CAPITOLO

# 13

# Il regno delle piante

*Un seme di quercia pesa pochi grammi e contiene già, ripiegata su sé stessa, la promessa di un albero di cent'anni.*

**OBIETTIVI**

1. Riconoscere i caratteri delle piante e gli adattamenti che hanno permesso la conquista della terraferma.
2. Descrivere l'alternanza di generazioni e confrontare i cicli vitali di briofite, pteridofite e spermatofite.
3. Riconoscere le parti di un fiore e spiegare impollinazione, doppia fecondazione e formazione di seme e frutto.
4. Distinguere monocotiledoni ed eudicotiledoni e descrivere struttura e funzioni di radice, fusto e foglia.
5. Spiegare il ruolo delle piante negli ecosistemi e per l'uomo, e progettare semplici esperimenti su semi e foglie.

**INDICE DEL CAPITOLO**


13.1 Che cosa sono le piante ..... 2
13.2 L'alternanza di generazioni e le briofite ..... 4
13.3 Le pteridofite: felci ed equiseti ..... 6
13.4 Le piante con seme: gimnosperme e angiosperme ..... 7
13.5 Gli organi della pianta: radice, fusto e foglia ..... 13
13.6 Le piante per gli ecosistemi e per l'uomo ..... 16

Scienze naturali 2 · Parte III · La diversità dei viventi · versione 1.0
Capitolo 13: Il regno delle piante · pagine 287–308 del volume completo · estratto per lo studio

Un albero in cortile, l'erba di un'aiuola, un ciuffo di muschio fra le pietre: le piante sono così comuni che rischiamo di non vederle più, eppure senza di loro quasi nessun altro essere vivente della terraferma potrebbe esistere. Producono la materia organica di cui si nutrono gli animali, liberano ossigeno, trattengono il suolo, ci danno cibo, legno e farmaci. In questo capitolo ripercorriamo la loro storia, dalla conquista delle terre emerse fino ai fiori, impariamo a leggere il loro ciclo vitale a due generazioni e osserviamo da vicino radici, fusti, foglie, fiori e semi.

## 13.1 Che cosa sono le piante

### 13.1.1 I caratteri delle piante

Le piante sono eucarioti pluricellulari e autotrofi: con la fotosintesi costruiscono le proprie molecole organiche a partire da diossido di carbonio e acqua, usando l'energia della luce (Capitolo 5). La fotosintesi avviene nei cloroplasti, che contengono due tipi di clorofilla, la *a* e la *b*. Le cellule vegetali hanno una parete di cellulosa e conservano le riserve di energia sotto forma di amido (Capitolo 3). Esistono poche eccezioni all'autotrofia: la cuscuta, per esempio, è una pianta parassita quasi priva di clorofilla, che si avvolge ai fusti di altre piante e ne succhia la linfa. Non sono piante, invece, i funghi: sono eterotrofi e hanno una parete di chitina (Capitolo 12).

### 13.1.2 Dalle alghe verdi alla terraferma

Le piante derivano da alghe verdi d'acqua dolce, simili alle attuali carofite. Ne sono prova gli stessi pigmenti fotosintetici, la stessa sostanza di riserva (l'amido), la parete di cellulosa e, soprattutto, il confronto fra le sequenze del DNA. Le prime tracce di piante terrestri sono spore fossili di circa 470 milioni di anni fa.

Un'alga immersa nell'acqua è sostenuta e bagnata da ogni lato, e i suoi gameti nuotano liberamente. Sulla terraferma, invece, l'aria secca disidrata i tessuti, il corpo deve reggersi da solo, l'acqua sta nel suolo mentre la luce arriva dall'alto, e i gameti non possono più nuotare. Le piante hanno risposto con una serie di adattamenti, comparsi in tempi successivi:

- la **cuticola**, uno strato ceroso e impermeabile che riveste le parti aeree e riduce la perdita d'acqua;
- gli stomi, le piccole aperture regolabili dell'epidermide che lasciano passare i gas nonostante la cuticola (li hai incontrati nel Capitolo 5); mancano nelle epatiche e nei muschi si trovano solo sulla capsula;
- l'embrione protetto: lo zigote si sviluppa dentro i tessuti della pianta madre, che lo nutre; per questo le piante si chiamano anche embriofite;
- spore con una parete resistente, capaci di sopportare l'aria secca e di viaggiare nel vento;

- i **tessuti conduttori**: lo **xilema**, che porta acqua e sali minerali dalle radici verso l'alto, e il **floema**, che distribuisce gli zuccheri prodotti dalle foglie; le pareti delle cellule dello xilema sono irrobustite dalla lignina, che permette anche di crescere in altezza;
- il seme e il polline, che rendono la riproduzione indipendente dall'acqua.

L'ordine in cui sono comparse queste innovazioni permette di distinguere i grandi gruppi di piante, dal più antico al più recente: briofite, pteridofite, gimnosperme e angiosperme (Figura 13.1). Gimnosperme e angiosperme, che producono semi, formano le **spermatofite**. Come ogni albero filogenetico (Capitolo 11), questo non è una scala verso piante "migliori": muschi e felci sono ben adattati ancora oggi al proprio ambiente.

**ERRORE FREQUENTE**

«Le alghe sono piante che vivono in acqua.» Non è così. Le alghe sono un insieme eterogeneo di protisti fotosintetici, unicellulari o pluricellulari (Capitolo 12): non formano un embrione protetto e non hanno tessuti conduttori. Le piante derivano da un gruppo di alghe verdi, ma non tutte le alghe sono loro parenti strette: le alghe brune, come le laminarie, appartengono a una linea evolutiva del tutto diversa.

Vale anche il contrario: la *Posidonia oceanica*, che forma praterie sottomarine lungo le coste del Mediterraneo, non è un'alga ma una vera pianta con radici, foglie, fiori e frutti, tornata a vivere in mare.

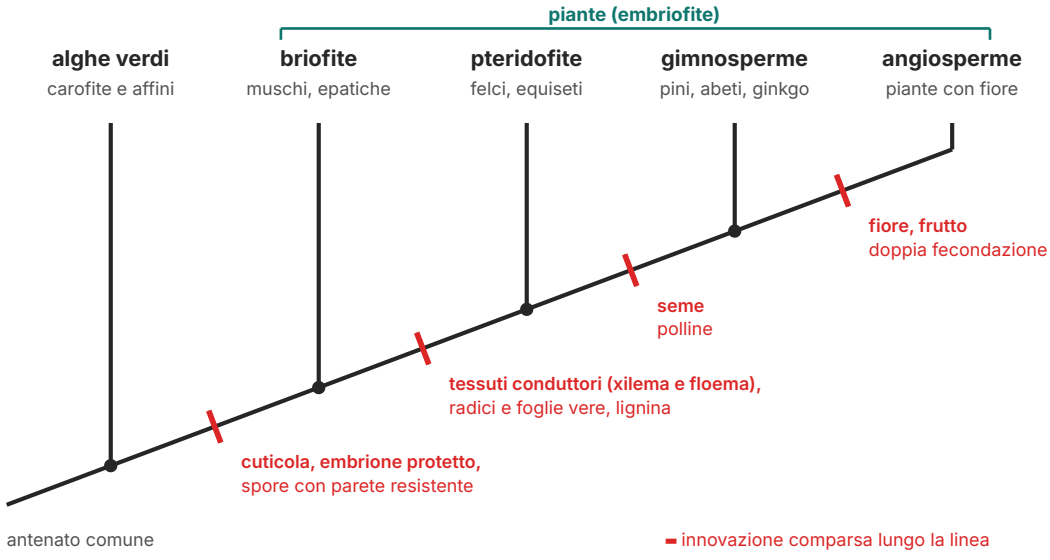



**Figura 13.1** I grandi gruppi di piante e le innovazioni comparse lungo la linea che porta alle angiosperme (schema semplificato). Ogni gruppo condivide tutte le innovazioni che si trovano sotto il suo ramo: le felci hanno tessuti conduttori ma non semi; i pini hanno semi ma non fiori.

## 13.2 L'alternanza di generazioni e le briofite

### 13.2.1 Un ciclo vitale con due generazioni

Nel Capitolo 6 abbiamo visto che nel ciclo vitale umano meiosi e fecondazione si alternano e che le uniche cellule aploidi sono i gameti. Nelle piante, invece, entrambe le fasi del ciclo formano un organismo pluricellulare. Si parla di **alternanza di generazioni**:

1. lo **sporofito** è la generazione diploide (2n); in strutture chiamate **sporangi** alcune sue cellule vanno incontro alla meiosi e producono spore aploidi (n);
2. ogni spora, senza unirsi a nessun'altra cellula, si divide per mitosi e forma il **gametofito**, la generazione aploide;
3. il gametofito produce i gameti per mitosi: le cellule uovo, o oosfere, e i gameti maschili;
4. la fecondazione unisce due gameti in uno zigote diploide, che per mitosi diventa un nuovo sporofito.

> **DA RICORDARE**
> Nelle piante la meiosi non produce gameti ma **spore**; i gameti si formano per **mitosi**, nel gametofito che è già aploide. Una spora e un gamete sono entrambi aploidi, ma si comportano in modo opposto: la spora si sviluppa da sola in un nuovo individuo, il gamete deve unirsi a un altro gamete.

Le due generazioni possono essere molto diverse. Si chiama dominante quella più grande e duratura: nelle briofite domina il gametofito, nelle felci lo sporofito, e nelle piante con seme il gametofito si riduce a poche cellule nascoste nel fiore o nel cono.

### 13.2.2 Le briofite: muschi ed epatiche

Le **briofite** comprendono i muschi e le epatiche. Non hanno tessuti conduttori lignificati né vere radici: si ancorano al substrato con sottili filamenti, i rizoidi, e assorbono acqua e sali da tutta la superficie. Senza un sistema di trasporto efficiente restano piccole, alte di solito pochi centimetri, e prosperano nei luoghi umidi e ombrosi: sottobosco, rocce, muri, cortecce. Molti muschi sopportano di seccarsi completamente e tornano attivi alla prima pioggia.

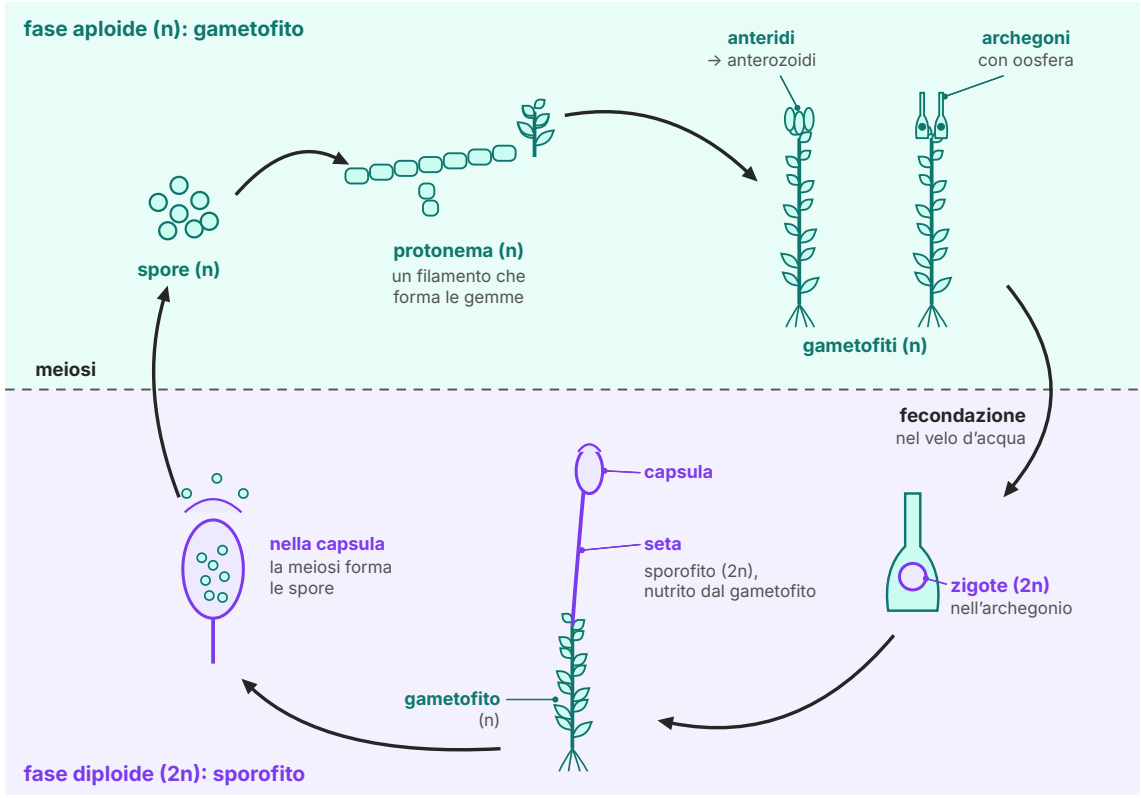



**Figura 13.2** Il ciclo vitale di un muschio (schema non in scala). In verde le strutture aploidi (n), in viola quelle diploidi (2n). La piantina verde è il gametofito; lo sporofito, formato da seta e capsula, cresce sopra di essa.

Il tappeto verde di un muschio è formato da gametofiti (Figura 13.2). All'apice di alcune piantine si trovano gli anteridi, che producono gameti maschili muniti di flagelli, gli anterozoidi; all'apice di altre, o delle stesse in certe specie, si trovano gli archegoni, piccoli organi a forma di fiasco che contengono ciascuno un'oosfera. Gli anterozoidi raggiungono l'oosfera nuotando in un velo d'acqua, di pioggia o di rugiada: senza acqua non c'è fecondazione. Dallo zigote cresce, sopra il gametofito, lo sporofito: un sottile filamento, la seta, che porta in cima una capsula. Lo sporofito resta attaccato al gametofito e ne dipende in gran parte per il nutrimento. Nella capsula la meiosi forma migliaia di spore, che il vento disperde; da ogni spora germina un filamento, il protonema, da cui spuntano nuove piantine.

Insieme ai licheni (Capitolo 12), i muschi sono spesso tra i primi colonizzatori della roccia nuda: trattengono acqua e polvere e preparano un primo suolo. Gli sfagni, muschi delle torbiere, trattengono molte volte il proprio peso in acqua; i loro resti, accumulati in ambienti poveri di ossigeno, formano la torba.

## 13.3 Le pteridofite: felci ed equiseti

Le **pteridofite** comprendono le felci e gli equiseti. Sono le prime piante, fra quelle che studiamo, dotate di tessuti conduttori, di vere radici, di fusti e di foglie. Lo xilema lignificato sostiene la pianta e porta l'acqua anche a qualche metro dal suolo: le felci arboree delle regioni tropicali possono raggiungere l'altezza di un albero. In Italia sono comuni la felce aquilina dei boschi e dei pascoli, il capelvenere dei muri umidi e l'equiseto dei campi, detto anche coda cavallina, con il fusto cavo, segmentato e ruvido per la silice.

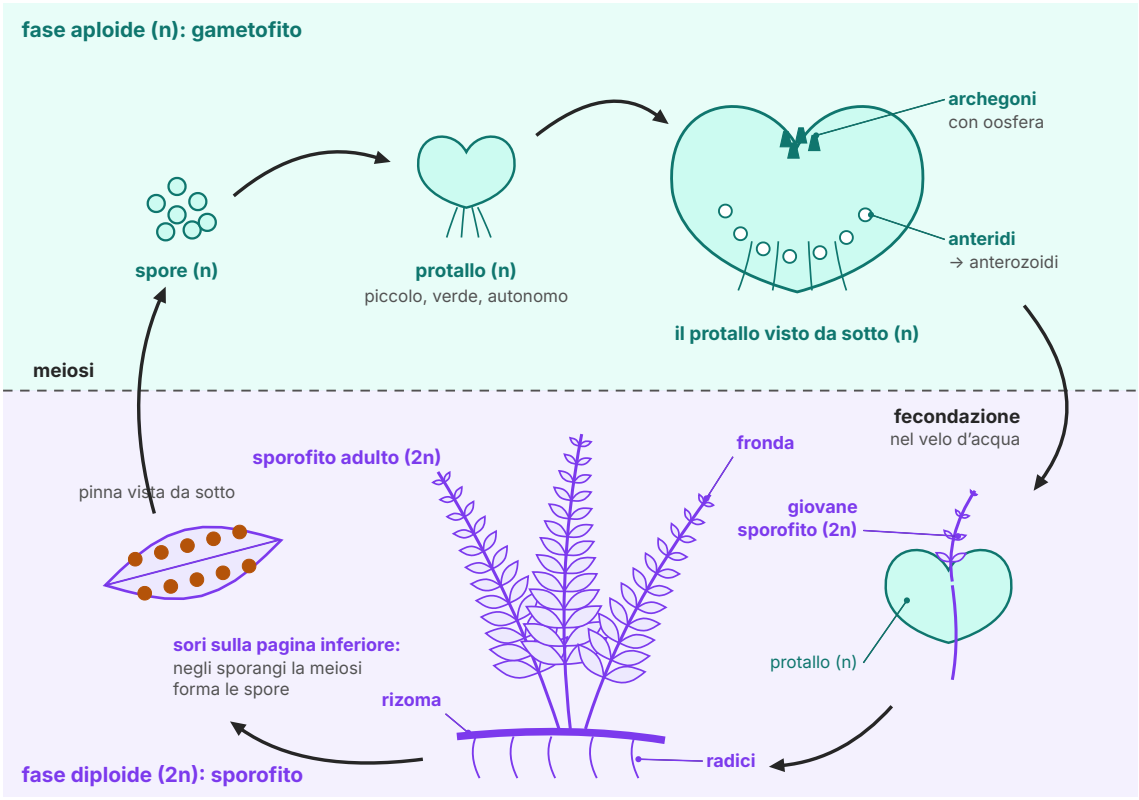



**Figura 13.3** Il ciclo vitale di una felce (schema non in scala). La pianta che conosciamo è lo sporofito (2n); il gametofito è il protallo (n), piccolo ma autonomo. Anche nelle felci la fecondazione richiede acqua.

Nelle felci la generazione dominante è lo sporofito (Figura 13.3). Di solito ha un fusto sotterraneo orizzontale, il rizoma, da cui partono le radici e le grandi foglie, chiamate fronde, che si srotolano a spirale quando crescono. Sulla pagina inferiore di molte fronde si vedono gruppi di puntini bruni: sono i sori, ciascuno formato da numerosi sporangi. Negli sporangi la meiosi produce le spore. Da una spora caduta su un terreno umido nasce il **protallo**, il gametofito: una laminetta verde a forma di cuore, lunga pochi millimetri, che fa la fotosintesi e vive per conto

proprio. Sulla sua pagina inferiore si formano anteridi e archegoni. Anche qui gli anterozoidi devono nuotare nell'acqua fino all'oosfera. Dallo zigote cresce un giovane sporofito, che all'inizio si nutre a spese del protallo; poi mette radici e fronde proprie, e il protallo muore.

### 13.3.1 Le foreste del Carbonifero

Fra circa 359 e 299 milioni di anni fa, nel periodo detto Carbonifero, vaste regioni paludose erano coperte da foreste di felci arboree, di equiseti giganti e di licopodi arborei, parenti giganti dei piccoli licopodi di oggi, alti decine di metri. Quando queste piante morivano, i loro resti finivano nell'acqua stagnante, povera di ossigeno, dove i decompositori li demolivano solo in parte. Sepolti da strati di sedimenti e modificati nel corso di milioni di anni dalla pressione e dal calore, si sono trasformati in carbon fossile, da cui il periodo prende il nome. Quando oggi bruciamo il carbone, restituiamo all'atmosfera come $CO_2$ il carbonio che quelle piante avevano fissato con la fotosintesi: è uno dei combustibili fossili responsabili dell'aumento dell'effetto serra, di cui hai parlato in *Scienze naturali 1*.

> **ERRORE FREQUENTE**
> I puntini marroni sotto le foglie delle felci non sono una malattia né insetti parassiti: sono i sori, che contengono gli sporangi. E le spore che ne escono non sono semi: sono cellule singole, senza embrione e senza riserve, che danno origine a un gametofito, non a una nuova felce.

## 13.4 Le piante con seme: gimnosperme e angiosperme

### 13.4.1 Due invenzioni decisive: il seme e il polline

Le spermatofite hanno conquistato anche gli ambienti più asciutti grazie a due strutture. Il **polline** è formato da granuli microscopici, ciascuno dei quali è un gametofito maschile ridotto a poche cellule, con una parete resistente. Il vento o gli animali lo trasportano fino alla parte femminile, dove il granulo forma un tubetto pollinico che cresce fino all'ovulo e vi porta i gameti maschili. Per la fecondazione, quindi, non serve più un velo d'acqua. Il **seme** si forma dall'ovulo fecondato e contiene un embrione, una riserva di nutrimento e un rivestimento protettivo, il tegumento. Al contrario di una spora, il seme è un individuo già "avviato": può restare inattivo per mesi o anni e germinare quando trova condizioni favorevoli.

### 13.4.2 Le gimnosperme

Le **gimnosperme** (dal greco, "semi nudi") portano gli ovuli scoperti, di solito sulle squame di strutture chiamate coni, o strobili: i semi non sono racchiusi in un frutto. Il gruppo più numeroso è quello delle conifere, come pino, abete, larice, cipresso e tasso; ne fa parte anche il ginkgo, un albero spesso piantato nei viali, unico superstite di un gruppo antichissimo. Le conifere

hanno di solito foglie aghiformi o a squama, rivestite da una cuticola spessa, che resistono al gelo e alla siccità; quasi tutte sono sempreverdi, ma il larice perde gli aghi in autunno.

Su un pino si trovano due tipi di coni. Quelli maschili sono piccoli e producono in primavera enormi quantità di polline, che il vento trasporta: l'impollinazione è anemofila. I coni femminili sono le pigne, che portano due ovuli su ogni squama. Fra l'impollinazione e la maturazione dei semi passa più di un anno; i semi maturi, spesso dotati di un'ala, vengono liberati quando le squame si aprono. I pinoli sono i semi del pino domestico.

### 13.4.3 Le angiosperme e il fiore

Le **angiosperme** ("semi in un contenitore") sono le piante con fiore. Comparse almeno 130 milioni di anni fa, oggi sono di gran lunga il gruppo più ricco di specie: dalle querce alle margherite, dal grano alle orchidee. Le loro novità sono il fiore, il frutto e la doppia fecondazione (Figura 13.1).

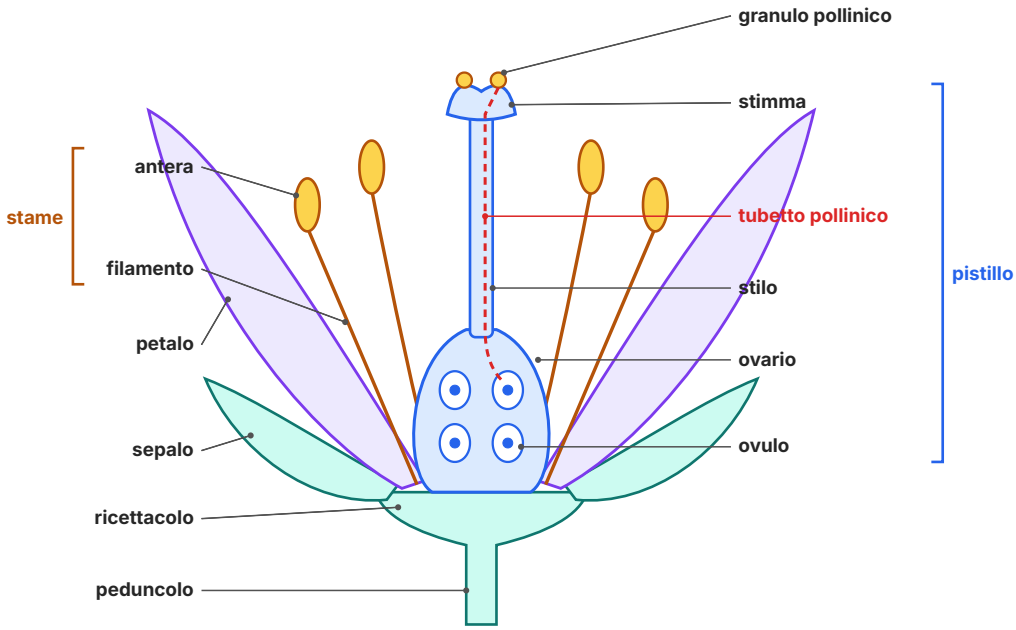



**Figura 13.4** Un fiore completo in sezione longitudinale (schema non in scala). Un granulo pollinico germinato sullo stimma ha formato il tubetto pollinico, che attraversa lo stilo e raggiunge un ovulo.

Il **fiore** è un germoglio specializzato per la riproduzione, formato da foglie modificate disposte in cerchi su un asse allargato, il ricettacolo (Figura 13.4). Dall'esterno verso l'interno troviamo: i sepali, di solito verdi, che proteggono il bocciolo e nel loro insieme formano il calice; i petali, spesso colorati, che formano la corolla e attirano gli impollinatori; gli **stami**, gli organi maschili, ciascuno formato da un filamento che regge l'antera, dove si forma il polline; al centro, il **pi-**

**stillo**, l'organo femminile, formato dallo stimma, che riceve il polline, dallo stilo e dall'ovario, che contiene gli ovuli. Non tutti i fiori sono completi: in alcune specie, come il mais e il nocciolo, esistono fiori solo maschili e fiori solo femminili.

APPROFONDIMENTO

**Approfondimento · Le piante hanno un sesso?** Fino alla fine del Seicento non era affatto ovvio che il polline servisse alla riproduzione. Nel 1694 il botanico tedesco Rudolf Jakob Camerarius descrisse, nella *De sexu plantarum epistola*, i suoi esperimenti con piante a fiori maschili e femminili separati, come la mercorella e il mais: i fiori femminili tenuti lontani dal polline non producevano semi fertili. Ne concluse che gli stami sono gli organi maschili e il pistillo quello femminile. Pochi decenni dopo Linneo basò la sua classificazione delle piante sul numero e sulla disposizione di stami e pistilli.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

### La dissezione di un fiore

**Obiettivo.** Riconoscere le parti di un fiore e stabilire se appartiene a una monocotiledone o a una eudicotiledone.

**Materiale.** Un giglio o un tulipano e un fiore di melo, di pesco o di geranio; pinzetta, bisturi, lente d'ingrandimento, foglio bianco, nastro adesivo trasparente; se possibile, microscopio e vetrini.

1. Conta sepali e petali (nel giglio e nel tulipano sono uguali fra loro e si chiamano tepali).
2. Stacca le parti dall'esterno verso l'interno e fissale in ordine sul foglio con il nastro adesivo. Conta gli stami.
3. Taglia l'ovario trasversalmente e osserva con la lente gli ovuli e le cavità che li contengono.
4. Strofina un'antera su un vetrino con una goccia d'acqua e osserva il polline al microscopio.

**Sicurezza.** Taglia appoggiando il fiore sul tavolo, con la lama lontana dalle dita. Chi è allergico al polline usi i guanti. Lavati le mani alla fine.

**Risultato atteso.** Nel giglio e nel tulipano si contano 6 tepali, 6 stami e un ovario diviso in 3 cavità: parti in multipli di 3, una monocotiledone. Nel melo, nel pesco o nel geranio si contano 5 sepali e 5 petali: una eudicotiledone.

**Domande.** Quale parte del fiore diventerà il frutto? Da che cosa si formeranno i semi?

## 13.4.4 Impollinazione e fecondazione

L'**impollinazione** è il trasporto del polline dall'antera allo stimma. Nell'impollinazione anemofila è il vento a trasportarlo: è il caso delle graminacee (grano, mais, erbe dei prati), del nocciolo, della betulla e dell'olivo. Queste piante hanno fiori piccoli, poco vistosi e senza profumo, stami sporgenti che producono moltissimo polline leggero e stimmi ampi e piumosi che lo cat-

turano. Nell'impollinazione entomofila il polline viaggia sul corpo di insetti come api, bombi, farfalle e mosche, attirati dai colori, dal profumo e dal nettare zuccherino dei fiori. Fiori e impollinatori si sono adattati gli uni agli altri nel corso dell'evoluzione: è un esempio di coevoluzione (Capitolo 10). Il polline può anche cadere sullo stimma dello stesso fiore, come nel pisello di Mendel: è l'autoimpollinazione (Capitolo 7).

**COLLEGAMENTI**

**Salute · Il polline e le allergie.** Le allergie stagionali al polline, o pollinosi, sono causate quasi sempre da piante anemofile: graminacee, parietaria, betulla, cipresso, olivo e, in alcune zone del Nord Italia, l'ambrosia, arrivata dall'America. Queste piante liberano nell'aria quantità enormi di polline, che finisce anche nel nostro naso e nei nostri occhi; le rose e le altre piante impollinate dagli insetti producono meno polline, pesante e appiccicoso. Poiché ogni specie fiorisce in un periodo diverso, le agenzie regionali per l'ambiente pubblicano bollettini pollinici settimanali.

Quando un granulo arriva su uno stimma della specie giusta, germina e il tubetto pollinico cresce dentro lo stilo fino a un ovulo. Il tubetto porta due cellule spermatiche, e nelle angiosperme entrambe partecipano alla fecondazione: è la **doppia fecondazione**. Una cellula spermatica feconda l'oosfera e forma lo zigote (2n), da cui si sviluppa l'embrione. L'altra si unisce a una grande cellula centrale dell'ovulo che contiene due nuclei aploidi: ne nasce una cellula triploide (3n), che moltiplicandosi forma l'**endosperma**, il tessuto di riserva che nutrirà l'embrione.

**ESEMPIO SVOLTO**

**Problema.** Nel mais il numero cromosomico è 2n = 20. Quanti cromosomi hanno una cellula di una foglia, l'oosfera, una cellula spermatica del tubetto pollinico, lo zigote e una cellula dell'endosperma?

**Ragionamento.** La pianta di mais è lo sporofito: le sue cellule sono diploidi, quindi una cellula della foglia ha 2n = 20 cromosomi. Oosfera e cellule spermatiche sono aploidi: n = 20 : 2 = 10 cromosomi ciascuna. Lo zigote nasce da oosfera + cellula spermatica: 10 + 10 = 20 cromosomi (2n). La cellula da cui deriva l'endosperma nasce da due nuclei aploidi della cellula centrale più una cellula spermatica: 10 + 10 + 10 = 30 cromosomi (3n).

**Risultato.** foglia 20; oosfera 10; cellula spermatica 10; zigote 20; endosperma 30.

### 13.4.5 Il seme e il frutto

Dopo la fecondazione l'ovulo si trasforma in seme (Figura 13.5). L'embrione è una piantina in miniatura: ha una radichetta, un fusticino, una piumetta che darà le prime foglie e uno o due **cotiledoni**, le prime foglie dell'embrione. Le riserve si trovano nell'endosperma oppure, come

nel fagiolo, sono state trasferite nei cotiledoni, che diventano grossi e carnosi. All'esterno il tegumento protegge il tutto.

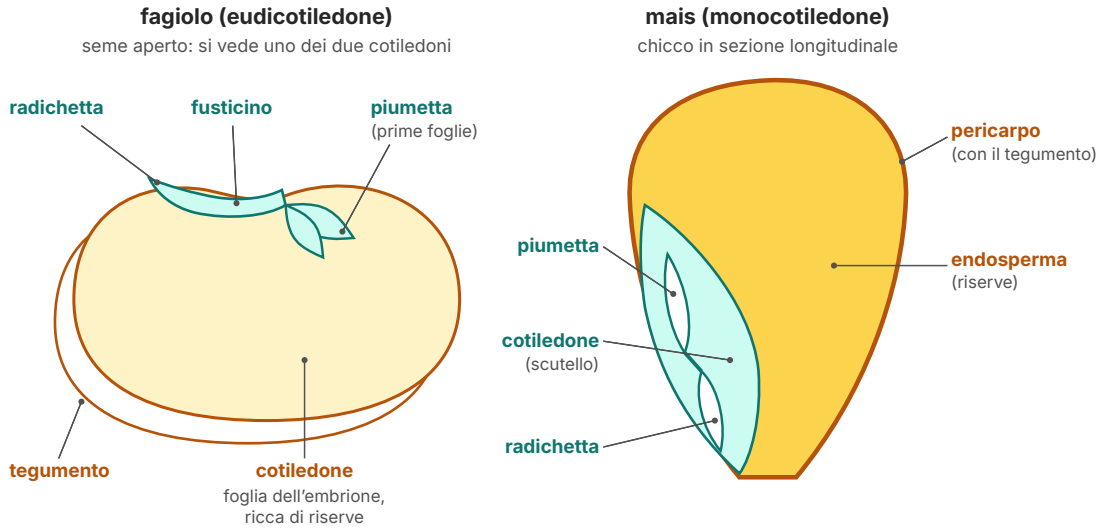



**Figura 13.5** Due semi a confronto (schema non in scala). Nel fagiolo le riserve sono nei due cotiledoni; nel mais si trovano nell'endosperma e l'unico cotiledone, lo scutello, le assorbe durante la germinazione. Il chicco di mais è in realtà un frutto, la cariosside, il cui sottile pericarpo è saldato al tegumento del seme.

Intanto la parete dell'ovario si accresce e diventa il **frutto**, che protegge i semi e ne favorisce la dispersione. I frutti carnosi, come ciliegie e more, sono mangiati dagli animali, che disperdono i semi con le feci; quelli del tarassaco, con un ciuffo di peli, e le samare alate dell'acero viaggiano con il vento; quelli della bardana si attaccano al pelo con piccoli uncini; il cocco galleggia e viaggia con le correnti. Talvolta al frutto partecipano anche altre parti del fiore: nella fragola la polpa rossa è il ricettacolo ingrossato, e i veri frutti sono i "semini" che porta in superficie.

Un seme maturo è disidratato e quasi inattivo. Per germinare ha bisogno di acqua, che assorbe gonfiandosi, di ossigeno, perché la respirazione cellulare dell'embrione riprende a pieno ritmo, e di una temperatura adatta; alcuni semi richiedono anche la luce o un periodo di freddo. La radichetta esce per prima e si dirige verso il basso, poi il fusticino porta in alto le prime foglie. Nel fagiolo i cotiledoni vengono sollevati fuori dal terreno; nel mais restano sottoterra.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

**Che cosa serve a un seme per germinare?**

**Obiettivo.** Verificare l'effetto dell'acqua, della temperatura e della luce sulla germinazione dei semi di fagiolo e di mais.

**Materiale.** 50 semi di fagiolo e 50 di mais, cinque barattoli trasparenti, carta assorbente, acqua, un frigorifero, una scatola di cartone.

1. Fodera ogni barattolo con carta assorbente e sistema 10 semi di ciascun tipo fra la carta e il vetro.
2. A (controllo): carta umida, temperatura ambiente, luce. B: carta asciutta. C: carta umida, in frigorifero (circa 5 °C). D: come A, ma al buio nella scatola. E: semi sommersi d'acqua.
3. Per dieci giorni conta i semi germinati (radichetta visibile).

**Variabili.** Indipendenti: acqua, temperatura, luce, ossigeno, una per volta: ogni barattolo differisce dal controllo per un solo fattore. Dipendente: la percentuale di semi germinati. Costanti: tipo e numero di semi, carta, durata.

**Sicurezza.** Non mangiare i semi: quelli per la semina sono spesso trattati con prodotti chimici. Lavati le mani.

**Risultato atteso.** Germinano bene i semi di A e di D: a fagiolo e mais la luce non serve, ma al buio le plantule crescono pallide e allungate. In B non germina nulla; in C la germinazione è molto lenta o assente; in E i semi germinano poco o marciscono, perché manca l'ossigeno.

**Domande.** Perché usare 10 semi e non uno solo?

### 13.4.6 Monocotiledoni ed eudicotiledoni

Le angiosperme si dividono tradizionalmente secondo il numero dei cotiledoni: le **monocotiledoni** ne hanno uno, le dicotiledoni due. Gli studi sul DNA hanno mostrato che le monocotiledoni sono un gruppo naturale, mentre fra le piante con due cotiledoni lo è quello delle **eudicotiledoni** ("vere dicotiledoni"), che comprende la grande maggioranza delle specie; poche piante antiche, come la magnolia e la ninfea, restano fuori da entrambi. Ai cotiledoni si accompagnano altri caratteri facili da osservare (Tabella 13.1).

**Tabella 13.1** Monocotiledoni ed eudicotiledoni a confronto. I caratteri valgono per la maggior parte delle specie, con alcune eccezioni.

| Carattere | Monocotiledoni | Eudicotiledoni |
|---|---|---|
| Cotiledoni dell'embrione | uno | due |
| Nervature delle foglie | parallele | ramificate, a rete |
| Fasci conduttori nel fusto | sparsi | disposti ad anello |
| Parti del fiore | in numero di 3 o multipli di 3 | in numero di 4 o 5 o loro multipli |
| Radice | fascicolata, a ciuffo | di solito a fittone, con una radice principale |
| Accrescimento in spessore con anelli | di norma assente | presente nelle specie legnose |
| Esempi | grano, mais, riso, cipolla, giglio, palme, orchidee | fagiolo, quercia, rosa, girasole, pomodoro, melo |

## 13.5 Gli organi della pianta: radice, fusto e foglia

Il corpo di una pianta con seme è formato da tre organi principali. Ciascuno ha una forma adatta alla sua funzione, e in tutti corrono i tessuti conduttori che li collegano.

### 13.5.1 La radice

La radice ancora la pianta al suolo e ne assorbe l'acqua e i sali minerali; in molte piante, come la carota e la barbabietola, accumula anche riserve. L'apice della radice, che si fa strada fra le particelle del terreno, è protetto da una cuffia. Poco sopra l'apice, l'epidermide forma migliaia di **peli radicali**, sottili estensioni delle cellule che aumentano enormemente la superficie di assorbimento: è lo stesso principio del rapporto superficie/volume del Capitolo 1. Molte piante, inoltre, si associano con i funghi del suolo in una simbiosi chiamata micorriza, che migliora l'assorbimento di acqua e sali (Capitolo 12). Le cellule delle radici che crescono sottoterra non hanno cloroplasti: per vivere ricevono gli zuccheri dalle foglie attraverso il floema.

### 13.5.2 Il fusto

Il fusto sostiene foglie e fiori verso la luce e collega radici e foglie; porta i nodi, da cui partono le foglie, e le gemme, da cui nascono rami e fiori. Lo xilema trasporta verso l'alto la linfa grezza, cioè acqua e sali minerali: le sue cellule conduttrici, a maturità, sono morte e formano tubi con pareti lignificate. Il floema trasporta la linfa elaborata, ricca di zuccheri, dalle foglie alle parti che la consumano o la accumulano: radici, frutti, gemme; le sue cellule conduttrici sono vive.

Come l'acqua salga fino alla cima di un albero, e come gli ormoni vegetali guidino la crescita verso la luce, lo studierai negli anni successivi.

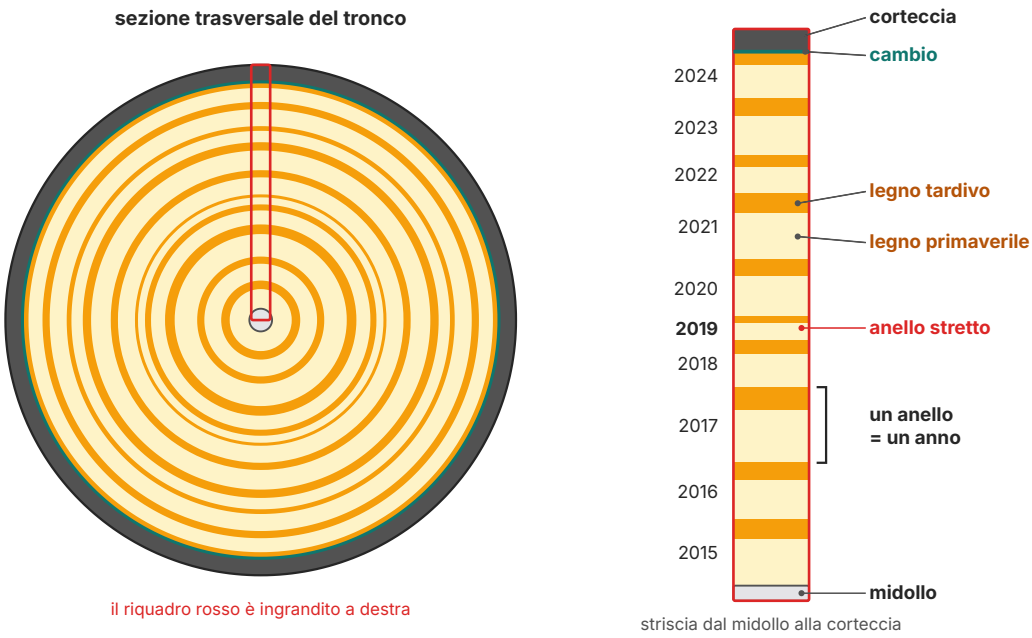



**Figura 13.6** Gli anelli di accrescimento di un tronco di dieci anni (schema non in scala; larghezze degli anelli di esempio). A destra, una striscia radiale ingrandita: ogni anello è formato da legno primaverile, chiaro, e da legno tardivo, scuro; l'anello più esterno, accanto al cambio, è quello dell'ultimo anno.

I fusti erbacei sono verdi e flessibili; quelli legnosi crescono anche in spessore. Fra il legno e la corteccia degli alberi si trova un sottile strato di cellule che si dividono, il cambio: ogni anno produce nuovo xilema verso l'interno, che diventa legno, e nuovo floema verso l'esterno. Nei climi con stagioni marcate, in primavera il cambio forma cellule grandi con pareti sottili, il legno primaverile, chiaro; in estate cellule piccole con pareti spesse, il legno tardivo, più scuro; in inverno si ferma. Su un tronco tagliato si vede così un **anello di accrescimento** per ogni anno di vita (Figura 13.6). La larghezza degli anelli dipende dalle condizioni dell'anno: in una stagione calda e piovosa l'anello è largo, in un anno di siccità è stretto. La dendrocronologia sfrutta queste sequenze di anelli larghi e stretti per datare il legno e ricostruire i climi del passato.

**ESEMPIO SVOLTO**

**Problema.** Un larice abbattuto nell'inverno 2024–2025 mostra, alla base del tronco, 86 anelli di accrescimento. In quale anno si è formato l'anello più interno?

**Ragionamento.** L'albero è stato tagliato a crescita ferma, quindi l'anello più esterno è quello del 2024. Gli altri 85 anelli si sono formati negli 85 anni precedenti: 2024 − 85 = 1939.

**Risultato.** 1939. Più in alto si conterebbero meno anelli, perché il fusto ha raggiunto quell'altezza alcuni anni dopo; in rari casi, inoltre, un anello può mancare o sdoppiarsi.

### 13.5.3 La foglia

La foglia è l'organo principale della fotosintesi: una lamina sottile e ampia, che offre alla luce una grande superficie, collegata al fusto dal picciolo e percorsa dalle nervature, che contengono xilema e floema. In sezione (Figura 13.7) si riconoscono l'epidermide superiore, trasparente e rivestita di cuticola; il **mesofillo**, il tessuto fotosintetico, formato da cellule allungate e fitte, ricchissime di cloroplasti (mesofillo a palizzata), e da cellule tondeggianti separate da spazi pieni d'aria (mesofillo lacunoso); l'epidermide inferiore. Gli stomi, delimitati da due cellule di guardia, si trovano in molte specie soprattutto sulla pagina inferiore; attraverso di essi entra la $CO_2$ ed escono l'ossigeno e il vapore acqueo. L'evaporazione dell'acqua dalle foglie, la traspirazione, contribuisce a richiamare l'acqua dalle radici lungo lo xilema.

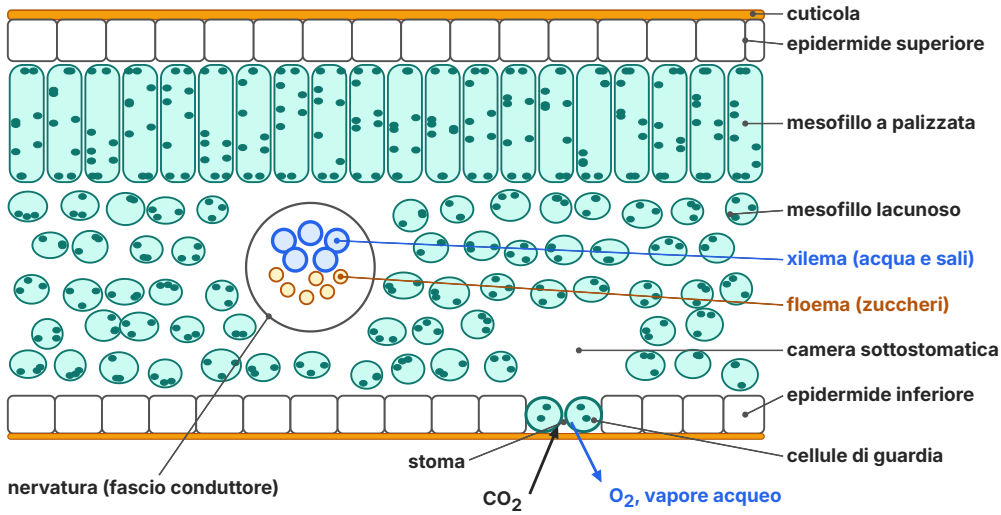



**Figura 13.7** Sezione trasversale di una foglia di eudicotiledone (schema non in scala). Le frecce indicano gli scambi di gas attraverso uno stoma.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

### Contare gli stomi con lo smalto

**Obiettivo.** Osservare gli stomi e confrontarne la densità sulle due pagine di una foglia.

**Materiale.** Foglie fresche, smalto per unghie trasparente, nastro adesivo trasparente, vetrini, microscopio ottico.

1. Stendi un velo di smalto su circa 1 $cm^2$ di ciascuna pagina della foglia e lascialo asciugare.
2. Premi sullo smalto un pezzo di nastro adesivo e staccalo: il calco dell'epidermide resta sul nastro. Incollalo su un vetrino.
3. A 400 ingrandimenti conta gli stomi in tre campi visivi e fai la media; calcola la densità in stomi/$mm^2$ dal diametro del campo.

**Sicurezza.** Lo smalto è infiammabile e ha vapori irritanti: usalo in un locale ventilato, lontano da fiamme.

**Esempio di calcolo.** Il campo visivo ha un diametro di 0,45 mm, quindi un'area di $\pi \times (0{,}225\ mm)^2 \approx 0{,}159\ mm^2$. Sulla pagina inferiore si contano in media 27 stomi per campo: $27 : 0{,}159 \approx 170$ stomi/$mm^2$. Sulla pagina superiore se ne contano 5: circa 31 stomi/$mm^2$.

**Risultato atteso.** In molte eudicotiledoni gli stomi sono molto più numerosi sulla pagina inferiore, meno esposta al sole. Le foglie galleggianti della ninfea li hanno invece solo sulla pagina superiore, a contatto con l'aria.

**Domande.** Perché conviene contare gli stomi in più campi? Perché una pianta di un ambiente arido potrebbe avere meno stomi, o stomi infossati?

## 13.6 Le piante per gli ecosistemi e per l'uomo

Negli ecosistemi terrestri le piante sono i principali produttori: l'energia che scorre negli erbivori, nei carnivori e nei decompositori è entrata per lo più come luce nelle loro foglie (Capitolo 15). Con la fotosintesi tolgono $CO_2$ all'atmosfera e liberano ossigeno, che proviene dall'acqua (Capitolo 5). Le radici trattengono il suolo; foreste e prati regolano il ciclo dell'acqua e offrono riparo a moltissime specie.

Per l'uomo le piante sono prima di tutto cibo: frumento, riso e mais, tre graminacee monocotiledoni, sono alla base dell'alimentazione di gran parte dell'umanità; i legumi, come fagioli, ceci e lenticchie, sono ricchi di proteine e, grazie ai batteri azotofissatori delle loro radici (Capitolo 12), arricchiscono il terreno. Le piante forniscono inoltre oli, fibre come cotone e lino, legno, carta e molte sostanze usate in medicina.

**COLLEGAMENTI**

**Storia della scienza · Dal salice all'aspirina.** Nel 1763 il reverendo inglese Edward Stone riferì alla Royal Society di Londra di aver usato con successo la corteccia di salice in polvere contro le febbri. Nell'Ottocento i chimici isolarono dalla corteccia la salicina e ne ricavarono l'acido salicilico, efficace ma irritante per lo stomaco. Nel 1897, nei laboratori della Bayer, Felix Hoffmann ottenne in forma pura e stabile l'acido acetilsalicilico, messo in commercio nel 1899 come Aspirina. Oggi si produce per sintesi chimica, non dal salice. Hanno origine vegetale anche la digitossina della digitale, usata per alcune malattie del cuore, e il paclitaxel, un antitumorale scoperto nel tasso del Pacifico.

Grazie alla varietà di climi e rilievi, l'Italia ha una delle flore più ricche d'Europa. Lungo le coste domina la macchia mediterranea, con leccio, lentisco, mirto e corbezzolo, dalle foglie coriacee adatte all'aridità estiva; salendo si incontrano boschi di querce e castagni, faggete, foreste di abeti e larici e infine le praterie alpine. Molte specie sono endemiche, cioè vivono solo in un territorio ristretto: l'abete dei Nebrodi cresce spontaneo soltanto in una piccola area delle Madonie, in Sicilia, ed è gravemente minacciato (Capitolo 16).

**IN SINTESI**

**Briofite** (muschi, epatiche): senza tessuti conduttori; gametofito dominante; acqua per la fecondazione; spore.

**Pteridofite** (felci, equiseti): tessuti conduttori; sporofito dominante; protallo autonomo; acqua per la fecondazione; spore nei sori.

**Gimnosperme** (conifere, ginkgo): seme nudo su coni; polline portato dal vento; gametofiti ridotti.

**Angiosperme**: fiore, frutto che racchiude i semi, doppia fecondazione; monocotiledoni ed eudicotiledoni.

## SINTESI

- Le piante sono eucarioti pluricellulari quasi tutti autotrofi, con cloroplasti, parete di cellulosa e riserve di amido; derivano da alghe verdi d'acqua dolce.
- La vita sulla terraferma è stata resa possibile da cuticola, stomi, embrione protetto, spore resistenti, tessuti conduttori lignificati e infine seme e polline.
- Il ciclo vitale delle piante alterna uno sporofito diploide, che produce spore per meiosi, e un gametofito aploide, che produce gameti per mitosi.
- Nelle briofite domina il gametofito; non hanno tessuti conduttori, restano piccole e hanno bisogno di acqua per la fecondazione.
- Nelle pteridofite domina lo sporofito, con radici, fusto e fronde; le spore si formano nei sori e originano un protallo autonomo; la fecondazione richiede acqua.
- Le spermatofite producono polline, che porta i gameti maschili senza bisogno di acqua, e semi, che contengono embrione, riserve e tegumento.
- Le gimnosperme hanno semi nudi su coni e impollinazione per lo più anemofila; le angiosperme hanno fiori e frutti.
- Il fiore comprende sepali, petali, stami (filamento e antera) e pistillo (stimma, stilo, ovario con gli ovuli).
- Nella doppia fecondazione una cellula spermatica feconda l'oosfera (zigote, 2n), l'altra forma la cellula da cui nasce l'endosperma (3n).
- Dall'ovulo si forma il seme, dall'ovario il frutto, che aiuta la dispersione dei semi; monocotiledoni ed eudicotiledoni si distinguono per cotiledoni, foglie, fusto, fiori e radici.
- La radice assorbe e ancora, il fusto sostiene e trasporta (xilema verso l'alto, floema dalle foglie), la foglia fa la fotosintesi e scambia gas attraverso gli stomi.
- Gli anelli di accrescimento registrano un anno ciascuno; le piante sono i produttori degli ecosistemi e ci forniscono cibo, materiali e farmaci.

## ESERCIZI

### Comprendere e ricordare

1. ● Le piante sono:
   - **A.** eucarioti unicellulari autotrofi
   - **B.** procarioti pluricellulari con clorofilla
   - **C.** eucarioti pluricellulari, quasi tutti autotrofi, con parete di cellulosa
   - **D.** eucarioti pluricellulari eterotrofi con parete di chitina

2. ● In un muschio la piantina verde che vediamo è:

   **A.** lo sporofito diploide
   **B.** il gametofito aploide
   **C.** il protallo
   **D.** un insieme di semi germinati

3. ● Nelle piante le spore si formano:

   **A.** per mitosi nel gametofito
   **B.** per fecondazione nell'archegonio
   **C.** per meiosi nello sporofito
   **D.** per mitosi nel seme

4. ●● Felci e muschi hanno bisogno di acqua per riprodursi perché:

   **A.** le loro spore germinano solo sott'acqua
   **B.** il loro sporofito vive soltanto in acqua
   **C.** il loro polline viene trasportato dalla pioggia
   **D.** gli anterozoidi devono nuotare fino all'oosfera

5. ● Nelle angiosperme il polline si forma:

   **A.** nelle antere
   **B.** nello stimma
   **C.** nell'ovario
   **D.** nei sepali

6. ●● La doppia fecondazione delle angiosperme produce:

   **A.** due embrioni gemelli nello stesso seme
   **B.** lo zigote (2n) e la cellula da cui si forma l'endosperma (3n)
   **C.** due semi da un solo ovulo
   **D.** il frutto e il seme, ciascuno da una cellula spermatica

7. ●● Il frutto si forma principalmente:

   **A.** dall'ovulo fecondato
   **B.** dagli stami dopo l'impollinazione
   **C.** sempre e soltanto dal ricettacolo
   **D.** dalla parete dell'ovario, talvolta con altre parti del fiore

8. ● Una pianta ha foglie con nervature parallele, fiori con parti in multipli di 3 e radici fascicolate. È probabilmente:

   **A.** una monocotiledone
   **B.** una eudicotiledone
   **C.** una gimnosperma
   **D.** una felce

9. ●●● Quale affermazione su xilema e floema è corretta?
   **A.** lo xilema porta gli zuccheri verso il basso, il floema l'acqua verso l'alto
   **B.** lo xilema porta acqua e sali dalle radici verso l'alto; il floema porta gli zuccheri dalle foglie alle altre parti
   **C.** xilema e floema esistono solo nelle angiosperme
   **D.** le cellule conduttrici dello xilema e del floema sono tutte morte

### Vero o falso

10. ● Le alghe sono piante che vivono in acqua.

11. ● Nelle felci la generazione dominante è lo sporofito.

12. ●● I puntini bruni sulla pagina inferiore delle fronde di felce sono un segno di malattia.

13. ● Nelle gimnosperme i semi sono racchiusi in un frutto.

14. ●● Le piante con fiori grandi, colorati e profumati sono di solito impollinate dal vento.

15. ●● Le cellule della radice di una carota, sottoterra, non hanno cloroplasti, pur essendo cellule vegetali.

### Applicare

16. ● Nel mais 2n = 20. Quanti cromosomi hanno: *a*) una cellula della radice; *b*) un'oosfera; *c*) una cellula spermatica; *d*) una cellula dell'embrione; *e*) una cellula dell'endosperma?

17. ● In un esperimento di germinazione, su 50 semi di fagiolo tenuti su carta umida a temperatura ambiente ne germinano 43; su 50 semi tenuti in frigorifero ne germinano 9. Calcola le due percentuali di germinazione.

18. ●● Un pino viene tagliato alla base nell'inverno fra il 2024 e il 2025 e sulla sezione si contano 63 anelli. In quale anno si è formato l'anello più interno? Perché tagliando il tronco a 2 m di altezza si conterebbero meno anelli?

19. ●● Nel calco di una foglia, osservato al microscopio, il campo visivo ha un diametro di 0,40 mm. Sulla pagina inferiore si contano in media 23 stomi per campo, sulla pagina superiore 4. Calcola la densità degli stomi (stomi/mm$^2$) sulle due pagine e quante volte è maggiore quella della pagina inferiore.

20. ●● In una fotografia scattata al microscopio con un ingrandimento totale di 400×, uno stoma (le due cellule di guardia) è lungo 12 mm. Qual è la sua lunghezza reale in micrometri?

21. ● Usa le caratteristiche dei quattro gruppi di piante per classificare: *a*) una piantina alta 2 cm, senza vasi, che forma un tappeto su un muro umido; *b*) una pianta con radici, fusti e foglie, che porta sori sotto le foglie e non produce semi; *c*) un albero con aghi, i cui semi si trovano sulle squame di una pigna; *d*) una pianta i cui semi sono racchiusi in un baccello derivato dall'ovario.

22. ●●● L'ovario di un fiore di pisello contiene 8 ovuli, e tutti vengono fecondati. Quanti semi si formano nel baccello? Quanti granuli pollinici, come minimo, devono aver germinato sullo stimma? Quante cellule spermatiche sono state usate in tutto?

### Leggere dati e figure

23. ●● Osserva la Figura 13.6. Quale anno è stato il meno favorevole alla crescita, e quale il più favorevole? Quante stagioni di crescita registra il tronco all'altezza del taglio? Proponi una possibile causa dell'anello stretto.

24. ●● Osserva la Figura 13.1. Quale innovazione hanno in comune felci e angiosperme, ma non i muschi? In quale punto dell'albero compare il seme? Una felce è più strettamente imparentata con un pino o con un muschio? Motiva la risposta.

25. ●●● Una classe ha messo a germinare 50 semi di fagiolo a cinque temperature diverse, con acqua e luce uguali per tutti (dati ipotetici). Semi germinati dopo 7 giorni: 5 °C, 4; 15 °C, 31; 25 °C, 46; 35 °C, 38; 45 °C, 0. Calcola le percentuali di germinazione, indica la temperatura migliore fra quelle provate e spiega perché a 45 °C non germina nessun seme.

### Indagare e argomentare

26. ●● Progetta un esperimento per stabilire se i semi di fagiolo hanno bisogno della luce per germinare. Indica la variabile indipendente, la variabile dipendente, le variabili da tenere costanti e il controllo, e descrivi il risultato che ti aspetti.

27. ●●● I muschi sono alti pochi centimetri e vivono in luoghi umidi, mentre un larice può superare i 30 metri e crescere su pendii di montagna esposti al vento e al gelo. Spiega queste differenze facendo riferimento ai tessuti conduttori, alla lignina, al modo di fecondazione e al seme.

28. ●●● Sulla spiaggia un tuo amico indica un cumulo di foglie nastriformi secche e dice: «Guarda quante alghe!». Sono resti di *Posidonia oceanica*. Spiegagli perché la posidonia è una pianta e non un'alga, indicando almeno tre caratteri che lo dimostrano.

### Approfondimento

29. ●● Rileggi l'Approfondimento su Camerarius. Descrivi un esperimento controllato, con piante di mais, per dimostrare che senza polline non si formano semi: che cosa fai alle piante dell'esperimento e che cosa a quelle di controllo?

## PER APPROFONDIRE

- [CAM] L. A. Urry et al., *Campbell Biology*: le unità sulla diversità delle piante (dalle briofite alle angiosperme) e sulla struttura delle piante con seme.
- [SAD] D. Sadava et al., *Life: The Science of Biology*: i capitoli sull'evoluzione delle piante e sui cicli vitali, con molti confronti fra i gruppi.
- [WIL] E. O. Wilson, *The Diversity of Life*: un racconto appassionato della biodiversità, piante comprese, e del perché vale la pena conoscerla.

# Glossario del capitolo

**Alternanza di generazioni**
Ciclo vitale delle piante in cui si alternano uno sporofito diploide, che forma spore per meiosi, e un gametofito aploide, che forma gameti.

**Anello di accrescimento**
Strato di legno prodotto in un anno dal cambio, formato da legno primaverile chiaro e legno tardivo scuro.

**Angiosperme**
Piante con fiore, i cui semi sono racchiusi in un frutto derivato dall'ovario.

**Briofite**
Piante senza tessuti conduttori lignificati, come muschi ed epatiche, in cui domina il gametofito.

**Cotiledone**
Foglia dell'embrione, spesso ricca di riserve; uno nelle monocotiledoni, due nelle eudicotiledoni.

**Cuticola**
Strato ceroso e impermeabile che riveste l'epidermide delle parti aeree della pianta e limita la perdita d'acqua.

**Doppia fecondazione**
Fecondazione delle angiosperme: una cellula spermatica feconda l'oosfera, l'altra si unisce alla cellula centrale e origina l'endosperma.

**Endosperma**
Tessuto di riserva triploide (3n) del seme delle angiosperme, che nutre l'embrione.

**Floema**
Tessuto conduttore che trasporta la linfa elaborata, ricca di zuccheri, dalle foglie alle altre parti della pianta.

**Frutto**
Struttura che deriva dalla parete dell'ovario dopo la fecondazione, racchiude i semi e ne favorisce la dispersione.

**Gametofito**
Generazione aploide (n) del ciclo delle piante, che produce i gameti per mitosi.

**Gimnosperme**
Piante con semi "nudi", portati sulle squame di coni e non racchiusi in un frutto, come le conifere.

**Impollinazione**
Trasporto del polline dalle antere allo stimma (o, nelle gimnosperme, all'ovulo), a opera del vento o degli animali.

**Mesofillo**
Tessuto fotosintetico interno della foglia, formato dal mesofillo a palizzata e dal mesofillo lacunoso.

**Polline**
Insieme dei granuli pollinici, ciascuno dei quali è un gametofito maschile ridotto che porta i gameti maschili delle spermatofite.

**Protallo**
Gametofito delle felci: una laminetta verde, piccola e autonoma, che porta anteridi e archegoni.

**Pteridofite**
Piante con tessuti conduttori ma senza semi, come felci ed equiseti, in cui domina lo sporofito.

**Seme**
Struttura che si forma dall'ovulo fecondato e contiene un embrione, una riserva di nutrimento e un tegumento protettivo.

**Sporofito**
Generazione diploide (2n) del ciclo delle piante, che produce spore per meiosi negli sporangi.

**Xilema**
Tessuto conduttore con pareti lignificate che trasporta acqua e sali minerali dalle radici verso l'alto.

# Soluzioni

**1.** C. Le piante sono eucarioti pluricellulari, quasi tutti autotrofi (fanno eccezione alcune parassite come la cuscuta); la parete di chitina è dei funghi.

**2.** B. Il tappeto verde del muschio è formato da gametofiti aploidi; lo sporofito è la seta con la capsula che cresce sopra di essi.

**3.** C. Le spore si formano per meiosi negli sporangi dello sporofito; i gameti, invece, si formano per mitosi nel gametofito.

**4.** D. Gli anterozoidi sono flagellati e raggiungono l'oosfera nuotando in un velo d'acqua; muschi e felci non producono polline.

**5.** A. Il polline si forma nelle antere degli stami; lo stimma lo riceve, l'ovario contiene gli ovuli.

**6.** B. Una cellula spermatica feconda l'oosfera (zigote 2n → embrione), l'altra si unisce ai due nuclei della cellula centrale (3n → endosperma).

**7.** D. Il frutto deriva dalla parete dell'ovario; in alcuni casi, come nella fragola, partecipano anche altre parti del fiore. Dall'ovulo si forma il seme.

**8.** A. Nervature parallele, parti fiorali in multipli di 3 e radici fascicolate sono caratteri tipici delle monocotiledoni.

**9.** B. Lo xilema porta la linfa grezza verso l'alto; il floema porta la linfa elaborata dalle foglie alle parti che consumano o accumulano zuccheri. Le pteridofite e le gimnosperme hanno xilema e floema; le cellule conduttrici del floema sono vive.

**10.** F. Le alghe sono protisti fotosintetici eterogenei, senza embrione protetto né tessuti conduttori; le piante derivano da un gruppo di alghe verdi.

**11.** V. La felce che conosciamo è lo sporofito (2n); il gametofito è il piccolo protallo.

**12.** F. Sono i sori, gruppi di sporangi in cui si formano le spore.

**13.** F. Nelle gimnosperme i semi sono "nudi", portati sulle squame dei coni; il frutto è esclusivo delle angiosperme.

**14.** F. I fiori vistosi e profumati attirano gli insetti (impollinazione entomofila); le piante anemofile hanno fiori piccoli, poco vistosi, e producono moltissimo polline leggero.

**15.** V. Le cellule delle radici sotterranee non hanno cloroplasti e ricevono gli zuccheri dalle foglie attraverso il floema.

**16.** *a*) 20; *b*) 10; *c*) 10; *d*) 20; *e*) 30 (due nuclei aploidi della cellula centrale + una cellula spermatica: 10 + 10 + 10).

**17.** Temperatura ambiente: 43 : 50 × 100 = 86 %. Frigorifero: 9 : 50 × 100 = 18 %.

**18.** L'anello più esterno è del 2024; gli altri 62 anelli corrispondono ai 62 anni precedenti: 2024 − 62 = 1962. A 2 m di altezza gli anelli sono meno numerosi perché il pino ha raggiunto quell'altezza solo alcuni anni dopo la germinazione.

**19.** Area del campo: $\pi \times (0{,}20\ \text{mm})^2 \approx 0{,}126\ \text{mm}^2$. Pagina inferiore: 23 : 0,126 ≈ 183 stomi/mm$^2$; pagina superiore: 4 : 0,126 ≈ 32 stomi/mm$^2$. Rapporto: 23 : 4 ≈ 5,8, cioè circa 6 volte.

**20.** Dimensione reale = 12 mm : 400 = 0,030 mm = 30 µm.

**21.** *a*) briofita (un muschio); *b*) pteridofita (una felce); *c*) gimnosperma (una conifera); *d*) angiosperma (una leguminosa: il baccello è un frutto).

**22.** 8 semi, uno per ogni ovulo fecondato. Ogni tubetto pollinico raggiunge un solo ovulo, quindi servono almeno 8 granuli pollinici germinati. Ogni ovulo riceve 2 cellule spermatiche (doppia fecondazione): 8 × 2 = 16 cellule spermatiche.

**23.** Anno meno favorevole: 2019 (anello più stretto); più favorevole: 2017 (anello più largo). Il tronco registra 10 stagioni di crescita, dal 2015 al 2024. Possi-

bili cause dell'anello stretto: una siccità estiva, un'estate fredda, un attacco di insetti che ha defogliato l'albero, la concorrenza di alberi vicini.

**24.** Felci e angiosperme hanno i tessuti conduttori (xilema e floema), comparsi dopo la separazione delle briofite. Il seme compare sulla linea comune a gimnosperme e angiosperme, dopo la separazione delle pteridofite. La felce è più strettamente imparentata con il pino: condividono un antenato comune più recente di quello che hanno in comune con il muschio (e condividono i tessuti conduttori).

**25.** Percentuali: 5 °C → 8 %; 15 °C → 62 %; 25 °C → 92 %; 35 °C → 76 %; 45 °C → 0 %. La temperatura migliore fra quelle provate è 25 °C. A 45 °C gli enzimi dell'embrione si denaturano e le cellule muoiono, quindi nessun seme germina (Capitolo 5).

**26.** *Traccia di risposta.* Variabile indipendente: presenza o assenza di luce. Variabile dipendente: percentuale di semi germinati dopo un certo numero di giorni. Da tenere costanti: tipo e numero di semi (almeno 10–20 per gruppo), acqua, temperatura, tipo di supporto, durata. Controllo: semi alla luce; gruppo sperimentale: semi in una scatola al buio, alla stessa temperatura (attenzione: la scatola non deve scaldarsi o raffreddarsi). Risultato atteso: percentuali simili, perché il fagiolo non ha bisogno di luce per germinare; le plantule al buio però sono pallide e allungate.

**27.** *Traccia di risposta.* I muschi non hanno tessuti conduttori lignificati: acqua e sali passano lentamente da cellula a cellula, e senza lignina il corpo non può reggersi in altezza. La loro fecondazione richiede un velo d'acqua e il gametofito si secca facilmente: restano piccoli e legati all'umidità. Il larice ha xilema e floema, che trasportano acqua e zuccheri per decine di metri, e la lignina che sostiene il tronco; foglie con cuticola spessa che limitano la perdita d'acqua; polline portato dal vento, per cui la fecondazione non richiede acqua; semi protetti che resistono al freddo e germinano quando le condizioni sono favorevoli.

**28.** *Traccia di risposta.* La posidonia ha radici, un fusto (rizoma) e foglie con tessuti conduttori, che nessuna alga possiede; produce fiori, frutti e semi, quindi è una angiosperma; il suo embrione si sviluppa nel seme. Le alghe non formano fiori né semi e non hanno tessuti conduttori.

**29.** *Traccia di risposta.* Il mais ha fiori maschili (in cima alla pianta) e femminili (sulle pannocchie) separati. Gruppo sperimentale: si chiudono le pannocchie in sacchetti di carta prima che gli stimmi siano maturi e si eliminano i fiori maschili, così che nessun polline le raggiunga. Controllo: piante uguali, nelle stesse condizioni, con pannocchie lasciate libere (o impollinate a mano). Risultato atteso: le pannocchie isolate non formano chicchi, quelle di controllo sì. Ogni gruppo deve comprendere più piante.