quattro ecc.

· *...Questo schema di crescita è così facile che tutti lo possono disegnare. Disegniamolo dunque pur sapendo che è uno schema e che sarà difficile riscontrare in natura un albero disegnato così perfetto…*

Non esistono alberi perfetti perché cambiano le condizioni ambientali e l'albero passivamente si adatta subendo le ingiurie di un fulmine, adattando la sua chioma al vento che soffia con violenza nella stessa direzione ecc.

· *Il fatto è che ci sono anche i rami matti…Ecco allora che un rametto sottile sbuca dal tronco, come uno scherzo d'aprile.*

La pianta conserva gruppetti di cellule embrionali per tutta la sua vita. Queste riprendono a funzionare in momenti di particolare stress. La loro localizzazione non è quella canonica e compaiono foglie, fiori, rami del tutto a caso.

· *…questo infatti è un altro modello di crescita delle piante: un tronco centrale va su diritto verso il cielo e tanti rami, un poco più grossi verso il basso, un poco più sottili quelli in alto, nascono tutti intorno al tronco***.**

Esistono vari modelli architettonici di crescita. Il loro studio costituisce un buon punto di partenza per l'interpretazione della forma delle piante.

· *Ogni albero ha la sua corteccia***.**

La corteccia può risultare di grande aiuto per identificare e memorizzare le piante.

Ogni consiglio di Bruno Munari rimanda così a delle precise conoscenze di morfologia vegetale utili per la trattazione della pianta dal punto di vista macroscopico.

Devo aprire una breve parentesi. Il libro *Disegnare un albero* l'ho acquistato quando i miei figli frequentavano l'asilo, speravo così di abituarli ad una diversa osservazione della pianta. Mentre lavoravo con loro a questo nuovo gioco sono stata costretta a cambiare le mie idee in proposito. Ho dovuto mettere momentaneamente da parte le erudite conoscenze universitarie di sistematica vegetale e, molto più semplicemente, ho imparato ad osservare in modo diverso tutto ciò che mi circonda.

A me risultava del tutto nuova l'idea di disegnare una pianta per conoscerla e non mi ero mai cimentata in questo genere di prova. Nel senso comune il disegno si considera una forma di linguaggio infantile da abbandonare in età adulta quando si passa alla concettualizzazione e alla modellizzazione del sapere.
Ma la pianta possiede una struttura complessa che viene mascherata dalle foglie. Con gradualità, non è intuitivo questo approccio, è necessario ridurla ad un accumulo di *unità strutturali* numerabili e di cui si possa definire il bilancio di formazione e distruzione.
La scomposizione *simbolica* in unità strutturali è più semplice durante l'inverno (parlo di piante ai nostri climi, quindi sottoposte ai ritmi stagionali) quando non ci sono le foglie. Oggi il mio interesse è attratto maggiormente dalle piante in abito invernale: se ne individua più facilmente la forma e si scopre la bellezza delle gemme già preparate per il risveglio primaverile. Tra l'altro, data la loro diversità da specie a specie, portano ad una sicura e immediata identificazione della pianta considerata. Da ultimo mi sento di aggiungere che personalmente trovo entusiasmante scoprire quali stratagemmi sono stati adottati dalle gemme per poter sopravvivere ai rigori invernali!

Morfologia statica e morfologia dinamica delle piante a fiori

Un'analisi della forma delle piante affrontata in modo più rigoroso conduce a occuparsi dell'affascinante mondo della morfologia vegetale.
La morfologia vegetale si occupa dello studio delle caratteristiche esterne delle piante, letteralmente si occupa della *forma delle piante.*
L'interesse nei confronti della morfologia vegetale ha una storia lunga. Probabilmente i primi studiosi che si appassionano a questo argomento sono i filosofi greci, in particolare ricordo Teofrasto (371-287 a.C.). Secondo il suo punto di vista, da un confronto tra animali e piante, risulta che gli animali hanno una forma che *presuppone un centro, un cuore, un'anima* mentre le piante possiedono una forma apparentemente priva di organizzazione che muta di continuo e non conferisce loro *quiddità, essenza.*
Col tempo la morfologia vegetale diviene una scienza, il suo ruolo guadagna in importanza tanto che rappresenta, ancora oggi, il primo gradino di ogni studio di carattere tassonomico.
Accenno brevemente alle tappe che hanno consentito questa trasformazione.
La morfologia vegetale inizia con un ruolo limitato alla descrizione degli organi della pianta, passa poi alla individuazione dei caratteri macroscopici che permettano la classificazione delle specie vegetali, di seguito si occupa della sequenza degli eventi che caratterizzano lo sviluppo di un organo al fine di individuare gli organi omologhi e gli organi analoghi, conoscenze queste ultime utili per gli studi filogenetici.
L'analisi delle caratteristiche esterne di una pianta porta ad occuparsi della sua struttura interna, ne consegue che la morfologia si lega strettamente con l'anatomia. Da ultimo, dopo avere descritto a livello macroscopico e a livello microscopico per es. una gemma, un cirro, un cladodio, si occupa delle funzioni che svolgono questi organi.
Devo, a questo punto indicare gli argomenti di cui mi occuperò, con una premessa di metodo: la pianta a fiori è un *organismo dinamico* che cresce costantemente, un suo studio fatto in modo non continuato nel tempo è un approccio riduttivo che non permette di conoscere la peculiare essenza di tale organismo.
La morfologia descrittiva della foglia, della radice, del fusto, del fiore, della *plantula* rientrano negli argomenti della *morfologia statica* della pianta e per ciò stesso li metto momentaneamente da parte, mentre volgo il mio interesse verso la *morfologia dinamica* che si occupa di descrivere e spiegare le tracce degli eventi della crescita, passati e presenti, nelle piante.
Durante la crescita che porta all'aumento di complessità della forma di una pianta è possibile tenere sotto controllo diversi parametri di riferimento come l'incremento del peso o del numero di foglie, ma è lo studio dell'attività della gemma che permette di andare molto più a fondo nella comprensione della *morfologia dello sviluppo* di una pianta. Le gemme (apro una breve parentesi per precisare che il termine gemma implica in sé una fase di dormienza che non ha sempre luogo, da qui l'uso del termine *meristemi apicali* che preferiscono i morfologi, per mio conto continuo ad usare il termine gemma) originano le nuove componenti strutturali che entrano nello schema costruttivo della pianta, ne consegue che conoscere la loro posizione e sapere che cosa possono produrre durante la crescita aiuta a comprendere la *struttura della ramificazione.*
Le progressive sequenze di ramificazione sono sotto controllo interno e riflettono la forma propria di ogni specie, ma risultano, entro certi limiti, flessibili in risposta alle fluttuazioni dei fattori ambientali.
Tutti gli alberi di una data specie appaiano simili in quanto sono tutti conformi ad un certo insieme di *regole* di ramificazione, ma ogni individuo possiede un assortimento di rami unico, che riflette la sua collocazione ambientale e la sua storia.
Al fine di riconoscere e descrivere la sequenza di ramificazione di una pianta è utile identificare *le unità di ramificazione* o *unità strutturali* che la compongono, solo così risultano più evidenti le modalità con cui queste vengono aggiunte alla struttura o perdute da essa durante il suo sviluppo.
Fino a questo momento ho presentato l'albero come un organismo a crescita continua, un organismo rami-

ficato, un organismo complesso scomponibile in subunità simili, ma bisogna chiarire il fatto se la pianta è da considerarsi un singolo individuo o più individui.

Organismi unitari e organismi modulari

Il termine generico di organismo non tiene conto delle diversità che esistono tra i vari organismi. In modo semplicistico vengono tutti appiattiti ad un modello - tipo.

Questa approssimazione, che può essere accettabile per alcune generalizzazioni di tipo qualitativo, come per esempio quali organismi vivono in quell'ambiente e quali relazioni instaurano con esso, non è più sufficiente nel caso si voglia conoscere quanti sono attraverso un calcolo numerico.

Quasi tutte le specie attraversano un certo numero di stadi nel loro ciclo biologico. Gli insetti subiscono la metamorfosi da uovo a larva ad adulto e alcuni hanno uno stadio di pupa, le piante passano da seme a *plantula* ad adulto fotosintetizzante.

In questi casi è probabile che i differenti stadi siano influenzati da differenti fattori e abbiano differenti tassi di immigrazione, di mortalità e di riproduzione.

In secondo luogo, anche entro uno stesso stadio gli individui possono differire qualitativamente come per ad es. per le dimensioni.

Ma l'area più importante in cui questa concezione semplicistica cessa di essere valida è il caso in cui ci troviamo di fronte ad organismi modulari anziché unitari.

In passato sono state fatte molto generalizzazioni ecologiche ed evolutive, come se l'animale unitario come l'uomo e la zanzara, tipizzassero il mondo vivente.

Tali generalizzazioni sono molto lontano dalla realtà: gli organismi modulari come le alghe marine, i coralli, gli alberi forestali e le graminacee dominano parti estese degli ambienti terrestri e acquatici.

ORGANISMI UNITARI

La forma degli organismi unitari come l'uomo è altamente determinata e prevedibile.

L'inizio di una vita comincia quando uno spermatozoo feconda un uovo e si forma uno zigote che si annida nella parete dell'utero. Da questo momento cominciano i complessi processi dello sviluppo embrionale e, nel giro di sei settimane, nel feto si possono riconoscere il naso, gli occhi e le orecchie e gli arti provvisti di dita. Se non accadono incidenti questa forma verrà conservata fino alla morte. Il feto continua ad accrescersi fino alla nascita, poi il bambino si accresce fino al diciottesimo anno di età e le uniche variazioni di forma sono quelle associate alla maturità sessuale. La fase riproduttiva dura circa trenta anni nelle femmine, più a lungo nei maschi, ad essa segue la senescenza.

La morte può intervenire in qualsiasi momento della vita, ma per gli individui che sopravvivono la forma e le successioni delle fasi sono del tutto prevedibili.

ORGANISMI MODULARI

La forma degli organismi modulari non è determinata e il loro programma di sviluppo è altamente imprevedibile.

Negli organismi modulari lo zigote si sviluppa a formare un'unità strutturale -un modulo- che poi produce altri moduli come il primo. Il prodotto è quasi sempre ramificato e, ad eccezione della fase giovanile, immobile.

La maggior parte delle piante è modulare, esistono però molti importanti gruppi di animali modulari (circa 19 *phyla* comprendenti spugne, idroidi, coralli, briozoi e ascidie coloniali e molti protisti e funghi modulari.

Nella pianta superiore il modulo fondamentale di costruzione sopra il terreno è la foglia, con la sua gemma ascellare e l'associato internodo del fusto (Fig. 10).

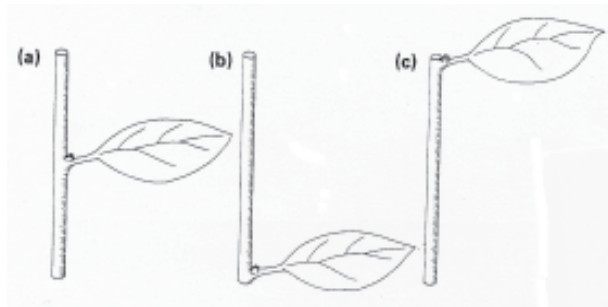


fig. 10 Metamero detto anche fitomero: unità strutturale ripetitiva composta di un nodo, della foglia in esso inserita, della gemma sottesa da quast'ultima e da una porzione di internodo. Adriano Bell *La forma delle piante* Zanichelli 1998

La gemma si sviluppa e produce a sua volta foglie, ciascuna delle quali porta la sua gemma ascellare.

La pianta aumenta le sue dimensioni accumulando questi moduli fino a quando, in un determinato periodo del suo sviluppo, variabile da specie a specie, produce un nuovo tipo di modulo associato alla riproduzione costituito dai fiori.

I moduli che sono specializzati per la riproduzione cessano di solito di dare origine a nuovi moduli, al contrario originano nuovi zigoti che si sviluppano fino ad uno stadio embrionale.

Negli organismi modulari il programma di sviluppo è determinato dalla percentuale di moduli che sono destinati ai differenti ruoli, per es. alla riproduzione o alla prosecuzione dell'accrescimento.

Quando un organismo si può considerare *un solo individuo*?

Ritornando alla questione di che cosa sia un individuo desidero riportare un esempio. Se si osserva un allevamento di conigli sparsi in un prato, è possibile determi-

nare quanti sono contando le loro orecchie e dividendo il risultato per due, oppure contando le zampe e dividendo per quattro: il risultato finale è il numero degli zigoti che sono sopravvissuti.

Se voglio fare la stessa operazione con gli organismi vegetali non esiste alcun divisore che permetta questo calcolo in base al numero di foglie di una pianta superiore, o al numero di fronde di una felce.

In altre parole il numero di individui presente può rappresentare il numero attuale di zigoti sopravvissuti, ma questo numero dà soltanto un'idea parziale e fuorviante dell'ammontare della popolazione se l'organismo è modulare.

A questo punto è necessario introdurre due termini che possono chiarire il problema sulla unicità di un organismo: *ramet* e *genet* (2).

Ramet (dal latino *ramus* e *-et* suffisso diminutivo) indica i moduli che possono condurre una esistenza separata come le piante clonali, il termine *genet* indica l'individuo prodotto dallo zigote dal quale si sviluppa un modulo sia questo un *ramet*, sia un germoglio ecc

Il concetto che sottende il sostantivo *ramet* vuole chiarire che possono esistere moduli fisiologicamente distinti. Prendo come esempio la fragola. La pianta di fragola rientra in quel gruppo di organismi vegetali che concentrano il loro accrescimento estendendosi lateralmente ed espandendo i loro moduli sulla superficie del terreno. In questo caso nuovi apparati radicali sono associati al fusto che si espande in superficie, si tratta delle piante rizomatose e di quelle stolonifere. Le connessioni tra le parti di tali piante possono morire e decomporsi cosicché il prodotto dello zigote iniziale è rappresentato da parti, moduli, separate e autonome chiamate *ramet*.

Negli organismi modulari, la distribuzione e l'abbondanza dei *genet* (individui) è importante, ma è spesso utile e necessario studiare la distribuzione e l'abbondanza dei moduli. Per es. la quantità di una graminacea disponibile in un campo per una mandria di bovini non è determinata dal numero di *genet* della graminacea, ma dal numero di foglie, dal numero di moduli; se si deve misurare la quantità del cibo a disposizione, interessa conoscere le nascite e le morti dei moduli, non le nascite e le morti dei *genet*.

Ne deriva che quando si calcola il numero di individui di un particolare organismo che occupa un certo ambiente ($N_{presente}$) si procede considerando il numero degli stessi individui presenti precedentemente, più il numero degli individui nati (B, *birth*) nel periodo compreso tra il passato e il presente meno il numero dei morti (D, *death*), più il numero degli immigranti (I) meno il numero degli emigranti (E)

$N_{presente} = N_{passato} + B - D + I - E$

Nel caso degli organismi modulari bisognerebbe fare anche questo secondo calcolo:

moduli $_{presente}$ = moduli $_{passato}$ + natalità dei moduli – mortalità dei moduli

Concludo questa prima parte con una osservazione: i processi vitali della nascita e della morte degli organismi modulari si svolgono non soltanto a livello dell'intero organismo, ma anche a livello di modulo; ne consegue che il più spettacolare esempio di senescenza modulare è la morte annuale delle foglie di un albero caducifoglio.

Fabrizia Gianni

Note

(1) Bruno Munari D*isegnare un albero*, *disegnare colorare costruire* prima edizione giugno1978, ristampa nel 2001, Zanichelli

(2) Kays e Harper, 1974

Riferimenti Bibliografici

Adriano Bell *La forma delle piante. Guida illustrata alla morfologia delle Angiosperme* Zanichelli, 1998

Michael Begon, John L. Harper, Colin R. Townsend *Ecologia. Individui, Popolazioni, Comunità* Zanichelli, 2000

Bruno Munari *Disegnare un albero,* Zanichelli *disegnare colorare costruire 1*, prima edizione giugno1978, ristampa 2001

Francesca Venturelli, Laura Virli *Invito alla Botanica con esercitazioni di laboratorio* Zanichelli, 1999

Gazebo

La pianta: riproduzione e morte degli organismi modulari (seconda parte)

Fabrizia Gianni

Introduzione

Nel precedente articolo lo studio della forma della pianta ha evidenziato che si tratta di un *organismo modulare ramificato*. Un organismo a struttura modulare è costituito da *moduli*, unità simili ripetute, che possono essere contate e di cui è possibile definire il bilancio di formazione e distruzione in termini numerici.

L'aggettivo *ramificato* fa riferimento al sostantivo *ramo*. Questo termine è impreciso dal punto di vista botanico, ma, in genere, indica un asse di dimensioni minori rispetto al tronco sul quale è collocato e può comprendere tutti i rami e i ramoscelli minori da questo portati.

La pianta cresce per l'accumulo progressivo di unità simili, siano queste rami, fiori, foglie. Questi moduli che, in alcuni casi, possono essere fisiologicamente distinti dall'organismo che li ha formati (il *genet*), sono chiamati *ramet*, e conducono vita autonoma, vedi piante stolonifere come la fragola.

Forma di una pianta arborea

Gli stupendi colori autunnali presentati dal *modulo-foglia* ci rivelano che la pianta caduca sta entrando in una fase di quiescenza e si prepara ad eliminare, in modo plateale, tutti i suoi moduli-foglia che hanno concluso il ciclo vitale. Contemporaneamente prepara nuovi moduli: le gemme per la stagione vegetativa che verrà. Ne deriva che sulla pianta convivono unità che hanno diversa età come giovinezza, maturità, senescenza, morte e che ogni stadio temporale di crescita presenta una sua peculiare struttura morfologica.

Nelle piante è possibile individuare due modalità di crescita: un accrescimento che si sviluppa verticalmente e uno lateralmente.

Gli alberi, per eccellenza, sono il risultato di una crescita concentrata in altezza dove il sistema di connessione tra i vari moduli e tra questi e l'apparato radicale non si decompone bensì si ispessisce con i tessuti di sostegno e quelli di conduzione e rende *perenne* la pianta arborea.

Altri esemplari vegetali, come le piante stolonifere e quelle rizomatose, estendono lateralmente i loro moduli su o in un substrato.

Date queste premesse, può risultare più semplice la lettura della forma di una pianta arborea: essa risulta come un insieme di parti, caratterizzate da differenti tassi di natalità e mortalità, che si distribuiscono nello spazio rispettando definiti angoli di inserzione sul fusto. Il fusto, che presenta lunghezza variabile, svolge funzione di collegamento tra le parti.

La forma caratteristica di alberi come il cipresso, l'abete, la quercia è conseguenza del modo in cui si collegano tra loro i moduli. Esistono comunque varie forme di accrescimento e architetture prodotte dall'accrescimento modulare (Fig. 1).

Nell'organismo modulare i processi vitali della nascita, della senescenza e della morte si svolgono sia a livello dell'intero organismo sia a livello della singola parte, non si può quindi parlare di senescenza programmata dell'intero organismo e spesso la morte di questo è provocata dalle eccessive dimensioni che raggiunge in seguito all'accumulo dei tessuti morti o per il subentrare di una malattia.

Il modulo-fiore

Il botanico svedese Linneo (1707-1778) ha, tra gli altri meriti, quello di avere chiarito la sessualità delle piante basando la classificazione degli organismi vegetali sul numero delle parti sessuate. Riporto di seguito una divertente pagina tratta dal libro di Anthony Huxley che illustra *vita, amori e morte dei nostri vicini vegetali.*

Le vedute di Linneo in materia di sesso erano razionali e positivamente moderne.

Per spiegare le sue classi vegetali descrisse le Monandre con il paragone di un marito per un matrimonio *e le Diandre con* due mariti nello stesso matrimonio *e infine la categoria delle piante Poliandre con un esempio per cui vi sono venti o più maschi nello stesso letto con la femmina. A volte l'assunto gli scappava di mano, di modo che riuscì a fare chiamare una classe vegetale -Syngenesia polygamia necessaria- letteralmente* maschi confederati con necessità di poligamia *come nel caso del crisantemo con stili fecondi e flosculi a disco fertili. Nel caso in esame Linneo descrisse la situazione esponendola come una circostanza in cui i letti dei coniugi sposati occupano il disco e quelli delle concubine la circonferenza: le femmine sposate sono sterili e le concubine sono feconde.*

Il rilievo dato agli organi sessuali dei fiori urtò molti suoi contemporanei. Il reverendo Samuel Goodenough, in seguito vescovo di Carlisle, scriveva in una lettera: E' assolutamente superfluo dirvi che nulla potrebbe uguagliare la mentalità pruriginosa di Linneo *e Goethe si preoccupava dell'imbarazzo che i testi di botanica avrebbero potuto procurare a caste scolaresche giovanili. Linneo certamente rivelò al mondo che le*

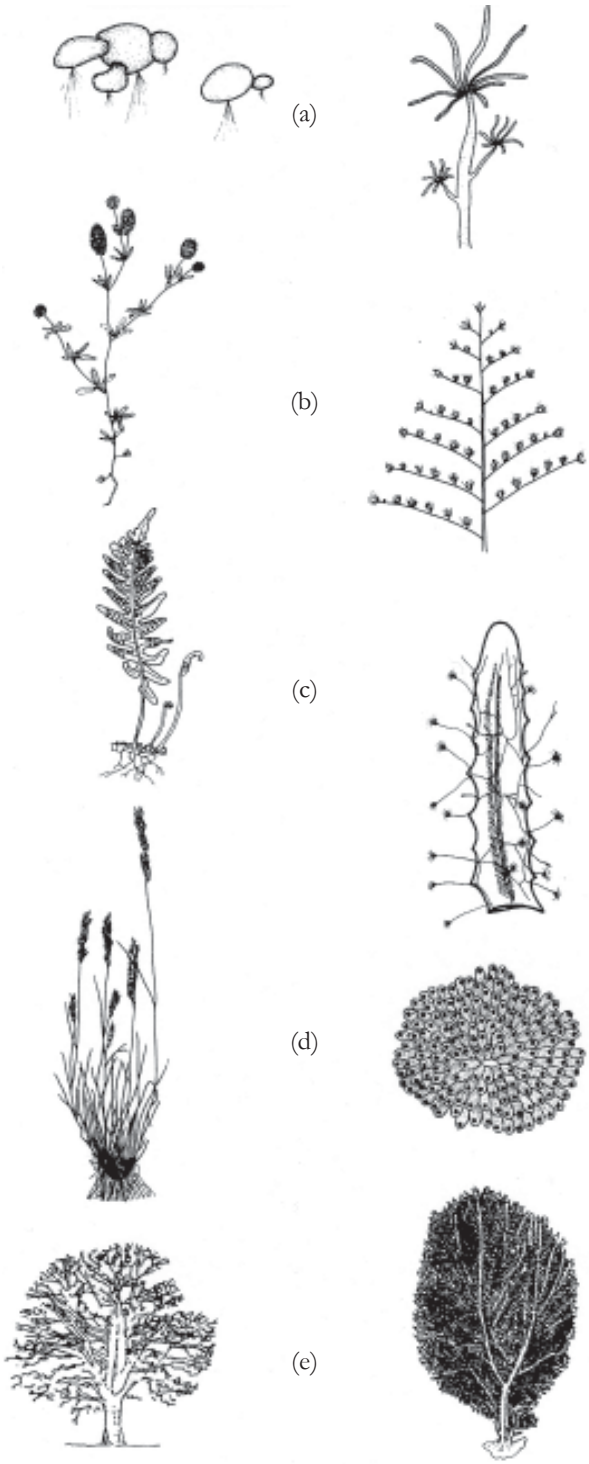


fig.1 Una gamma di organismi modulari: piante a sinistra e animali a destra. (a) Organismi modulari che si frammentano via via che si accrescono: lenticchie d'acqua (*Lemna* sp) e *Hydra* sp (un cnidario non coloniale). (b) Organismi ramificati liberamente che hanno una vita relativamente breve: il trifoglio sottile (*Trifolium arvense*), una pianta annua e *Pennaria* sp. (Cnidaria: Hydrozoa). (c) Organismi rizomatosi e stoloniferi: il polipodio (*Polypodium vulgare*) e *Campannularia* sp. (Cnidaria: Hydrozoa). (d) Organismi formanti cespugli, comprendenti moduli strettamente impacchettati: festuca, *Festuca octoflora*, e *Cryptosula* sp.(un briozoo infestante). (e) Organismi persistenti, pluriramificati: una quercia (*Quercus* sp.) e *Gorgonia* sp., il ventaglio di mare (un corallo; Cnidaria: Hydrozoa) M. Begon, J. L. Harper, C. R. Townsend *Ecologia - Individui, Popolazioni, Comunità* Zanichelli, 2000.

piante avevano una loro vita sessuale che, con pochissima immaginazione, si poteva trasferire al mondo animale con tutte le relative conseguenze di poligamia, poliandria ed incesto come dice Wilfrid Blunt.

Erasmo Darwin, il nonno di Carlo, riportò l'argomento a livello più castigato, ma altrettanto esplicito nel suo poema epico Gli amori delle piante *in cui tradusse in versi il sistema di Linneo. Ecco la trasformazione dei tre stimmi e dei sei stami del leggiadro colchico:*

Tre vereconde donzelle servono l'intrepida ninfa
e la scortano sei gai giovani, corteggio innamorato (1).

Oggi per fortuna la sessualità delle piante non solleva alcun problema e a scuola si può tranquillamente parlare di fiore maschile, di fiore femminile, di fiore ermafrodito, di piante monoiche e dioiche.

Non è però questo il punto che desidero trattare. Ho avuto modo di dire che la pianta si accresce accumulando moduli e che il modulo fondamentale di costruzione sopra il terreno è la foglia con la sua gemma ascellare e l'associato internodo del fusto (2).

Dopo una crescita**,** che si prolunga per un periodo di tempo che varia da specie a specie e che è determinata dalle informazioni contenute nel programma genetico, compare un nuovo tipo di modulo strettamente associato alla riproduzione, il fiore delle Angiosperme.

Quest'ultimo, finito il compito al quale è adibito, conclude il suo ciclo vitale e non produrrà più nuovi moduli.

Negli organismi che si riproducono sessualmente il nuovo individuo si sviluppa da una cellula uovo fecondata, lo zigote. Le cellule che sono finalizzate alla riproduzione, derivano, attraverso una serie di successive divisioni, da linee cellulari chiamate *linee germinali.*

Durante lo sviluppo embrionale, nella maggior parte degli animali (nei mammiferi già nella prima settimana di sviluppo embrionale), le cellule delle linee germinali si separano precocemente da quelle che costituiscono il corpo, definito *soma.*

Nel caso delle piante vascolari le *cellule germinali* compaiono nel modulo-fiore solo poco prima che questo svolga la sua funzione. Le cellule che danno origine ai fiori di una quercia hanno dunque condiviso gran parte della loro vita accanto a cellule che producono nuove foglie o rami. Nelle piante inoltre si è propensi a credere che non esista una sola *linea germinale* come negli animali, ma migliaia di *linee germinali* ciascuna delle quali porta ad un singolo fiore. (Fig. 2)

Si dice che la *linea germinale* è potenzialmente immortale perché persiste da una generazione all'altra, mentre il *soma* è mortale in quanto le cellule che lo compongono muoiono insieme all'individuo. (...) *il soma, dopo tutto, non è nient'altro che un gigantesco, deambulante clone di cellule, originatosi da un unico uovo fecondato* (3).

Forse la potenziale immortalità della linea germinale dipende dalla meiosi e dalla successiva fecondazione

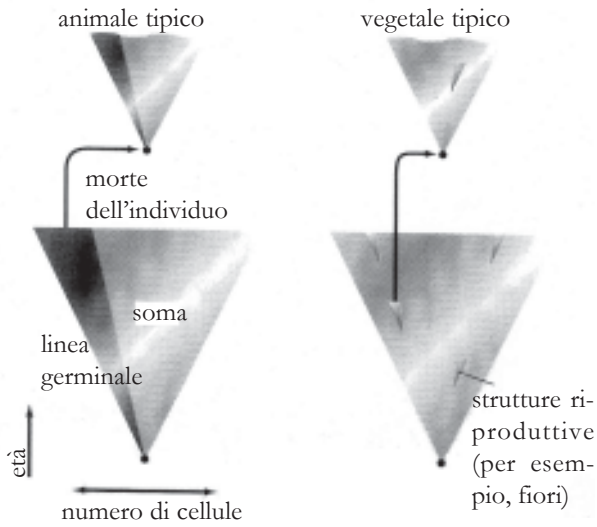


fig. 2 Una fondamentale differenza fra i vegetali e la maggior parte dei gruppi di animali è lo stadio di sviluppo al quale la *linea germinale* si separa dal resto del *soma*. Nelle piante e, in alcuni animali primitivi la separazione avviene in una fase molto avanzata dello sviluppo (NCS 25 Zanichelli)

che insieme consentono la formazione di nuove combinazioni genetiche (4).

Trovo interessante, a questo punto, fare notare che all'interno di ciascuna cellula dell'organismo esistono dei cloni come i mitocondri, negli animali e nelle piante, e i cloroplasti nelle sole piante verdi.

Questi organuli si riproducono asessualmente fra una generazione sessuale e l'altra.

Venuti probabilmente alla luce come batteri simbionti che invasero linee cellulari di organismi superiori circa un miliardo di anni or sono, essi contengono DNA e hanno geni che codificano un certo numero di proteine essenziali per il funzionamento della cellula. Indipendentemente dal fatto che si trovino nel *soma* o nelle cellule della *linea germinale*, mitocondri e cloroplasti, si riproducono per semplice replicazione del DNA e per successiva fissione, in questo modo ciascuno organulo produce due strutture figlie identiche**.** Il DNA mitocondriale e quello cloroplastico che passano da una generazione cellulare all'altra sono rigorosamente di origine materna e non c'è mescolanza di tipo sessuale fra i genomi. I granuli di polline e gli spermatozoi contengono anch'essi mitocondri per il loro metabolismo energetico, ma i loro mitocondri non penetrano nella cellula uovo o nell'ovulo al momento della fecondazione. E' dunque possibile ricostruire a ritroso la storia di questi organuli cellulari in tutte le creature viventi ripercorrendo le linee materne fino a risalire a un comune antenato vissuto più di un miliardo di anni fa!

Riproduzione asessuata

E' opinione ormai acquisita che l'importanza della riproduzione sessuata risieda nel fatto che gli organismi così ottenuti sono, almeno in parte, esenti da *difetti* (le mutazioni accumulate dalla *linea germinale* nella sua fase somatica).

L'idea che il sesso serva a *ripulire* la *linea germinale* è messa però in seria difficoltà dall'esistenza di specie che si riproducono senza avvalersi di alcuna forma di sesso come nel caso riferito da R. K. Butlin e H. I. Griffiths dell'Università di Leeds.

In un articolo dall'intrigante titolo *Aging whithout sex (invecchiare senza sesso)* i due studiosi si sono occupati di un gruppo di ostracodi, (crostacei), d'acqua dolce che hanno una documentazione fossile risalente a diverse centinaia di milioni di anni fa, che non si riproducono sessualmente e che non hanno accumulato i danni genetici che si potrebbero ritenere inevitabili in una *linea germinale* non *purgata* dalla ricombinazione sessuale.

A differenza delle specie che praticano la riproduzione vegetativa, le piante e gli animali che si riproducono asessualmente producono semi e uova con una grande varietà di meccanismi. Il trucco è quello di produrre un seme o un uovo che abbia l' intero corredo cromosomico della madre.

Poiché un embrione può svilupparsi solo all'interno di un uovo fornito dei nutrienti necessari, tutte le piante e gli animali che si riproducono asessualmente sono, per definizione, di sesso femminile, e in genere le loro popolazioni non contengono individui di sesso maschile. Elenco di seguito i diversi modi in cui una femmina potrebbe produrre uova diploidi invece che aploidi (Fig. 3).

In alcune specie le cellule diploidi dell'ovaio si trasformano direttamente in cellule uovo (schema 1); un altro sistema per ottenere un doppio corredo cromosomico è quello di sopprimere la seconda divisione meiotica, la fase, cioè, nel corso della quale normalmente i corredi cromosomici vengono ridotti da due copie a una (schema 2); in altre le uova sono prodotte nel corso di una meiosi modificata nella quale due corredi di cromosomi vengono trattenuti nel gamete (schema 3). Un'altra possibilità è quella di fondere due nuclei aploidi formatisi nel corso di una normale meiosi; in questo caso, ciascun figlio riceve una combinazione unica dei geni della madre (schema 4).

Riporto come esempio nel regno animale il caso della salamandra *Ambystoma platineum* derivante dalla ibridazione di altre due specie, *Ambystoma jeffersonianum* e *Ambystoma laterale* che presenta un corredo cromosomico triploide derivato dalla fecondazione di un uovo diploide con uno spermatozoo aploide**.**

Per produrre uova triploidi, la cellula uovo (l'oocita) dapprima subisce una mitosi premeiotica senza divisione cellulare, originando una cellula con sei corredi cromosomici. La cellula così ottenuta subisce poi una normale meiosi producendo cellule triploidi (con tre corredi cromosomici) che si sviluppano in embrioni

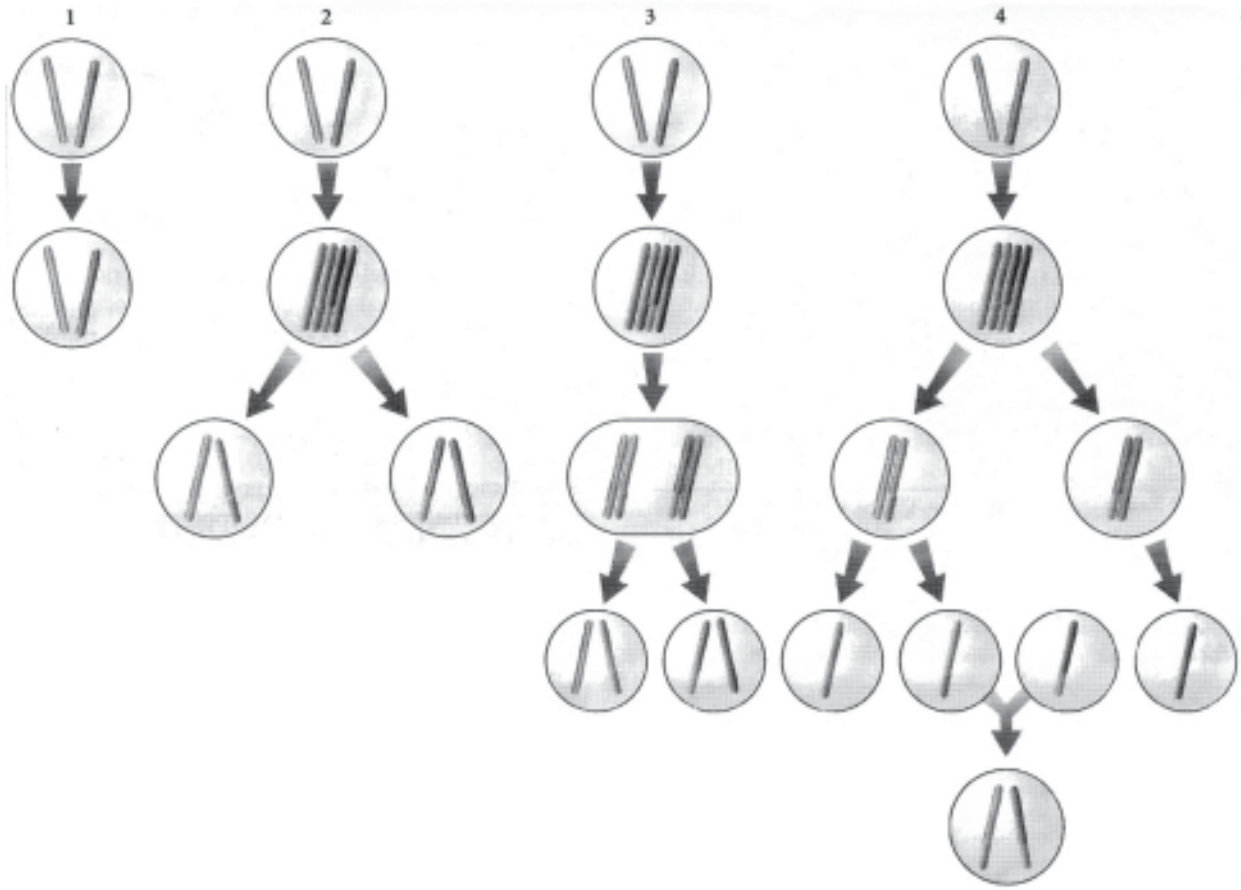


fig. 3 Diversi modi in cui una femmina potrebbe produrre uova diploidi (vedi spiegazione nel testo) - NCS 25, Zanichelli)

normali. La formazione degli ibridi dipende tuttavia dalla specie parentale, perché l'uovo triploide non comincerà a svilupparsi se non verrà penetrato dallo spermatozoo di un maschio di *Ambystoma jeffersonianum*. Lo spermatozoo però non contribuisce al genotipo dell'embrione, in questo modo si originerà una *specie tutta femminile*.

Piante e *immortalità*

Nelle piante, una forma comune di riproduzione asessuale è l'emissione di nuovi getti da parti vegetative come radici, rizomi o fusti e foglie modificati.

Molte piante coltivate, come il Banano, *Musa paradisiaca* (Famiglia *Musaceae*), sono propagate esclusivamente piantando delle talee che poi radicano, oppure tramite innesto. Il Banano (Fig. 4) è una pianta erbacea di grandi dimensioni provvista di un rizoma strisciante e perenne, da cui partono verticalmente 10-30 foglie le cui guaine rigide formano, sovrapponendosi le une sulle altre, il falso tronco (stipite) alto 2- 6 metri.

L'ultima foglia precede la fuoriuscita dell'infiorescenza, è più piccola, si trova sulla sommità dello stipite e compare a 10-14 mesi di età della pianta. In seguito, dopo 3-4 mesi, avviene la maturazione del frutto, le banane.

L'infiorescenza ha una forma caratteristica o *casco* e si compone di un asse che porta, in disposizione spiralata, tre gruppi di fiori chiamati *mani* a causa della loro forma digitata. Le *mani* si compongono ognuna di 3-10 fiori. Sul casco ci sono tre ordini di fiori diversi così distribuiti. I fiori femminili si trovano alla base del casco, si aprono per primi perché la fioritura comincia in basso e talvolta sotto l'azione di polline di altre piante possono dare seme. Il fiore femminile ha un ovario che per partenocarpia, in assenza di impollinazione, si trasforma nel frutto che è una bacca senza semi.

fig. 4 Banano *Musa Paradisiaca L.,* Cesare Leonardi e Franca Stagi *L'architettura degli alberi* Mazzotta N&C, 1983

Vi sono poi dei fiori costituiti da rudimentali organi maschili e femminili che possono dare sviluppo a delle banane rudimentali, e da ultimo fiori maschili, posti alla sommità del casco, che producono polline in grande quantità, ma i differenti tempi di schiusa dei fiori maschili e femminili e di quelli completi impedisce che la pianta si autoimpollini. Effettuata la fruttificazione, lo stipite muore e viene reciso alla sua base rasente terra. Il Banano è noto agli uomini da lontanissimo tempo, si pensa che la sua coltivazione abbia preceduto la stessa millenaria coltivazione del riso. Tutte le forme coltivate sono sterili.

In questo modo viene saltata la produzione dell'ovulo e tutti gli stadi embrionali che fanno parte del normale ciclo vitale della maggioranza delle piante. La questione che ci si può porre è se è possibile considerare *immortali* le piante che si riproducono senza attività sessuale.

Alcuni esempi mi possono aiutare a rispondere. La pianta di fragola si moltiplica teoricamente per sempre senza attività sessuale. E' sufficiente questo *dato di fatto* per considerarla immortale? Lo stesso comportamento è posseduto dalla felce aquilina che diffonde all'infinito i suoi steli sotterranei. Ho letto che esiste in Pennsylvania una colonia di mirtilli che si espande per un diametro di due chilometri e che è collegata con la pianta madre alla quale vengono attribuiti 13.000 anni di età ! Gli amanti del vino apprenderanno con piacere che i cloni di uve *Cabernet Sauvignon* vengono propagati per talea da almeno 800 anni. Alcuni cloni sono immensi: quelli di creosoto (*Larrea tridentata*), una pianta che vive nel deserto americano di Mojave, raggiungono probabilmente 11.000 anni di età e coprono superfici di estensione pari o superiore a un acro (5).

L'ipotesi corrente è che, nel loro complesso, i prodotti della *riproduzione* vegetativa possono essere considerati come un singolo organismo. Un clone di pioppo, in cui nuove *piante* crescono germogliando dal sistema radicale dell'albero genitore, costituisce un unico individuo, proprio come i rami che emergono da un unico tronco appartengono a un singolo albero. L'aspetto più significativo della propagazione per via vegetativa è la continua proliferazione cellulare a livello del germoglio, indipendentemente dal fatto che esso produca uno stolone, una radice, oppure foglie, fiori o altri germogli. L'invecchiamento si manifesta con maggiore intensità soprattutto in quegli organismi che da adulti hanno una taglia corporea fissa, nei quali cioè gran parte delle cellule cessano di proliferare: è il caso degli organismi unitari come l'uomo.

Come nelle piante, anche negli animali che si riproducono vegetativamente, quali i coralli e i tunicati, sembra non esistano limiti alla capacità di produrre nuove generazioni di individui. Sebbene singoli individui possano anche riprodursi sessualmente per dare vita a un nuovo clone e sebbene ogni singolo individuo invecchi e muoia, l'identità genetica del clone può perpetuarsi per tempi lunghissimi attraverso la riproduzione asessuale.

Uniparità e morte

Gli anelli di crescita annuali di alcuni esemplari di piante del pino della California, *Pinus aristata,* arrivano all'incredibile numero di 4500 e, nonostante questo, le linee cellulari che si trovano ai loro apici vegetativi producono semi vitali tutti gli anni.

Al contrario, molte piante si riproducono una sola volta e poi muoiono secondo il *modello dell'uniparità*. Tale comportamento si riscontra più comunemente nelle specie annuali, che crescono e si riproducono nell'arco di un solo anno. Casi interessanti di uniparità sono stati riscontrati anche in specie longeve. Alcune di esse possono crescere per anni o anche per decenni senza maturare sessualmente, per poi affrontare un unico episodio riproduttivo che esaurisce tutte le loro risorse ed è immediatamente seguito da morte.

Sebbene poco comune, questo modello riproduttivo è ampiamente distribuito sia nel regno animale sia in quello vegetale, ed è stato adottato da organismi diversi. La riproduzione seguita dalla morte è ritenuta una strategia elettiva nel caso di specie che pagano un alto prezzo per iniziare la riproduzione.

Quando, per produrre un unico gamete, un organismo deve riorganizzare completamente il proprio piano di vita o i propri tessuti o ridistribuire in modo drasticamente diverso le proprie risorse, può essere vantaggioso investire tutto nella riproduzione, invece di mettere da parte delle riserve per sopravvivere.

La migrazione del salmone del Pacifico verso i siti riproduttivi e la crescita dell'immenso gambo fiorale nelle piante di agave sono tutti esempi di organismi che investono moltissimo nella riproduzione, ancor prima che un singolo uovo venga deposto, o che un unico fiore si apra.

Per prepararsi alla riproduzione, l'agave sviluppa un enorme apice fiorale (Fig. 5), costruito con i nutrienti sottratti ad altre parti della pianta. L'organismo nel suo complesso va così incontro a una morte programmata, dopo una crescita vegetativa che dura a volte più di un secolo, allo scopo di realizzare un unico, immenso, episodio riproduttivo.

Anche il bambù (Famiglia *Graminee*) segue il modello della uniparità, ma aggiunge una importante variante. In questo caso i membri di un'intera popolazione fioriscono con eccezionale sincronia a un'età ben precisa, in seguito le piante adulte muoiono mentre il rizoma può rimanere in vita sotto terra anche dopo la morte della porzione aerea della pianta.

Quello che segue è il racconto fatto da un viaggiatore cinese che, mentre risaliva il fiume Yang-Tze-Kiang

fig. 5 Agave *Agave americana L.* Cesare Leonardi e Franca Stagi *L'architettura degli alberi* Mazzotta N&C, 1983

sostò ad alloggiare presso una locanda posta in mezzo ad un boschetto di bambù giganti: *venni risvegliato prima dell'alba da un orribile scricchiolio, un frignare, come un fievole gridare o uggiolare che proveniva dal bosco di bambù. Allarmato chiamai il compagno di viaggio, il quale mi spiegò che i rumori erano causati dalla crescita dei germogli dei giovani bambù giganti, mentre si facevano strada tra le brattee e gli involucri di rivestimento che ricoprivano la base di ogni germoglio. Nelle mattinate calde e umide il bambù cresce a velocità sorprendente e lo sfregamento produce questi suoni terrificanti* (7).

Questo racconto, registrato e pubblicato dal botanico Blossfeld, mette in luce un aspetto della crescita degli organismi vegetali.

La velocità di crescita varia enormemente nel regno vegetale. I bambù detengono una sorta di primato, possono crescere più di un metro in un solo giorno toccando trenta metri di altezza in meno di tre mesi. All'estremo opposto si trova un esemplare d'abete rosso che vive al limite arboreo nell'Artide. Questo albero presenta un tronco di due centimetri e mezzo di diametro ed è cresciuto in altezza ventotto cm in novantotto anni.

Nel 999 fiorì in Cina un bambù dal formidabile nome di Phyllostachys bambusoides (8). *Da allora con infallibile regolarità questa pianta ha continuato a fiorire ed a mettere semi all'incirca ogni 120 anni. Dovunque viva, il Phyllostachys bambusoides segue questo ciclo. Alla fine degli anni Sessanta la varietà giapponese (a sua volta importata dalla Cina secoli prima) fiorì contemporaneamente in Giappone, Inghilterra, Alabama, Russia.* (...) *in questi bambù la riproduzione sessuale avviene dopo più di un secolo di celibato. Queste piante non sono inattive durante i 120 anni di attesa, bensì si riproducono asessualmente producendo nuovi germogli dai loro rizomi sotterranei…ma, dopo avere messo i semi muoiono: una lunga attesa per una rapida fine* (9). Analizzando le varie specie di bambù, si riscontra che i periodi di crescita vegetativa variano dai 15 ai 150 di intervallo, ma la contemporaneità della fioritura è una costante

Come fanno i bambù a contare gli anni che passano? Secondo l'ecologo Daniel H. Janzen dell'Università della Pennsylvania (...) *la fioritura di una specie non è determinata dall'intervento di un qualche fattore ambientale, ma da un orologio genetico interno* (...)

Come spiegare la fioritura nello stesso periodo di tempo di piante trapiantate nei giardini botanici sparsi in tutto il mondo? L'ipotesi più accreditata dice che i bambù, sincronizzando e distanziando nel tempo gli episodi riproduttivi, riescono, negli anni in cui non si riproducono, a frenare lo sviluppo delle popolazioni di organismi nocivi. Al contrario, durante i loro esplosivi episodi riproduttivi, sono in grado di soverchiare le capacità offensive dei predatori di semi e giovani piante.

Come dice Gould (...) *la Storia naturale è, in larga misura, la storia dei diversi adattamenti atti ad evitare la predazione. Comportandosi in questo modo i semi di bambù seguono una strategia insolita: non si mascherano e non si nascondono, ma compaiono così raramente e così numerosi che i predatori non riescono a consumare tutta l'offerta di cibo.*

Tra i biologi evolutivi questo tipo di difesa è nota come *appagamento dei predatori.*

La dispersione dei cloni e l'esplorazione dell'ambiente

La progenie di piante ottenuta per via vegetativa viene collettivamente definita clone.

Negli organismi modulari, un *genet* individuale accrescendosi ripete le sue unità di struttura e le disperde nell'ambiente circostante, così facendo lo esplora attivamente. Il botanico finlandese Oinonen stimò che cloni individuali della felce aquilina rizomatosa (*Pteridium*) avessero raggiunto un'età di 1.400 anni e che uno di essi si estendesse su un'area di circa 14 ettari!

Alcuni alberi sono anche capaci di dispersione clonale da polloni radicali, per es. il pioppo tremulo (*Populus tremuloides*), con il prodotto di un singolo seme iniziale, può coprire aree maggiori di quelle coperte dalla felce aquilina. Tra le piante che si estendono per rizomi o stoloni possiamo riconoscere due modalità opposte di diffusione e colonizzazione dell'ambiente.

Ad un estremo ci sono le specie in cui le connessioni tra i moduli sono lunghe, spesso anche sottili e di breve durata, cosicché i germogli di un clone sono ampiamente distanziati tra di loro. Gli organismi che formano cloni in questo modo raggiungono una forma che

rispecchia la disposizione dei loro moduli. Questa forma è chiamata *forma a guerriglia*, poiché conferisce alla pianta o al corallo un carattere analogo a quello delle forze della guerriglia militare: costantemente in movimento, scompaiono da alcuni territori e penetrano in altri. Sono a un tempo fuggitive e opportuniste. All'altro estremo ci sono le *forme a falange* in cui le connessioni tra i moduli sono brevi, frequentemente spesse e di lunga durata. In questo caso i moduli sono strettamente addossati (Lovett Doust e Lovett Doust, 1982). Le graminacee cespugliose delle regioni aride sono eleganti esempi di forme di accrescimento *a falange*.

Piante modulari con forme di accrescimento *a falange* espandono i loro cloni lentamente, continuano a occupare il sito iniziale per lunghi periodi, non penetrano facilmente tra le piante vicine né sono facilmente penetrate da queste. E' usato il termine *falange* per designare questa forma di accrescimento per analogia con le unità dell'esercito romano, strettamente addossate con gli scudi tenuti in difesa attorno al gruppo.

Anche tra gli alberi *non clonali* è facile osservare che il modo in cui sono disposte le gemme conferisce loro una forma di accrescimento *a guerriglia* o *a falange*. Il denso impacchettamento dei moduli dei germogli in specie come i cipressi (*Cupressus*) produce un fogliame relativamente non disperso e impenetrabile, *volta a falange* (Fig. 6).

In molti alberi a struttura meno compatta (*Acacia*, *Betula,* Fig. 6) possiamo parlare di *volte a guerriglia* dove le gemme sono ampiamente disperse e i germogli si intrecciano con le gemme e i rami dei vicini. Le liane, volubili o rampicanti, in una foresta, presentano forme di accrescimento *a guerriglia* per eccellenza, disperdendo il fogliame e le gemme su immense distanze sia verticalmente sia lateralmente.

I modi in cui gli organismi modulari si propagano e presentano i loro moduli influenzano le modalità con cui essi interagiscono con i vicini. Quelli con forma *a guerriglia* incontreranno e interagiranno con altre specie e altri *genet* del loro stesso tipo. Nel caso di una struttura *a falange* la maggior parte degli incontri avverrà tra moduli di un singolo *genet*. Nel caso di una graminacea cespugliosa o di un cipresso, la competizione deve avvenire in grandissima misura tra le parti dell'organismo stesso.

L'accrescimento clonale è più efficace quando la specie usa come mezzo di dispersione l'ambiente acquatico nel quale i prodotti di un singolo zigote possono disperdersi attraverso i corsi d'acqua di un'intera nazione non avendo bisogno di radici che li ancorino al substrato.

I principali problemi mondiali creati dalle piante infestanti acquatiche sono causati da specie che si moltiplicano come cloni e si suddividono ripetutamente mentre si accrescono come le lenticchie d'acqua (*Lemna*), il giacinto d'acqua (*Eichornia),* la peste d'acqua (*Elodea canadensis*) (Fig. 7).

Esemplare è il caso della felce d'acqua, *Salvinia,* che colonizza gli specchi d'acqua formando densi e compatti tappeti lunghi letteralmente chilometri sui quali crescono altre piante e dove si racconta siano stati visti galleggiare bufali morti. Le specie acquatiche oltre a rendere i fiumi intransitabili, tolgono loro la luce, consumano tutto l'ossigeno contenuto nell'acqua così da distruggere ogni forma di vita acquatica con conseguente ricaduta sul-

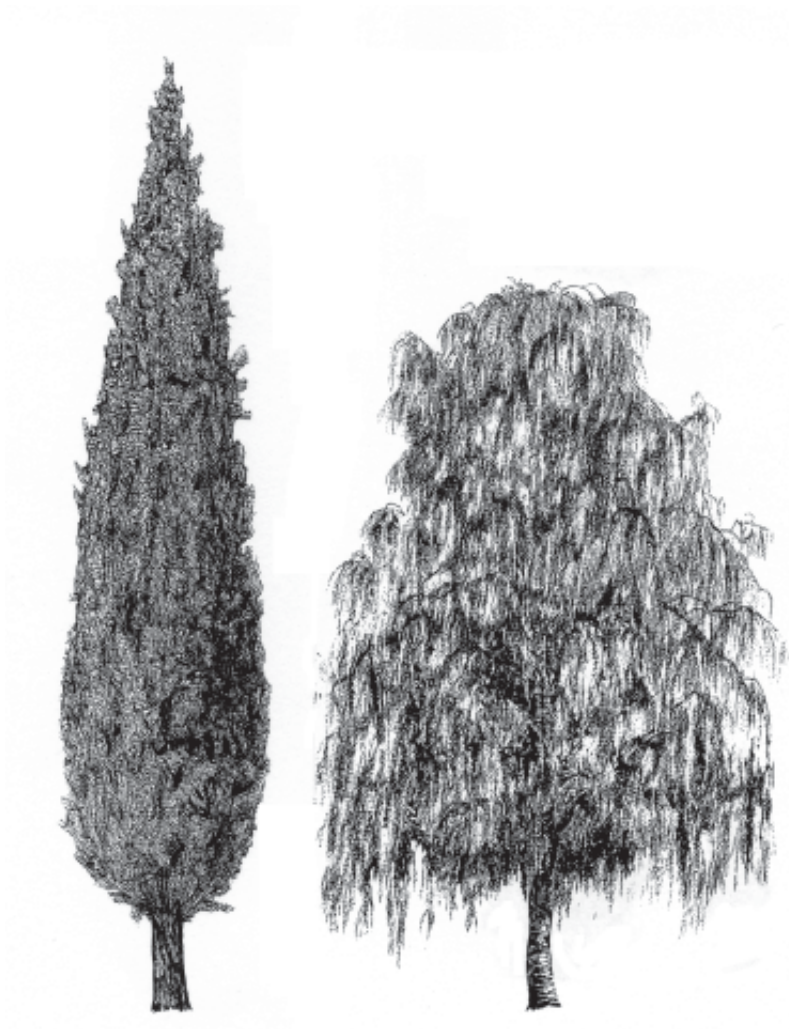


fig. 6 *Cupressus sempervirens* L. e *Betula pendula* Roth (vedi spiegazione nel testo)

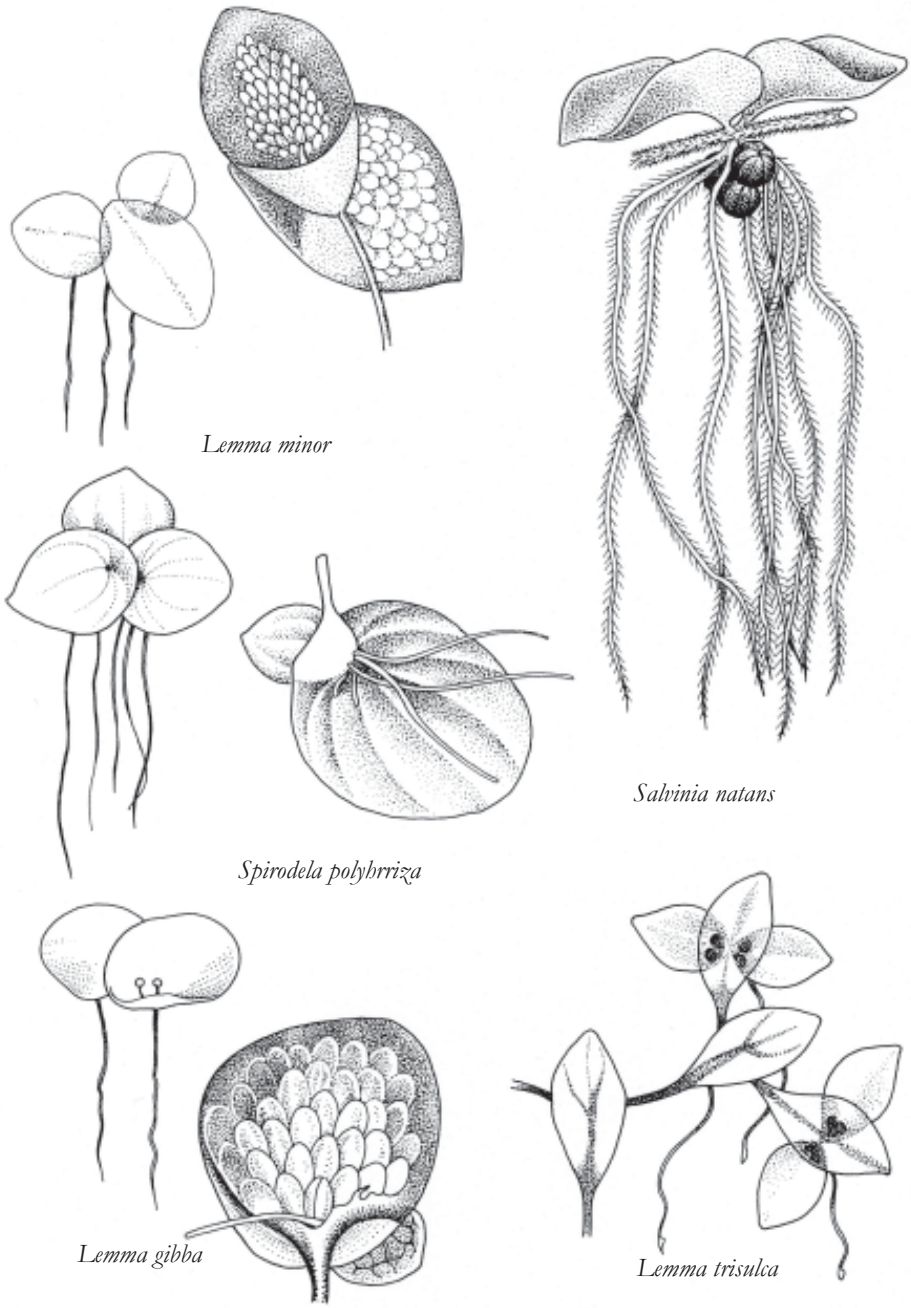


fig. 7 Piante acquatiche infestanti

le popolazioni che vivono di pesca. A tutt'oggi non si conoscono mezzi per distruggerle se non quello di spazzarle via meccanicamente.

Ho sopra riportato solo alcuni dei mezzi di diffusione inventati dalle piante per superare il problema della loro immobilità, questi espedienti adottati portano alla formazione tra l'altro di individui che, geneticamente parlando, sono virtualmente immortali.

Come allora non condividere le parole scritte da Darwin nel suo diario, secondo cui conviene *studiare gli animali come se fossero piante!*

Fabrizia Gianni

Note

(1) Anthony Huxley *Il pianeta delle piante* pagg118-119, Arnoldo Mondadori Editore, 1975

(2) *L'organismo vegetale: come imparare a conoscerlo facendolo a pezzi* (prima parte), NATURALMENTE anno 17 n. 3, Dicembre 2004

(3) Robert E. Ricklefs, Caleb E. Finch *L'Invecchiamento -Una storia naturale* NCS25, Zanichelli Editore, 2002

(4) La distinzione, in un individuo, fra immortalità della *linea germinale* e mortalità del *soma* venne formulata per la prima volta nell'Ottocento dal grande biologo August Weismann.

(5) Acro è una misura di superficie anglosassone pari a m² 4.046,856.

(6) Sono piante diffuse nella parte meridionale del Nordamerica e in quella settentrionale del Sudamerica, una specie si è naturalizzata anche da noi: *Agave americana*. Appartengono alla Famiglia *Amaryllidaceae*.

(7) Anthony Huxley *Il pianeta delle piante* pagg 122, Arnoldo Mondadori Editore, 1975

(8) *Phyllostachys bambusoides* (Fam. *Graminaceae*) dal greco *phyllon* foglia e *stachys* a punta, lanceolata.

(9) Stephen Jay Gould *Questa idea della vita. Sui bambù, le cicale e l'economia di Adam Smith* Editori Riuniti, 1984

Riferimenti Bibliografici

Adriano Bell *La forma delle piante Guida illustrata alla morfologia delle Angiosperme* Zanichelli, 1998

Michael Begon, John L. Harper, Colin R. Townsend *Ecologia Individui, Popolazioni, Comunità* Zanichelli, 2000

Anthony Huxley *Il pianeta delle piante* Arnoldo Mondadori Editore, 1975

Robert E. Ricklefs, Caleb E. Finch *L'Invecchiamento Una storia naturale* NCS25 Zanichelli, 2002

Cesare Leonardi e Franca Stagi *L'architettura degli alberi* Mazzotta N&C, 1983

Francesca Venturelli, Laura Virli *Invito alla Botanica con esercitazioni di laboratorio* Zanichelli, 1999

Gazebo

Un percorso a tappe: esistono regole per descrivere la crescita di *un sistema ramificato complesso?* (terza parte)

Fabrizia Gianni

Sintesi delle parti precedenti

Nel primo articolo (1) ho mostrato come sia possibile studiare le piante scomponendole in unità simili. L'accumulo progressivo di queste ultime determina nell'organismo pianta un programma di sviluppo altamente imprevedibile, condizionato dall'informazione genetica che interagisce con l'ambiente.

Un organismo così strutturato è definito dai morfologi vegetali un *organismo modulare ramificato*. Nel secondo articolo (2) ho analizzato il modo di riprodursi e di morire degli organismi modulari. In questo caso i processi vitali della nascita, della senescenza e della morte si svolgono sia a livello dell'intero organismo, sia a livello della singola parte e la morte di un individuo non è più attribuibile ad una forma di senescenza programmata, ma a cause molto diverse, come per esempio alle eccessive dimensioni raggiunte per l'accumulo di tessuti morti.

Un percorso a tappe

Il percorso che desidero presentare riguarda lo studio degli eventi che caratterizzano la crescita, prolungata nel tempo, del sistema pianta inteso come *sistema ramificato complesso*. Il fine dell'analisi è di invogliare ad osservare le tracce, come per es. le cicatrici fogliari che si possono riscontrare nella specie vegetale in esame, e di collegare questi segni con le fasi di sviluppo passate e presenti in relazione con l'ambiente in cui la pianta vive.

Come premessa è importante considerare che numerose caratteristiche di sviluppo sono comuni a tutti gli individui di una stessa specie. Ad un'attenta osservazione delle sequenze degli eventi che hanno luogo durante il ciclo vitale degli individui di differenti specie arboree, si nota che ogni specie possiede un progetto riconoscibile (modello o sequenza di ramificazione), al quale le giovani piante si attengono.

La descrizione della ramificazione di una pianta non è un'operazione semplice, a maggior ragione se si procede come nel mio caso attraverso una disamina teorica. Propongo pertanto di seguire le osservazioni indicate rimanendo comodamente seduti sotto l'albero prescelto il quale, con estrema trasparenza, apre a noi la sua storia, *serena* o *tormentata* che sia stata.

Per facilitare l'osservazione scrivo il mio percorso dividendolo in tappe e accompagnando i vari punti con schemi esplicativi, ben consapevole della riduttività di un utilizzo solo teorico di questi consigli.

Tappa 1 Un albero può essere visto come strutturato in tre zone (fig. 1).

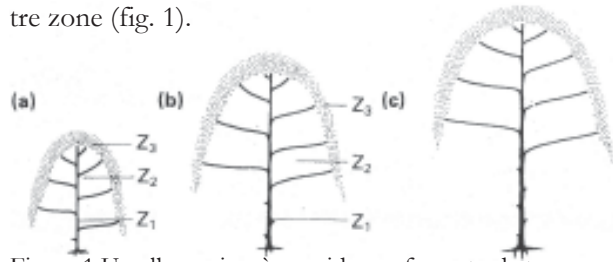


Figura 1 Un albero si può considerare formato da tre zone: zona 1 tronco; zona 3 chioma; zona 2 struttura di supporto intermedia. Da A. Bell *La forma delle piante Guida illustrata alla morfologia delle Angiosperme*

Zona 1: corrisponde al tronco e svolge la funzione di sostegno;

Zona 3: corrisponde alla parte più distale della chioma e svolge la funzione di intercettare la maggior parte della luce;

Zona 2: corrisponde ad una zona intermedia, in grado di colmare lo spazio esistente tra la periferia (*zona 3*) ed il tronco (*zona 1*) in un esemplare di grandi dimensioni. Le *zone 1* e *3* esistono sempre mentre la *zona 2*, interposta tra le altre, è presente solo negli esemplari che possiedono uno stadio di crescita avanzata (fig. 2).

Figura 2 Schema di ippocastano, *Aesculus hippocastanum* da Jacques Simon *L'arte di conoscere gli alberi*

L'osservazione della *zona 2* focalizza l'attenzione sulla successione delle sequenze di ramificazione. L'analisi può essere fatta iniziando dal tronco e spostandosi verso i rami più piccoli, terminali posti in posizione distale (processo centrifugo), oppure considerando per primi i rami terminali e procedendo verso il tronco (processo centripeto).

TAPPA 2 Gemme o meristemi apicali.
La pianta, da un punto di vista strutturale, è costituita da numerose gemme che si accumulano in modo progressivo. La funzione delle gemme è di produrre tutte le nuove componenti che entrano nello schema costruttivo della pianta; ne consegue che lo studio dell'attività della gemma permette di comprendere in modo più approfondito la morfologia dello sviluppo o *architettura* di una pianta.
Il contributo delle gemme allo sviluppo ed alla crescita di una pianta può essere trattato da tre punti di vista. Dapprima si osserva la posizione della gemma in relazione allo schema strutturale della pianta, in seguito si considera la potenzialità propria di quella gemma durante il suo accrescimento, ovvero che cosa può produrre e se il suo destino sia o meno determinato. Da ultimo si valuta la distribuzione temporale e la durata della crescita della gemma e dei germogli che ne derivano rispetto al resto della pianta (fig. 3).

Figura 3 Distribuzione delle gemme in un nocciolo *Corylus avellana* da A. Bell (Idem)

TAPPA 3 La gemma è un germoglio *concentrato*.
In una gemma le foglie sono inserite sul fusto così addossate da sovrapporsi l'una all'altra. Le foglie più interne sono ripiegate, mentre quelle esterne sono distese, hanno forma di squama e possono essere di colore verde, marrone e nero (perule). Le foglie esterne, più spesse e resistenti, proteggono le più interne, sottili e delicate, dall'essiccamento e dai rigori atmosferici o dai danni che possono essere causati dagli uccelli, dagli insetti e da altri organismi, ecc. All' estremità distale del breve asse delle gemme si può sviluppare un fiore o è presente una zona di accrescimento.
Durante la fase di crescita si formano numerose gemme terminali all'estremità dei germogli e dei rami. Le gemme terminali danno luogo all'allungamento del fusto, mentre le laterali, che si sviluppano alle ascelle fogliari, danno origine ai nuovi rami. Le une e le altre possono produrre un fiore al posto di un germoglio fogliare o in aggiunta a questo. Quando una gemma terminale produce un fiore o un'infiorescenza, queste ultime cadendo non lasciano zone di accrescimento; ne consegue che la crescita del fusto, nella stagione successiva, prosegue a livello di una o più gemme laterali. In primavera l'asse della gemma incomincia ad allungarsi, le squame si aprono e mentre il fusto si allunga, le foglie si distanziano l'una dall'altra e si dispiegano. Le squame delle gemme per lo più si ripiegano verso l'esterno, si seccano e cadono nel termine di poche settimane lasciando sul ramo in accrescimento una serie di cicatrici molto vicine e caratteristiche, disposte lungo tutta la circonferenza del rametto.
Consiglio di osservare le gemme in autunno perché è il periodo più proficuo per un'attenta analisi. Gli alberi caducifoglie dei climi temperati, alla fine della stagione vegetativa, hanno già pronte le gemme che si svilupperanno la primavera successiva. Le foglie, ormai cadute, non disturbano più il campo di studio ed è perciò possibile rilevare una serie di particolari difficilmente apprezzabili in primavera-estate. Per esempio si vedono in modo netto gli angoli di inserzione delle gemme sull'asse, si registra se le gemme sono isolate o raggruppate nel medesimo punto del ramo, si valuta come variano le loro dimensioni a secondo della posizione che hanno sull'asse (le gemme più grosse si trovano nel terzo superiore del ramo terminale), si registra la diversità della forma, proprietà questa che diventa una caratteristica diagnostica per ogni specie, si osserva se sono nude o protette da foglie modificate che possono essere squamose, membranacee, erbacee ecc. La formazione precoce delle gemme offre alla pianta il vantaggio di potere presentare a tempo debito e senza indugio una superficie pronta per la fotosintesi.
Le gemme sono tra gli elementi più significativi per il riconoscimento, per questo motivo rimando ad un prossimo articolo un discorso più ampio e preciso che possa servire come criterio diagnostico (fig. 4).

TAPPA 4 Le cicatrici sui rami terminali**.**
Gemme, foglie, fiori e rami quando cadono lasciano sulla corteccia dei segni che sono paragonabili alle nostre impronte digitali, aiutano nella identificazione della specie e ci raccontano la storia della pianta. Le cicatrici fogliari sui rami più recenti hanno un aspetto caratteristico dovuto alla presenza di segni in corrispondenza ai punti di occlusione dei fasci vascolari che dal tronco entrano nel picciolo fogliare (fig. 5). In alcuni alberi la caduta delle foglie avviene nel modo che

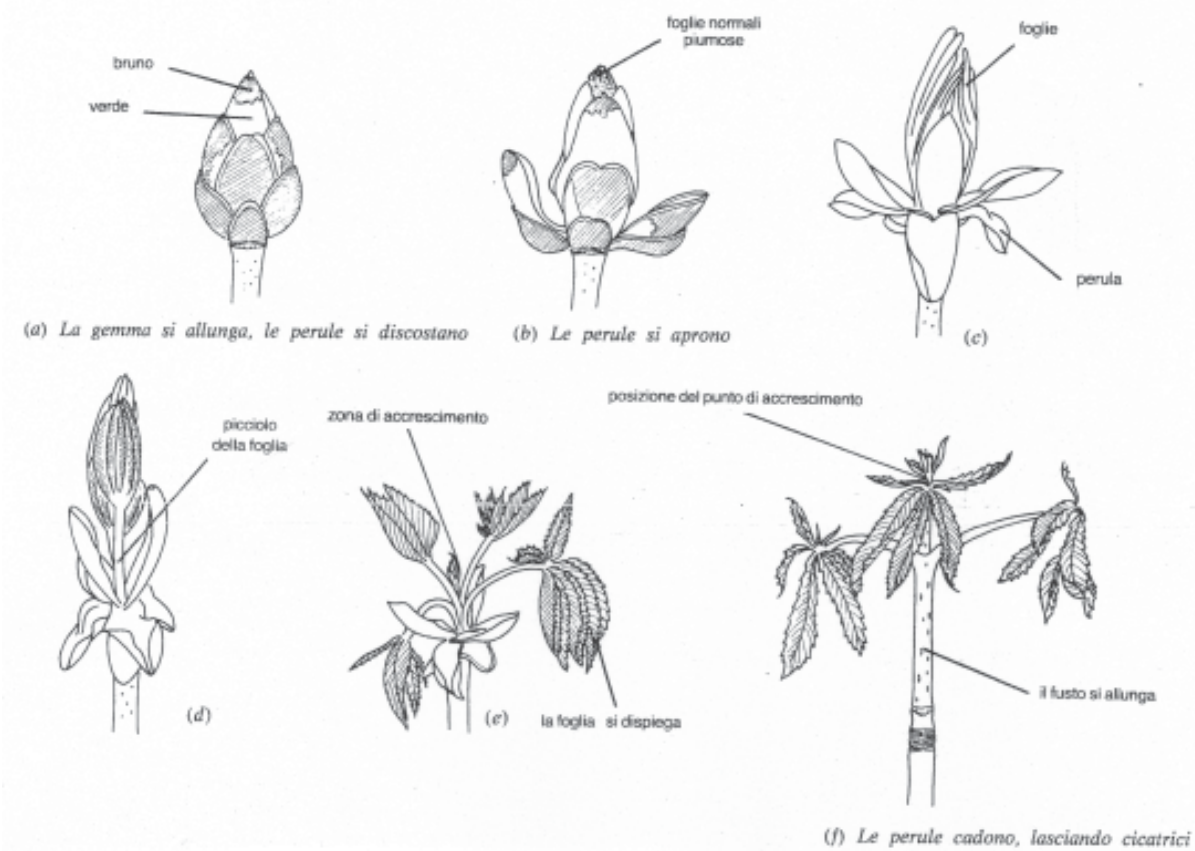


Figura 4 Tappe della crescita di una gemma apicale di ippocastano da D.G.Mackean Loescher-Scode, 1978

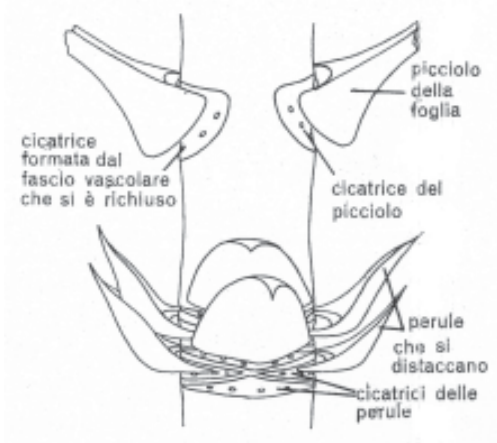


Figura 5 Formazione delle cicatrici delle perule e delle foglie (spiegazione nel testo) da D.G.Mackean (Idem)

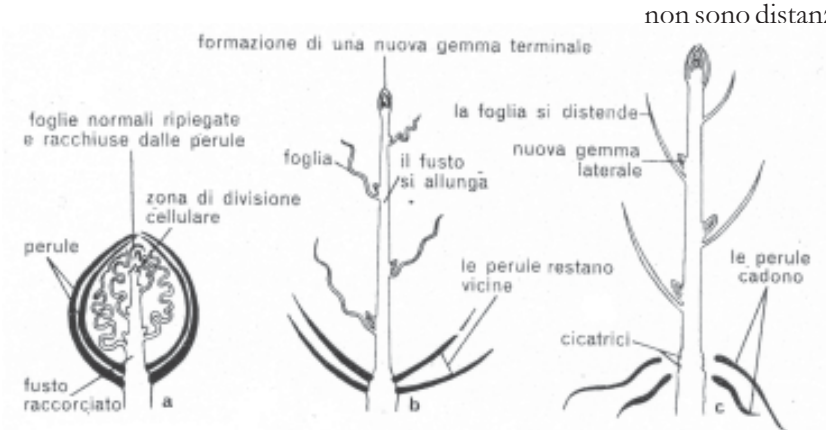


Figura 6 Sviluppo di una gemma da D.G.Mackean (Idem)

segue. Le cellule situate alla base del picciolo si dividono e formano alcuni strati di cellule nella zona di attacco del picciolo al caule. In seguito gli strati più interni di questo nuovo tessuto si suberificano e i vasi si otturano impedendo così all'acqua di raggiungere la foglia. Prima che questo avvenga il contenuto cellulare si altera chimicamente (vedi i colori delle foglie in autunno) e i prodotti solubili sono assorbiti all'interno della pianta. Le cellule esterne allo strato del sughero degenerano e le foglie disseccate cadono lasciando sul caule una cicatrice in cui lo strato suberificato svolge una funzione protettiva contro l'ingresso di batteri e funghi.

Poiché normalmente ogni foglia porta una gemma all'ascella, sopra ogni cicatrice fogliare dovrebbe trovarsi una gemma laterale. All'inizio del risveglio primaverile, nella gemma terminale le squame protettive, che non sono distanziate, quando cadono lasciano cicatrici strette e ravvicinate visibili su tutta la circonferenza del fusticino. Esse contrassegnano la posizione della gemma terminale, mentre la distanza fra due di esse rappresenta l'accrescimento annuo del ramo che stiamo considerando (fig. 6).

TAPPA 5 La lunghezza del germoglio. In molte piante perenni legnose alcuni germogli hanno internodi relativamente lunghi e quindi foglie ben

distanziate le une rispetto alle altre. Altri germogli, portati dalla stessa pianta, crescono poco durante ogni stagione vegetativa e possiedono pochi internodi molto ridotti, hanno una sola gemma terminale e portano spesso spine, fiori e foglie; in molti casi la formazione dei fiori ha luogo solo su di essi (*Prunus*, *Malus*, Ginkgo). Si parla di *macroblasti* nel caso di germogli lunghi ai quali viene frequentemente attribuita capacità di esplorazione dell'ambiente, in quanto estendono la struttura della pianta verso nuovi territori. Al contrario i *brachiblasti* o germogli corti, portati dai macroblasti per tutta la loro lunghezza, sfruttano l'ambiente già esplorato ed emettono le foglie, anno dopo anno, nella stessa posizione (fig. 7).

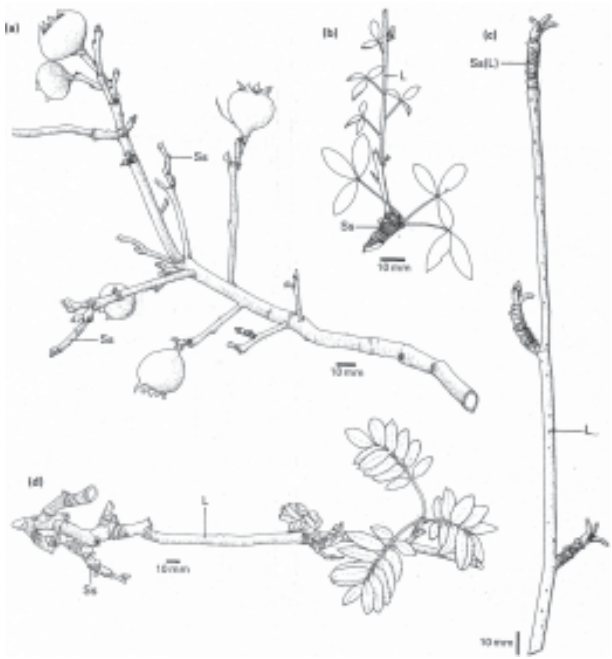


Figura 7 Esempi di compresenza di macroblasti e brachiblasti: a) *Mespilus germanica* b) *Laburnocytisus adamii* c) *Sorbus spp.* L macroblasto, Ss brachiblasto, Ss (L) macroblasto che diviene brachiblasto da A. Bell (Idem)

TAPPA 6 Gemme e foglie sono in stretta relazione spaziale su una pianta.

Come ho avuto modo di dire (1, 2) la pianta è costituita da *n* unità ripetitive, ognuna delle quali è composta, dal punto di vista morfologico, da un nodo, dalla foglia in esso inserita, dalla gemma sottesa da quest'ultima e da una parte di internodo (il *metamero*) (fig. 8). Dalla osservazione della sequenza dei punti d'inserzione delle foglie sul fusto, si vede che esse si dispongono secondo delle regole costanti per ogni specie vegetale, tanto da assumere, in numerosi casi, un valore diagnostico.

La disposizione delle foglie condiziona sia la captazione della luce sia, fatto più significativo per il tema che sto affrontando, la posizione delle gemme ascellari ad esse sottese. E' proprio questo secondo ruolo ad assumere un significato importante nella determinazione del modello di ramificazione di una pianta con particolare riferimento alle specie perenni legnose. Nel

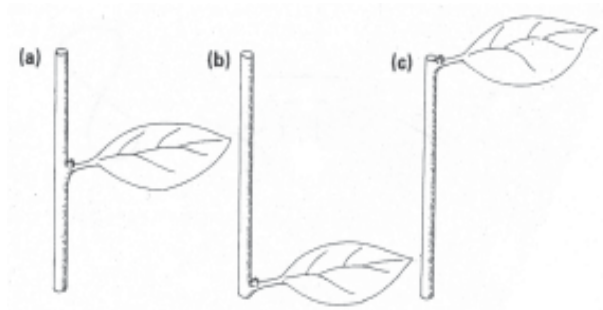


Figura 8 Rappresentazioni alternative possibili di un metamero da A. Bell (Idem)

modello della ramificazione il primo punto da considerare riguarda la direzione della crescita del germoglio. Il germoglio può svilupparsi in direzione verticale, *crescita ortotropa*, o può allontanarsi dalla verticalità e tende ad essere orizzontale, crescita plagiotropa. Le potenzialità di un germoglio, intese in termini di plagiotropia e ortotropia, possono rappresentare un aspetto cruciale nel condizionare la forma dell'organismo intero e possono essere apprezzate in modo diretto quando queste due direzioni di crescita compaiono sulla stessa pianta presentandosi con morfologie contrastanti. Il bambù (*Phyllostachys*) possiede un rizoma plagiotropo ipogeo che porta foglie squamiformi. Le gemme all'ascella di tali foglie si sviluppano per lo più dando germogli ortotropi ramificati muniti, eccetto che alla base, di nomofilli (foglie normali fotosintetizzanti) e capaci di produrre fiori.

TAPPA 7 Ramo, tronco e la loro formazione.

Il termine ramo è un termine impreciso. In genere indica un asse di dimensioni minori che non arriva ad eguagliare le dimensioni del tronco sul quale è inserito. Lo schema strutturale di una pianta è basato sulla presenza di molte ramificazioni che si inseriscono sul tronco con angoli che differiscono da specie a specie e possono essere retto, acuto, ottuso. Il tipo di angolo di inserzione condiziona il portamento della pianta. Riporto come esempi il pioppo cipressino *Populus nigra* 'Italica' (fig. 9) dove i rami crescono verso l'alto formando uno strettissimo angolo acuto con il tronco e la farnia, *Quercus peduncolata*, con un tipico portamento espanso (l'angolo di inserzione è all'incirca retto) (fig. 10).

Lo sviluppo di un ramo o di un tronco, prescindendo dall'età e dalla grandezza, può avvenire in due modi diversi.

Si può sviluppare per crescita vegetativa di un meristema apicale che forma un germoglio unico o una singola unità di ramificazione. L'asse così formatosi è un *monopodio* e la sua struttura viene definita *monopodiale*. In alternativa l'asse può essere costituito da una serie lineare di unità di ramificazioni ognuna delle quali si sviluppa a partire da una gemma ascellare situata sulla unità precedente. L'intero asse costituisce un *simpodio*

Figura 9 Pioppo cipressino (spiegazione nel testo) da J. Simon (Idem)

Figura 10 Farnia (spiegazione nel testo) da J. Simon (Idem)

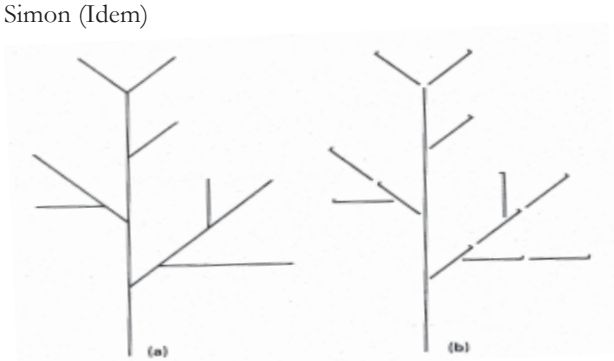


Figura 11 Ordine di ramificazione: a) sistema monopodiale, b) stessa disposizione fondamentale, ma con una struttura simpodiale da A. Bell (Idem)

e ogni membro della serie, che deriva da un meristema apicale, viene definito *unità simpodiale*. L'unità simpodiale è stata anche chiamata in lingua francese *article* (Prévost 1967), dal latino *articulus*, e vuol indicare una struttura articolata (fig. 11). Un ramo simpodiale è composto da una serie di unità simpodiali che possono essere indeterminate o determinate quando ognuna a tempo debito cessa di accrescersi e il suo meristema apicale dà origine ad una infiorescenza o ad un altro organo non meristematico. Tali unità simpodiali costituiscono gli elementi strutturali di molte piante e rappresentano una delle caratteristiche più rilevanti per la definizione dei modelli architettonici.

Modelli di sviluppo delle specie arboree

L'osservazione di una pianta deve essere protratta nel tempo! Questa raccomandazione, forse un poco ovvia, ha lo scopo di mettere in evidenza un altro compito della morfologia vegetale che è quello inerente la morfologia dello sviluppo. Quando ci occupiamo della descrizione della radice, del fusto, del fiore, della *plantula* ecc. riduciamo il nostro campo di studio ad osservazioni che danno una visione frammentaria e poco armonica della specie in esame. Ora se questi stessi organi, una volta analizzati, li consideriamo come soggetti a crescita prolungata nel tempo, la pianta, che è da questi costituita, si deve considerare come *organismo dinamico*. Più sopra ho scritto che una pianta è strutturalmente costituita da molti germogli che si

accumulano in maniera progressiva. Ogni germoglio rientra a pieno titolo nella categoria delle unità di ramificazione e deriva da un meristema apicale.
I germogli sono capaci di crescita più o meno indefinita, nel qual caso si tratta di un monopodio, oppure i germogli sono disposti in serie, e allora si tratta di unità simpodiali (fig. 12).
In specie vegetali diverse si riscontrano varie combinazioni di queste componenti che sono state indagate e modellizzate in dettaglio. Questo studio ha riguardato inizialmente gli alberi tropicali, solo più tardi sono stati considerati gli alberi delle regioni temperate. La conclusione a cui i morfologi vegetali sono giunti è che esistono dei modelli architettonici peculiari da specie a specie, manifestamente riconoscibili.
Nel 1970 due studiosi, Hallé e Oldeman, hanno proposto ventiquattro modelli architettonici diversi relativi agli alberi tropicali. Ad ogni modello è stato dato il nome di uno scienziato invece che quello di una specie arborea tipica, in quanto questa potrebbe non risultare familiare agli studiosi di tutto il mondo. Ogni modello è caratterizzato da una particolare sequenza di sviluppo della ramificazione. Il fatto significativo è che questa serie limitata di modelli è sufficiente a descrivere le

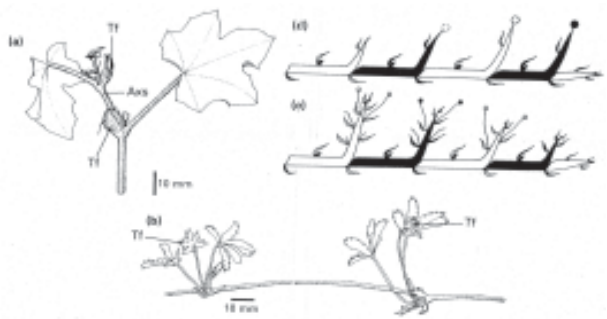


Figura 12 Esempi di crescita simpodiale : a) *Fremontodendron californica*, terminazione di un germoglio simpodiale; b*) Potentilla reptans* stolone epigeo simpodiale; c) crescita simpodiale per sostituzione (le unità simpodiali vengono evidenziate alternativamente in bianco e nero); d) crescita simpodiale per opposizione da A. Bell (Idem)

molte centinaia di specie arboree studiate da quando sono stati presentati al mondo scientifico per la prima volta.Le varie sequenze di ramificazione degli alberi sono, di conseguenza, legate all'uno o all'altro modello di sviluppo di questa serie relativamente piccola. La ramificazione di un giovane albero, che è conforme al suo modello può essere incrementata e variata in modi diversi in una fase più tardiva.
I diversi modelli si distinguono per la presenza di uno o più degli elementi caratteristici che di seguito elenco brevemente, come tronco monopodiale, tronco simpodiale, tronco a crescita continua, tronco a crescita ritmica, rami ortotropi, rami plagiotropi, rami simpodiali e unità simpodiali indeterminate, fiori terminali, fiori laterali ecc. Riporto di seguito (fig.13 e fig.14) l'esempio del modello architettonico della specie *Paulownia tomentosa***.** Questa essenza in età giovanile segue il modello di Fagerlind caratterizzato da tronco monopodiale, accrescimento ritmico, rami composti da unità simpodiali determinate. In età adulta evolve nel modello di Scarrone che presenta tronco monopodiale, accrescimento ritmico, rami ortotropi simpodiali. .

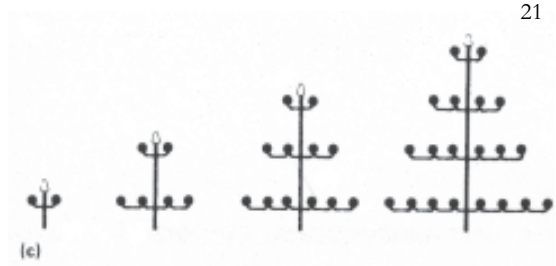


Figura 13 Paulonia (*Paulownia tormentosa)* c) modello di crescita di Fagerlind; f) modello di crescita di Scarrone (vedi spiegazione nel testo) da A. Bell (Idem)

Figura 14 Paulonia (*Paulownia tomentosa*) da JacquesSimon (Idem)

Fabrizia Gianni

Note

(1) *L'organismo vegetale: come imparare a conoscerlo facendolo a pezzi (prima parte)* NATURALMENTE anno 17 n. 3, Dicembre 2004
(2) *La pianta: riproduzione e morte degli organismi modulari(seconda parte*) Naturalmente anno 18 n.1 gennaio 2005

Riferimenti Bibliografici

Adriano Bell *La forma delle piante Guida illustrata alla morfologia delle Angiosperme* Zanichelli, 1998
Michael Begon, John L. Harper, Colin R. Townsend *Ecologia Individui, Popolazioni, Comunità* Zanichelli, 2000
Anthony Huxley *Il pianeta delle piante* Arnoldo Mondadori Editore, 1975
Robert E. Ricklefs, Caleb E. Finch *L'Invecchiamento Una storia naturale* NCS25 Zanichelli, 2002
Cesare Leopardi, Franca Stagi *L'architettura degli alberi* Mazzotta N&C 1983
Francesca Venturelli, Laura Virli *Invito alla Botanica con esercitazioni di laboratorio* Zanichelli, 1999

Gazebo

Architettura dell'albero: come variano i modelli architettonici e loro utilità (quarta parte)

Fabrizia Gianni

Sintesi delle parti precedenti

Nel primo articolo (1) ho mostrato come sia possibile studiare le piante scomponendole in unità simili. L'accumulo progressivo di queste ultime determina nell'organismo pianta un programma di sviluppo altamente imprevedibile, condizionato dall'informazione genetica che interagisce con l'ambiente.

Un organismo così strutturato è definito dai morfologi vegetali un *organismo modulare ramificato*. Nel secondo articolo (2) ho analizzato il modo di riprodursi e di morire degli organismi modulari. In questo caso i processi vitali della nascita, della senescenza e della morte si svolgono sia a livello dell'intero organismo, sia a livello della singola parte e la morte di un individuo non è più attribuibile ad una forma di senescenza programmata, ma a cause molto diverse, come per esempio alle eccessive dimensioni raggiunte per l'accumulo di tessuti morti.

Nel terzo articolo (3) ho proposto un percorso a tappe per illustrare gli eventi che caratterizzano la crescita del sistema pianta inteso come *sistema complesso ramificato*. Tutti gli eventi sono chiaramente riscontrabili sull'albero in esame, ma il punto più interessante al quale si giunge è quello di scoprire che, indipendentemente dalla storia che è unica per ogni albero, esistono alcune serie di regole che codificano le sequenze di ramificazione di ogni specie. L'insieme di queste regole porta ad elaborare dei *modelli architettonici*, (in tutto attualmente sono ventiquattro) che permettono una descrizione ragionata di alcune centinaia di specie vegetali.

Fig.1Salice piangente (*Salix babylonica*) portamento da Jacques Simon *L'arte di conoscere gli alberi*

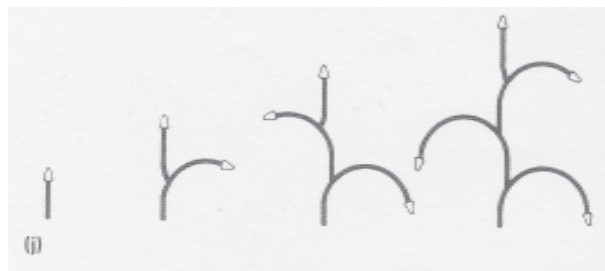


Fig. 2 Salice piangente (*Salix babylonica*), modello di Champagnat con tronco ortotropo simpodiale, la porzione distale di ogni unità simpodiale si sviluppa lateralmente e si ripiega per azione del proprio peso da A. Bell (Idem)

Alcune considerazioni sui *modelli architettonici*

La tassonomia vegetale si basa, di prassi, sulla conoscenza molto approfondita della morfologia descrittiva, ma pone in secondo piano la morfologia dello sviluppo della pianta. Lo studio delle sequenze di ramificazione ristabilisce un certo equilibrio e pone al centro dell'analisi la pianta come entità dinamica.

Un errore di metodo porta a collegare mentalmente un modello ad una sola immagine, ma nel concetto di modello è pregnante l'aspetto dinamico. Per cui, quando si pensa ad un modello di una specie vegetale più o meno conosciuta, bisogna rifarsi non ad una sola immagine, ma ad una sequenza di immagini che illustrano nel tempo il suo sviluppo (Fig. 1 e Fig. 2).

La descrizione degli organi isolati, per quanto possa essere puntuale, impedisce di apprezzare il vero significato dell'aumento di complessità sia delle singole parti sia dell'intero organismo.

Riprendendo il discorso sui modelli architettonici (3), trovo sorprendente e affascinante l'esistenza di regole che codificano i ventiquattro modelli architettonici proposti da Hallé e Oldeman (1978), ma penso sia opportuno fare alcune considerazioni di carattere generale.

La prima fra tutte è quella che evidenzia come la lista dei modelli sia destinata ad allungarsi. Infatti è prevedibile che altri modelli, non presenti attualmente tra quelli di cui è stata accertata l'esistenza, verranno identificati in futuro. Nel 1970 i due studiosi Hallé e

Oldeman avevano previsto, per esempio, l'esistenza di alcune sequenze di crescita che non avevano osservato nella realtà.
Un loro modello teorico, caratterizzato da un tronco monopodiale, da accrescimento continuo con rami ortotropi simpodiali, ora è identificato con il modello architettonico di Stone (Fig. 3).

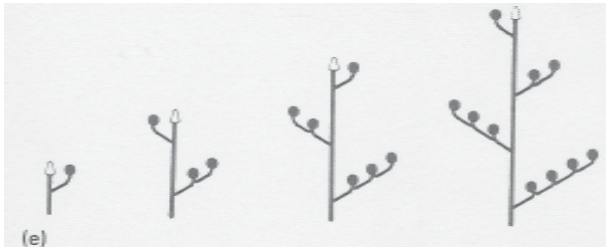


Fig.3 Modello di Stone (vedi spiegazione nel testo) da A. Bell (Idem)

La seconda considerazione focalizza l'attenzione su quali specie vegetali sono stati condotti inizialmente gli studi. I modelli proposti hanno riguardato dapprima gli alberi tropicali, poi gli studiosi hanno allargato il loro campo di studio anche agli alberi delle zone temperate e le conclusioni raggiunte ci dicono che specie lontane dal punto di vista tassonomico e che vivono in ambienti molto diversi tra loro (alberi tropicali e alberi delle zone temperate), si attengono ad una delle ventiquattro sequenze di ramificazione elencate da Hallé *et al* (1978).
La terza considerazione riguarda il valore transeunte delle sequenze di ramificazione, almeno per quanto riguarda gli aspetti più rigidi della loro codificazione. Il rispetto delle regole che definiscono un modello si verifica negli stadi iniziali di crescita; in seguito, durante la fase adulta e di maturità della pianta, si possono verificare delle condizioni che modificano la struttura iniziale portando a delle nuove sequenze di ramificazione. Tra le cause principali delle variazione dei modelli, sono da annoverare le condizioni ambientali con le quali la pianta deve quotidianamente confrontarsi.
Alcuni esempi possono chiarire quanto ho sopra scritto. Il corbezzolo (*Arbutus*) posto in pieno sole si sviluppa secondo il modello di Leeuwemberg, modello caratterizzato da una sequenza di ramificazione simpodiale, dove ogni unità simpodiale porta alla sua estremità distale più unità simili. La stessa pianta, quando cresce all'ombra, presenta un tronco monopodiale in accordo col modello di Scarrone (Fig. 4).
Un esempio di variazione del modello più complessa si può osservare in due specie vegetali molto lontane tassonomicamente tra loro come l'acero montano, l'*Acer pseudoplatanus* (famiglia *Aceraceae*) e l'albero tropicale *Isertia coccinea* (famiglia *Rubiaceae*). Entrambe le specie iniziano col modello di Rauh (tronco monopodiale, accrescimento ritmico, rami monopodiali ortotropi) si trasformano in quello di Scarrone (tronco monopodiale, accrescimento ritmico, rami ortotropi e

Fig.4 *Arbutus* in pieno sole, modello di Leeuwenberg (g); *Arbutus* in ombra modello di Scarrone (h) da A. Bell (Idem)

simpodiali) e finiscono conformandosi a quello di Leeuwemberg (sequenza di ramificazione simpodiale, dove ogni unità simpodiale porta alla sua estremità distale più unità simili) (Fig. 5). La durata di queste fasi dipende dalle condizioni ambientali e soprattutto dal grado di ombreggiamento a cui la pianta è sottoposta.

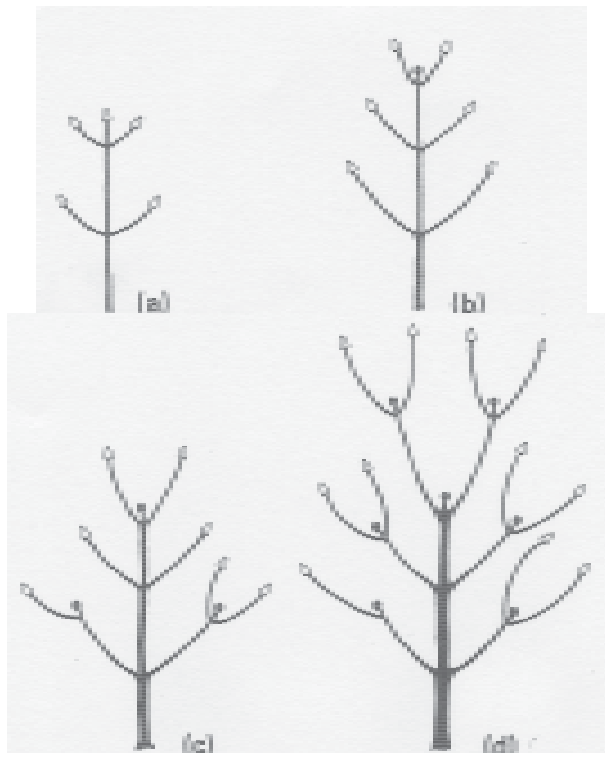


Fig.5 Albero il cui sviluppo inizia con il modello di Rauh a), procede secondo quello di Scarrone b) e c) e passa infine a quello di Leeuwenberg d) da A. Bell (Idem)

Variazione del modello: *reiterazione*

I morfologi vegetali indicano con il termine *reiterazione* la ripetizione, nella pianta adulta, della stessa sequenza di sviluppo che si verifica a partire dalla plantula.
Ho avuto modo di scrivere (3) che la pianta, da un punto di vista strutturale, è costituita da numerose gemme che si accumulano in maniera progressiva e che il compito delle gemme consiste nel produrre tutte le nuove componenti che entrano nello schema della pianta.
In un albero, che diviene via via più complesso, è probabile che molte gemme ascellari non si sviluppino secondo il modello, ma rimangano dormienti sui rami

e sul tronco fino a quando un danno nella struttura della pianta o nuove condizioni favorevoli non inducano alcune gemme dormienti ad iniziare lo sviluppo. Indipendentemente dalle cause, il sistema di ramificazione che deriva dalla attivazione delle gemme ripete, con maggiore o minore precisione, la stessa sequenza di sviluppo espressa nella crescita a partire dalla plantula.

Questa modalità di crescita che ripete il modello architettonico presentato dalla pianta madre è considerata una reiterazione (Oldeman, 1974).

In risposta a condizioni favorevoli si sviluppa una *reiterazione adattativa*, se invece è indotta da un danno si parla di una *reiterazione traumatica*. In genere la reiterazione è totale e dà origine ad un grosso ramo. Nel caso in cui un cambiamento delle condizioni ambientali influenzi solo una parte dell'albero (per es. eccessiva illuminazione) può prodursi una *reiterazione parziale* che ripete le caratteristiche del modello proprie di un ramo piuttosto che del complesso del tronco o dei rami.

Tra le cause che possono condurre al fenomeno della reiterazione si può aggiungere il processo di *dedifferenziazione*.

Per cause dipendenti dalle condizioni ambientali, il meristema apicale del germoglio di un ramo cambia la propria potenzialità e, invece di continuare a crescere in direzione orizzontale, inizia ad accrescersi in direzione verticale mostrando le caratteristiche morfologiche proprie di un germoglio ortrotropo. Questo tipo di cambiamento si può verificare, in modo progressivo, anche in una serie di rami. Dagli studi condotti in questo campo si è visto che la capacità di reiterazione varia da specie a specie: può mancare del tutto oppure essere presente solo dopo il danneggiamento. Si è constatato comunque che la maggioranza delle specie è capace sia di reiterazione traumatica che di reiterazione adattativa. Bisogna tenere presente che, in generale, più gli alberi sono vecchi, più le singole reiterazioni che compaiono nella chioma hanno dimensioni ridotte e risultano rappresentazioni molto impoverite del modello.

Per concludere, è da tenere presente che le reiterazioni sono eventi architettonici non prevedibili, conseguenza di altrettanto imprevedibili variazioni delle condizioni ambientali.

L'osservazione *in situ* di reiterazioni in una pianta non è facile. Come esperienza personale consiglio di iniziare ad osservare le sequenze di ramificazione nelle piante sottoposte a drastiche potature, specie in quelle delle alberature cittadine. E' uno degli esempi più eclatanti di reiterazione traumatica che permette di comprendere cosa significhi la ripetizione di un modello (Fig.6 e Fig.7)

Fig.6 *Platanus orientalis* da A. Bell (Idem) Manipolazione dello schema di ramificazione dovuta a potatura. E' un esempio di reiterazione traumatica

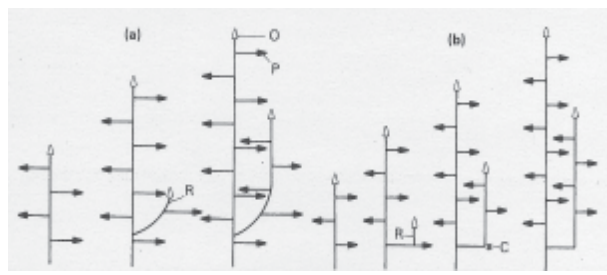


Fig.7 Forme di reiterazione. a) reiterazione adattativa a partire da una gemma del tronco; b) reiterazione adattativa a partire da una gemma di un ramo da A. Bell (Idem)

Variazione di un modello: *metamorfosi*

I morfologi vegetali indicano con il termine *metamorfosi* il mutamento di potenzialità di un ramo che passa da una disposizione generalmente plagiotropa ad una generalmente ortotropa.

Fino a questo momento ho analizzato la forma di una pianta considerando le sequenze di ramificazione che codificano i modelli architettonici, poi ho analizzato la ripetizione dei modelli come conseguenza del fenomeno della reiterazione. Nella vita di una pianta si può verificare anche un evento che riguarda il mutamento di direzione di crescita di un ramo.

Un criterio di distinzione che ripetutamente si introduce nello studio dei modelli è quello tra crescita ortotro-

pa e crescita plagiotropa. Per identificare queste condizioni non è sufficiente osservare se la crescita sia verticale o orizzontale, in quanto entrambe possono essere mascherate da un *riorientamento* dei rami causato dal peso o dal fenomeno della metamorfosi (Hallé e Ng. 1981; Edelin, 1984, 1990).

Come già per il fenomeno della reiterazione, la metamorfosi è presente in alcune specie vegetali, in altre manca del tutto, in altre ancora si manifesta in modo diffuso e in altre, infine, deve essere ancora studiato. In ogni caso consiste in un cambiamento di potenzialità del meristema apicale della gemma terminale e delle gemme situate lungo il tronco. Le cause sono da ricercare in qualche tipo di controllo interno non ancora ben definito.

Consideriamo un albero e le sue ramificazioni, osserviamo con attenzione l'angolo di inserzione dei rami sul tronco. In alcuni casi si vede che ad un ramo plagiotropo (angolo retto) segue in posizione superiore un ramo ortotropo (angolo acuto). Può esistere una zona di transizione in cui ogni ramo è plagiotropo nella parte prossimale al tronco e possiede un'estremità distale ortotropa.

In alternativa i rami successivi, andando verso la parte sommitale della pianta, mostrano una perdita graduale dei caratteri morfologici legati alla plagiotropia ed un guadagno corrispondente di caratteri ortotropi.

Le componenti ortotrope che derivano dalla metamorfosi possono presentare, in alcuni casi, tutte le potenzialità proprie al modello di partenza e rappresentano quindi dei fenomeni di reiterazione dando origine a complessi di reiterazione.

La metamorfosi può interessare l'albero con diversa intensità: ad es. possono essere interessati al fenomeno tutti i rami attaccati direttamente al tronco eccetto quelli più vecchi e posti in posizione più bassa (Fig. 8).

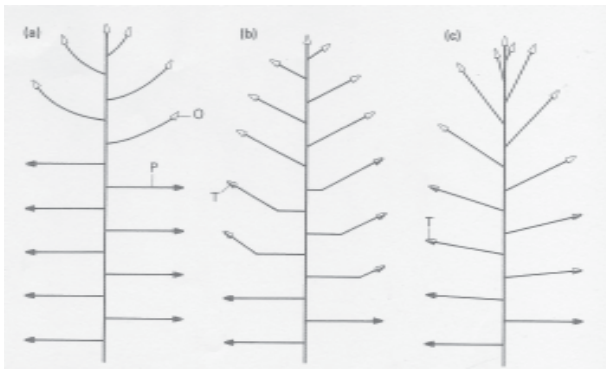


Fig.8 Forme di metamorfosi a) b) c). O: germoglio ortotropo, P: ramo plagiotropo, T: ramo della zona di transizione da A. Bell (Idem)

Variazione del modello: *intercalazione*

I morfologi vegetali indicano con il termine *intercalazione* le sequenze di ramificazione che si intercalano tra la zona 1 e la zona 3 durante l'aumento di complessità di un albero.

Come ho già avuto modo di dire (3) un albero può idealmente essere suddiviso in tre zone. La *zona 1* che corrisponde la tronco, la *zona 3* che corrisponde alla parte più distale della chioma e, compresa fra le due zone, la *zona 2* che riempie lo spazio tra la zona 1 e 3. Il processo di intercalazione consiste appunto nel riempimento della zona 2 (Edelin, 1984) durante l'aumento di complessità di un albero attraverso ben definite sequenze di ramificazione. Il riempimento è necessario per raggiungere le strutture periferiche, le foglie, che vengono a trovarsi ad una distanza sempre maggiore dal tronco.

Lo schema (Fig. 9) rappresenta un giovane albero strettamente conforme al modello di Roux, così da possedere un tronco monopodiale ortotropo e rami monopodiali plagiotropi. In uno stadio di sviluppo successivo i nuovi rami prodotti sono obliqui per il processo di metamorfosi e sono intercalati tra la zona 1 e 3. I rami al margine della chioma sono ancora plagiotropi. Questo processo si spinge sempre più oltre lungo il tronco così che un numero sempre maggiore di ordine di rami risulta intercalato tra il tronco e la periferia. Questo processo non è indefinito.

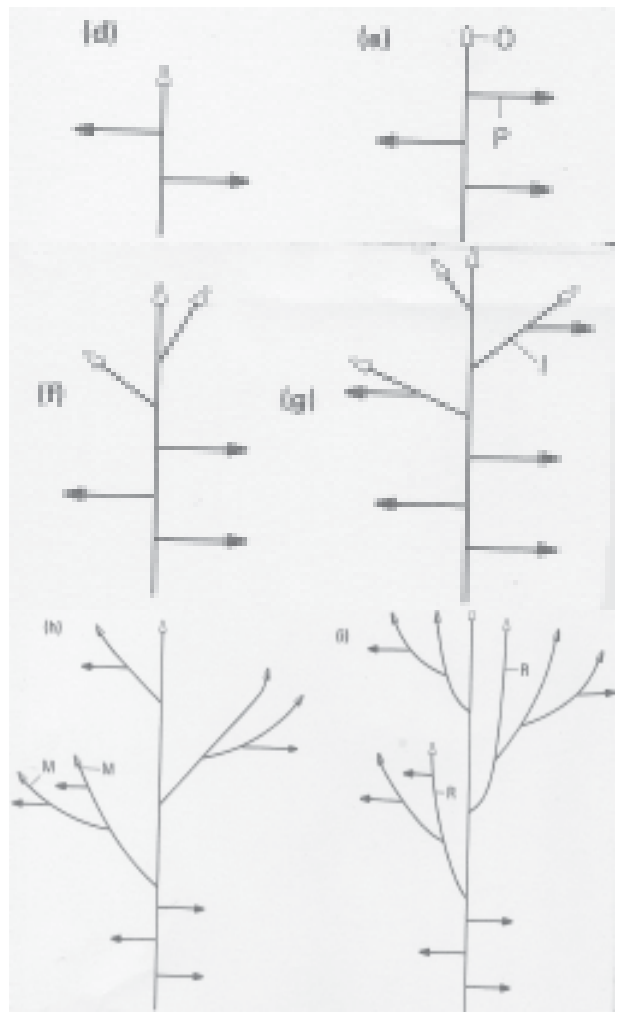


Fig. 9 Processo di intercalazione. I: intercalazione, M: metamorfosi, O: germoglio ortotropo, R: reiterazione da A. Bell (Idem)

Come apprezzare la morfologia di una pianta

Il punto di partenza per una analisi della forma di una pianta è quello di considerare la struttura che vediamo non fissa, ma in continua trasformazione per l'aggiunta di nuove componenti e la perdita di altre.

Gli aspetti dinamici che coinvolgono la vita della pianta possono essere letti da due punti di vista. Un primo approccio valuta la sequenza degli eventi di sviluppo, un secondo approccio considera, come conseguenza della crescita, l'estensione della pianta nell'ambiente. Mi soffermo su questo secondo aspetto perché apre delle tematiche interessanti.

Per esempio, perché non provare a considerare l'estensione dei rami come un reale movimento della pianta alla ricerca di cibo? Arber (1950) propone un paragone tra piante ed animali e mette sullo stesso piano gli animali che si spostano alla ricerca di cibo e le piante che potenziano il loro apparato fotosintetico attraverso il controllo del processo di ramificazione.

In entrambi i casi gli organismi esplorano l'ambiente. E' concettualmente più difficile parlare di movimento nelle piante, ma se consideriamo per esempio le specie rizomatose che estendono le loro estremità distali e contemporaneamente provvedono alla distruzione delle estremità prossimali, ci rendiamo conto che questo comportamento può rientrare a pieno titolo in un efficiente spostamento di una pianta che ha risolto la ricerca del cibo lasciando il luogo della propria germinazione.

La stessa analisi può essere fatta per i germogli lunghi e per quelli corti portati da una pianta legnosa. In un albero i macroblasti sono considerati germogli finalizzati alla esplorazione dell'ambiente mentre i brachiblasti, da essi portati per tutta la loro lunghezza, sono germogli che sfruttano l'ambiente già esplorato (Fig.10).

Nel regno vegetale, come ho già avuto modo di scrivere, esiste una serie fissa di modelli di ramificazione riscontrabili in piante lontane tra loro dal punto di vista tassonomico. In molte piante il modello di ramificazione risulta preciso, di notevole regolarità geometrica e ben prevedibile, in altre non è riconoscibile alcun modello, nemmeno su base statistica. Quando si riscontra un modello che si ripete molto più frequentemente di altri, sorge spontanea la domanda del perché si verifichi questo ed è difficile astenersi dal formulare l'ipotesi che il modello in questione rappresenti un sistema efficiente.

Cosa vuol dire però efficiente? Con che criterio si può valutarne l'efficienza? Quali strumenti abbiamo in mano per fare questa analisi?

Ritorniamo alla nostra pianta e analizziamo la sua crescita. Le foglie che attuano la fotosintesi devono essere in piena luce e sono sorrette da nuovi tessuti. Il bilancio tra una produzione economica di tessuto meccanico di sostegno dei nuovi rami e una esposizione adeguata e funzionale di foglie fiori e radici può essere un criterio per valutare l'efficienza o meno di questo sistema. Ma la questione non è del tutto risolta, si è cercato di fare una analisi oggettiva, ma manca *la prova di controllo*. Infatti senza una sperimentazione controllata non è possibile stabilire che una particolare disposizione delle foglie, tenuta in posto da un certo modello di ramificazione, sia più funzionale ed efficiente di un'altra per esempio nell'intercettare i raggi luminosi, nel fornire superfici di raffreddamento, nel resistere al vento, nello scaricare la neve, nell'ombreggiare gli individui in competizione.

Il percorso proposto dai morfologi vegetali a questo punto è quello di considerare la *non* efficienza del modello in esame mettendolo a confronto con quello

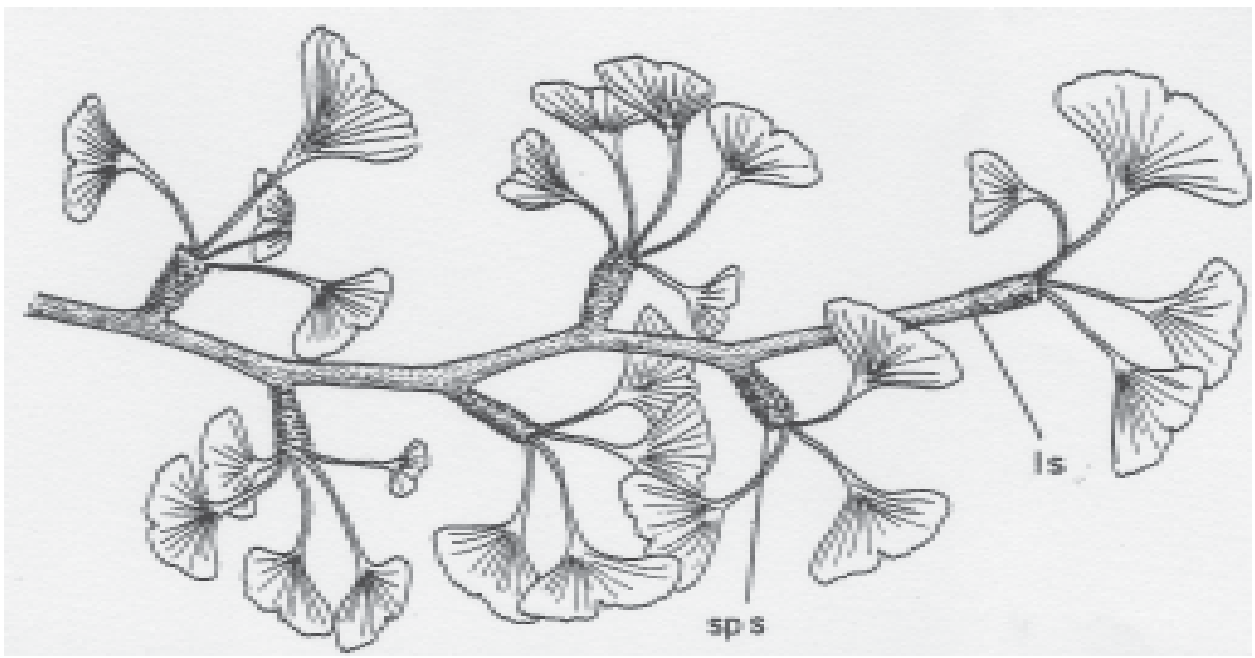


Fig.10 *Ginkgo biloba*: ls (*long shoot*) macroblasti; sp s *(spur shoot*) brachiblasti

reale. Probabilmente modelli inefficienti non esistono o non sono stati ancora individuati, ne consegue che una soluzione possibile è quella di utilizzare la simulazione grafica al calcolatore. Il modello reale può essere ricreato idealmente in perfetta coerenza con lo sviluppo di una pianta ed essere assoggettato a verifiche di efficienza in riferimento a qualsiasi fattore.

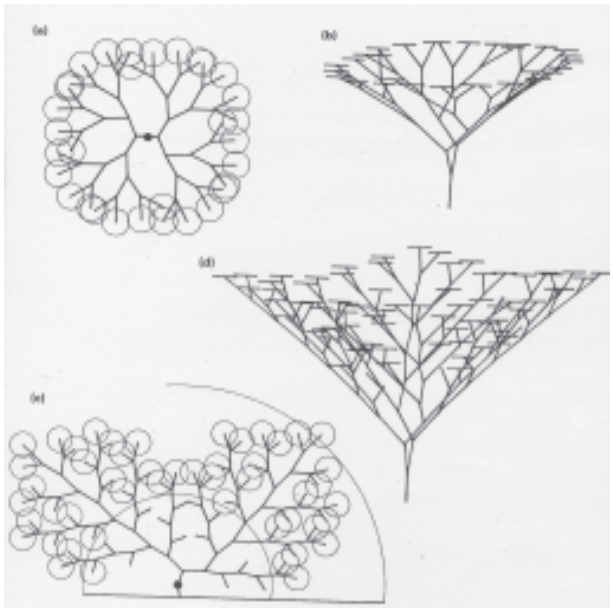


Fig.11 Simulazione al calcolatore di ramificazioni simmetriche e asimmetriche di *Tabebuia* (modello di Leeuwenberg), (vedi spiegazione nel testo) da A. Bell (Idem)

Riporto (Fig.11) la simulazione al calcolatore (ridisegnato da Borchert e Tomlinson nel 1984) di ramificazioni simmetriche e asimmetriche di *Tabebuia*: a) visione in proiezione orizzontale della disposizione delle foglie, ramificazione simmetrica (i cerchi rappresentano i verticilli di foglie); b) visione laterale dello schema presentato in (a); c) visione in proiezione orizzontale della disposizione delle foglie, ramificazione asimmetrica; d) visione laterale dello schema presentato in (c). Nella pianta giovane dello schema (a) le foglie sono confinate alla periferia della chioma. L'intervento del processo di ramificazione asimmetrica induce nelle piante più vecchie (c) una dispersione di foglie più uniforme. In seguito ha luogo il fenomeno della reiterazione che produce una serie addizionale di rami. La pianta mostra sequenze di ramificazione diverse.

Fabrizia Gianni

Note

(1) *L'organismo vegetale: come imparare a conoscerlo facendolo a pezzi* (prima parte) NATURALMENTE anno 17 n. 3, Dicembre 2004.

(2) *La pianta: riproduzione e morte degli organismi modulari* (seconda parte) NATURALMENTE anno 18 n.1 gennaio 2005

(3) *Un percorso a tappe: esistono regole per descrivere la crescita di un sistema ramificato complesso*? (terza parte) NATURALMENTE anno 18 n. 4 dicembre 2005

Riferimenti Bibliografici

Adriano Bell *La forma delle piante - Guida illustrata alla morfologia delle Angiosperme* Zanichelli, 1998

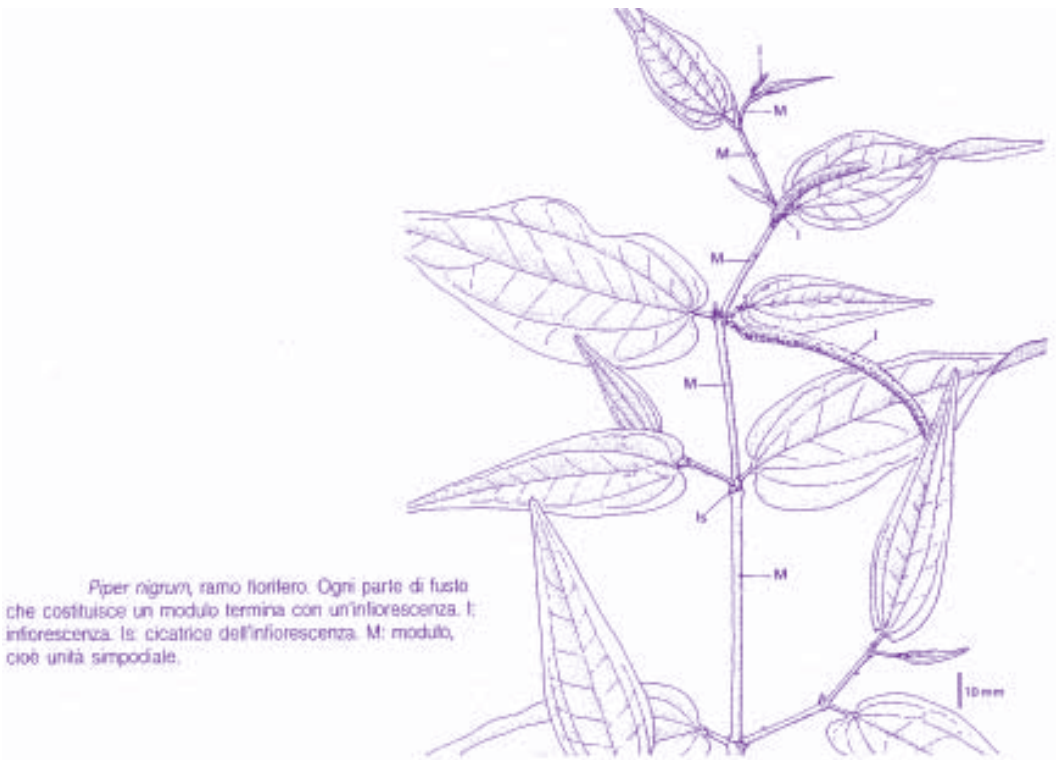
Michael Begon, John L. Harper, Colin R. Townsend *Ecologia - Individui, Popolazioni, Comunità* Zanichelli 2000

Anthony Huxley *Il pianeta delle piante* Arnoldo Mondadori Editore, 1975

Robert E. Ricklefs, Caleb E. Finch *L'Invecchiamento - Una storia naturale* NCS25, Zanichelli, 2002

Cesare Leonardi e Franca Stagi *L'architettura degli alberi*- Mazzotta N&C, 1983

Francesca Venturelli, Laura Virli *Invito alla Botanica con esercitazioni di laboratorio* Zanichelli, 1999



Piper nigrum, ramo fiorifero. Ogni parte di fusto che costituisce un modulo termina con un'infiorescenza. I: infiorescenza. Is: cicatrice dell'infiorescenza. M: modulo, cioè unità simpodiale.