

James R. Morris Daniel L. Hartl  
Andrew H. Knoll Robert A. Lue  
Melissa Michael

# **Biologia**

## **Come funziona la vita**

Piante  
Funghi



**GUARDA!**  
I VIDEO DEL TUO LIBRO  
SULLO SMARTPHONE

**BIOLOGIA** **ZANICHELLI**

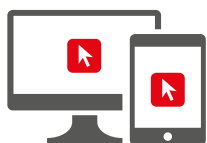
James R. Morris Daniel L. Hartl  
Andrew H. Knoll Robert A. Lue  
Melissa Michael

# Biologia

## Come funziona la vita

Piante  
Funghi

### PER IL COMPUTER E PER IL TABLET



**L'eBook  
multimediale**

#### 1 REGISTRATI A MYZANICHELLI

Vai su **my.zanichelli.it** e registrati  
come studente

#### 2 SCARICA BOOKTAB

- Scarica **Booktab** e installalo
- Lancia l'applicazione e fai login

#### 3 ATTIVA IL TUO LIBRO

- Clicca su **Attiva il tuo libro**
- Inserisci il **codice di attivazione** che trovi sul **bollino argentato adesivo** in questa pagina



#### 4 CLICCA SULLA COPERTINA

Scarica il tuo libro per usarlo offline

### PER LO SMARTPHONE



**GUARDA!** i video del libro  
sul tuo smartphone

SCARICA LA APP  DA:



#### 1 Sul libro, inquadra l'icona



#### 2 Sullo smartphone, tocca le icone

#### 3 Guarda i video e le altre risorse multimediali

Titolo originale: *How Life Works*, 3rd Edition (Chapters 27-32)  
First published in the United States of America by Freeman and Company  
Copyright © 2019, 2016, 2013 W.H. Freeman and Company. All Rights Reserved.

*Traduzione:* Marco Caccianiga (capitolo 31), Fabio Fornara (capitoli 28-29), Giuliana Maddalena (capitolo 32),  
Piero Angelo Morandini (capitoli 27 e 30, caso di studio 7)  
*Revisione:* Piero Angelo Morandini

*I capitoli 37-42 dell'edizione italiana corrispondono ai capitoli 27-32 dell'edizione originale.*

---

© 2021 Zanichelli editore S.p.A., via Innerio 34, 40126 Bologna [32020]  
[www.zanichelli.it](http://www.zanichelli.it)

I diritti di elaborazione in qualsiasi forma o opera, di memorizzazione anche digitale su supporti di qualsiasi tipo (inclusi magnetici e ottici), di riproduzione e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche), i diritti di noleggio, di prestito e di traduzione sono riservati per tutti i paesi. L'acquisto della presente copia dell'opera non implica il trasferimento dei suddetti diritti né li esaurisce.

Le fotocopie per uso personale (cioè privato e individuale, con esclusione quindi di strumenti di uso collettivo) possono essere effettuate, nei limiti del 15% di ciascun volume, dietro pagamento alla S.I.A.E del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Tali fotocopie possono essere effettuate negli esercizi commerciali convenzionati S.I.A.E. o con altre modalità indicate da S.I.A.E. Per le riproduzioni ad uso non personale (ad esempio: professionale, economico, commerciale, strumenti di studio collettivi, come dispense e simili) l'editore potrà concedere a pagamento l'autorizzazione a riprodurre un numero di pagine non superiore al 15% delle pagine del presente volume.

Le richieste vanno inoltrate a:  
Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali (CLEARedi),  
Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano  
e-mail: [autorizzazioni@clearedi.org](mailto:autorizzazioni@clearedi.org) e sito web: [www.clearedi.org](http://www.clearedi.org)

L'autorizzazione non è concessa per un limitato numero di opere di carattere didattico riprodotte nell'elenco che si trova all'indirizzo <https://www.zanichelli.it/chi-siamo/fotocopie-e-permessi>

L'editore, per quanto di propria spettanza, considera rare le opere fuori del proprio catalogo editoriale. La loro fotocopia per i soli esemplari esistenti nelle biblioteche è consentita, oltre il limite del 15%, non essendo concorrenziale all'opera. Non possono considerarsi rare le opere di cui esiste, nel catalogo dell'editore, una successiva edizione, le opere presenti in cataloghi di altri editori o le opere antologiche. Nei contratti di cessione è esclusa, per biblioteche, istituti di istruzione, musei ed archivi, la facoltà di cui all'art. 71-ter legge diritto d'autore. Per permessi di riproduzione, anche digitali, diversi dalle fotocopie rivolgersi a: [ufficiocontratti@zanichelli.it](mailto:ufficiocontratti@zanichelli.it)

---

*Coordinamento editoriale:* Marika De Acetis

*Redazione:* Elisa Faravelli

*Impaginazione:* Sara Travella / Galline a pois, Milano

*Indice analitico:* Silvia Cacciari

*Copertina:*

– *Progetto grafico:* Falcinelli & Co., Roma

– *Immagine di copertina:* © vinitdeekhanu/iStockphoto

---

Prima edizione italiana: luglio 2021

Ristampa: **prima tiratura**

5    4    3    2    1                    2021    2022    2023    2024    2025

Realizzare un libro è un'operazione complessa, che richiede numerosi controlli: sul testo, sulle immagini e sulle relazioni che si stabiliscono tra essi. L'esperienza suggerisce che è praticamente impossibile pubblicare un libro privo di errori. Saremo quindi grati ai lettori che vorranno segnalarceli. Per segnalazioni o suggerimenti relativi a questo libro scrivere al seguente indirizzo:

Zanichelli editore S.p.A.  
Via Innerio 34  
40126 Bologna  
fax 051293322  
e-mail: [linea\\_universitaria@zanichelli.it](mailto:linea_universitaria@zanichelli.it)  
sito web: [www.zanichelli.it](http://www.zanichelli.it)

Prima di effettuare una segnalazione è possibile verificare se questa sia già stata inviata in precedenza, identificando il libro interessato all'interno del nostro catalogo online per l'Università.

Per comunicazioni di tipo commerciale: [universita@zanichelli.it](mailto:universita@zanichelli.it)

Stampa:

per conto di Zanichelli editore S.p.A.  
Via Innerio 34, 40126 Bologna

# Indice generale

|                                                                                                                               |             |                                                                                                                                                                  |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PREFAZIONE</b>                                                                                                             | <b>VIII</b> | Il floema trasporta carboidrati dalle sorgenti ai pozzi                                                                                                          | 21        |
|  <b>CASO DI STUDIO 7</b>                     |             | I carboidrati sono sospinti nel floema da una pompa azionata dall'osmosi                                                                                         | 22        |
| AGRICOLTURA. NUTRIRE UNA POPOLAZIONE IN CRESCITA                                                                              | 2           | Il floema fornisce sia la pianta sia la rizosfera                                                                                                                | 22        |
| <b>CAPITOLO 37</b>                                                                                                            |             |                                                                                                                                                                  |           |
| FORMA, FUNZIONI E STORIA EVOLUTIVA DELLE PIANTE                                                                               | 5           |                                                                                                                                                                  |           |
| <b>37.1 La fotosintesi sulla terraferma</b>                                                                                   | <b>6</b>    |                                                                                                                                                                  |           |
| Le piante terrestri condividono molte caratteristiche con le alghe verdi                                                      | 6           |                                                                                                                                                                  |           |
| Le briofite sfruttano l'acqua superficiale per l'idratazione                                                                  | 7           |                                                                                                                                                                  |           |
| Nelle piante vascolari l'acqua estratta dal suolo si muove per flusso di massa                                                | 8           |                                                                                                                                                                  |           |
| Le piante vascolari possiedono tre tipi principali di organi                                                                  | 8           |                                                                                                                                                                  |           |
| <b>37.2 Assimilazione di diossido di carbonio e perdita di acqua</b>                                                          | <b>10</b>   |                                                                                                                                                                  |           |
| L'assimilazione di CO <sub>2</sub> comporta una perdita di acqua                                                              | 10          |                                                                                                                                                                  |           |
| La cuticola riduce la perdita di acqua dalle foglie ma inibisce l'assimilazione di CO <sub>2</sub>                            | 11          |                                                                                                                                                                  |           |
| Gli stomi permettono di regolare la perdita d'acqua e l'acquisizione di carbonio da parte delle foglie                        | 11          |                                                                                                                                                                  |           |
| Le piante CAM ricorrono allo stoccaggio notturno di CO <sub>2</sub> per evitare di perdere acqua durante il dì                | 12          |                                                                                                                                                                  |           |
| Le piante C <sub>4</sub> sopprimono la fotorespirazione concentrando il CO <sub>2</sub> nelle cellule della guaina del fascio | 13          |                                                                                                                                                                  |           |
| <b>COME LO SAPPIAMO?</b> La fotosintesi C <sub>4</sub> sopprime la fotorespirazione?                                          | 15          |                                                                                                                                                                  |           |
| <b>37.3 Il trasporto dell'acqua</b>                                                                                           | <b>16</b>   |                                                                                                                                                                  |           |
| Nello xilema il movimento dell'acqua incontra una bassa resistenza                                                            | 16          |                                                                                                                                                                  |           |
| L'acqua è sospinta nello xilema da una pompa azionata dall'evaporazione                                                       | 17          |                                                                                                                                                                  |           |
| <b>COME LO SAPPIAMO?</b> Si producono pressioni negative nelle piante?                                                        | 18          |                                                                                                                                                                  |           |
| Collasso e cavitazione dei condotti sono due rischi del trasporto xilematico                                                  | 20          |                                                                                                                                                                  |           |
| <b>37.4 Il trasporto dei carboidrati</b>                                                                                      | <b>21</b>   |                                                                                                                                                                  |           |
|                                                                                                                               |             | Il floema trasporta carboidrati dalle sorgenti ai pozzi                                                                                                          | 21        |
|                                                                                                                               |             | I carboidrati sono sospinti nel floema da una pompa azionata dall'osmosi                                                                                         | 22        |
|                                                                                                                               |             | Il floema fornisce sia la pianta sia la rizosfera                                                                                                                | 22        |
|                                                                                                                               |             | <b>37.5 L'acquisizione di acqua e nutrienti</b>                                                                                                                  | <b>23</b> |
|                                                                                                                               |             | Le piante ottengono i nutrienti dal suolo                                                                                                                        | 24        |
|                                                                                                                               |             | L'acquisizione di nutrienti dalle radici è altamente selettiva                                                                                                   | 25        |
|                                                                                                                               |             | L'acquisizione di nutrienti richiede energia                                                                                                                     | 26        |
|                                                                                                                               |             | Le micorrize migliorano l'acquisizione di nutrienti                                                                                                              | 26        |
|                                                                                                                               |             | I batteri azotofissatori forniscono azoto alle piante e agli ecosistemi                                                                                          | 27        |
|                                                                                                                               |             |  In che modo la disponibilità di azoto ha influenzato la produttività agricola? | 28        |
|                                                                                                                               |             | <b>CAPITOLO 38</b>                                                                                                                                               |           |
|                                                                                                                               |             | LA RIPRODUZIONE DELLE PIANTE. TROVARE I PARTNER E DISPERDERE LA PROGENIE                                                                                         | 31        |
|                                                                                                                               |             | <b>38.1 L'alternanza di generazioni</b>                                                                                                                          | <b>32</b> |
|                                                                                                                               |             | Le alghe più strettamente imparentate con le piante terrestri hanno una generazione pluricellulare nel loro ciclo di vita                                        | 32        |
|                                                                                                                               |             | Le piante terrestri hanno due generazioni pluricellulari nel loro ciclo di vita                                                                                  | 33        |
|                                                                                                                               |             | Le briofite illustrano come l'alternanza di generazioni consenta la dispersione delle spore nell'aria                                                            | 34        |
|                                                                                                                               |             | La dispersione migliora la capacità riproduttiva in vari modi                                                                                                    | 35        |
|                                                                                                                               |             | Le piante vascolari che disperdono spore possiedono gametofiti e sporofiti a vita libera                                                                         | 36        |
|                                                                                                                               |             | <b>38.2 Le piante a seme</b>                                                                                                                                     | <b>37</b> |
|                                                                                                                               |             | Il ciclo di vita delle piante a seme si distingue per quattro caratteristiche importanti                                                                         | 37        |
|                                                                                                                               |             | I pini mostrano come il trasporto di polline nell'aria consenta la fecondazione in assenza di acqua all'esterno                                                  | 38        |
|                                                                                                                               |             | I semi potenziano la capacità di dare origine alla successiva generazione sporofitica                                                                            | 39        |
|                                                                                                                               |             | <b>38.3 Le piante a fiore</b>                                                                                                                                    | <b>40</b> |
|                                                                                                                               |             | I fiori sono strutture riproduttive specializzate nel trasferimento e nella ricezione del polline                                                                | 41        |

|                                                                                                                                                                           |           |                                                                                                        |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| La diversità nella morfologia dei fiori è legata alle modalità di impollinazione                                                                                          | 43        | L'allungamento di una radice è coordinato con lo sviluppo del sistema vascolare                        | 66        |
| <b>COME LO SAPPIAMO?</b> Come si evolvono i lunghi speroni del nettare?                                                                                                   | 44        | La formazione di nuovi meristemi apicali della radice permette la ramificazione                        | 67        |
| Le angiosperme hanno meccanismi per aumentare la fecondazione incrociata                                                                                                  | 46        | Il sistema radicale può avere diverse strutture e funzioni                                             | 68        |
| Le angiosperme ritardano l'approvvigionamento degli ovuli fino a dopo la fecondazione                                                                                     | 46        | <b>39.5 Il contesto ambientale della crescita e dello sviluppo</b>                                     | <b>69</b> |
| I frutti rendono più efficiente la dispersione dei semi                                                                                                                   | 48        | Le piante orientano la crescita di fusti e radici tramite la luce e la gravità                         | 69        |
|  Come è stata aumentata la resa delle colture durante la rivoluzione verde?              | 50        | <b>COME LO SAPPIAMO?</b> Come fanno le piante a crescere verso la luce?                                | 70        |
| <b>38.4 La riproduzione asessuata</b>                                                                                                                                     | <b>50</b> | I semi possono ritardare la germinazione se rilevano la presenza di piante sopra di essi               | 71        |
| Le piante prodotte per via asessuata si disperdono con e senza semi                                                                                                       | 50        | <b>COME LO SAPPIAMO?</b> Come fanno i semi a percepire la presenza di piante soprastanti?              | 72        |
| <hr/>                                                                                                                                                                     |           | Le piante crescono di più e ramificano di meno quando si trovano all'ombra di altre piante             | 73        |
| <b>CAPITOLO 39</b>                                                                                                                                                        |           | Quando l'acqua scarseggia le radici si allungano di più e formano meno ramificazioni                   | 74        |
| <b>CRESCITA E SVILUPPO DELLE PIANTE</b>                                                                                                                                   | <b>53</b> | L'esposizione al vento genera fusti più corti e più forti                                              | 74        |
| <b>39.1 Crescita e sviluppo del germoglio</b>                                                                                                                             | <b>54</b> | <b>39.6 I tempi dello sviluppo</b>                                                                     | <b>75</b> |
| I fusti crescono aggiungendo nuove cellule all'apice                                                                                                                      | 54        | Il tempo di fioritura è influenzato dalla durata del dì                                                | 75        |
| L'allungamento del fusto avviene appena al di sotto del meristema apicale                                                                                                 | 55        | Per determinare la durata del dì le piante usano il loro orologio circadiano interno e fotocettori     | 76        |
| I fusti ramificano producendo nuovi meristemi apicali                                                                                                                     | 56        | La vernalizzazione impedisce alle piante di fiorire fino al termine dell'inverno                       | 77        |
| Il meristema apicale del germoglio dirige la produzione e la disposizione delle foglie                                                                                    | 56        | Le piante usano la durata del dì come segnale per prepararsi all'inverno                               | 77        |
| Le giovani foglie sviluppano connessioni vascolari con il fusto                                                                                                           | 58        | <hr/>                                                                                                  |           |
| Lo sviluppo fiorale arresta la crescita dei meristemi del germoglio                                                                                                       | 58        | <b>CAPITOLO 40</b>                                                                                     |           |
| <b>39.2 Gli ormoni vegetali</b>                                                                                                                                           | <b>59</b> | <b>LE DIFESE DELLE PIANTE</b>                                                                          | <b>80</b> |
| Gli ormoni influenzano crescita e differenziamento delle cellule vegetali                                                                                                 | 59        | <b>40.1 La protezione dai patogeni</b>                                                                 | <b>81</b> |
| Il trasporto polare dell'auxina determina la posizione dei primordi fogliari e lo sviluppo delle connessioni vascolari con il fusto                                       | 59        | I patogeni vegetali infettano e sfruttano le piante ospiti con molteplici meccanismi                   | 81        |
|  Come si sviluppano gli steli più corti nelle varietà ad alta resa di riso e frumento? | 61        | Le piante sono capaci di rilevare i patogeni e di reagire                                              | 82        |
| Le citochinine, insieme ad altri ormoni, dirigono la crescita dei rami                                                                                                    | 62        | Le piante reagiscono alle infezioni isolando le regioni infette                                        | 83        |
| <b>39.3 La crescita secondaria</b>                                                                                                                                        | <b>63</b> | Segnali mobili innescano le difese nei tessuti sani                                                    | 84        |
| I fusti producono due tipi di meristema laterale                                                                                                                          | 63        | <b>COME LO SAPPIAMO?</b> Le piante possono sviluppare un'immunità nei confronti di patogeni specifici? | 85        |
| Il cambio cribro-vascolare produce xilema e floema secondari                                                                                                              | 63        | Le piante si difendono dalle infezioni virali producendo siRNA                                         | 85        |
| Il cambio subero-fellodermico produce uno strato protettivo esterno                                                                                                       | 64        | Un batterio patogeno fornisce un mezzo per modificare i genomi vegetali                                | 85        |
| Il legno ha funzioni di supporto e di trasporto                                                                                                                           | 65        | <b>40.2 La difesa dagli erbivori</b>                                                                   | <b>87</b> |
| <b>39.4 Crescita e sviluppo delle radici</b>                                                                                                                              | <b>66</b> |                                                                                                        |           |
| Le radici crescono producendo nuove cellule al loro apice                                                                                                                 | 66        |                                                                                                        |           |

|                                                                                                                                                                               |            |                                                                                                                                                                       |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Le piante utilizzano difese meccaniche e chimiche per evitare di essere mangiate                                                                                              | 87         | Le antiche licofiti comprendevano alberi giganteschi che dominavano le paludi carbonifere 320 milioni di anni fa                                                      | 109        |
| Diversi composti chimici dissuadono gli erbivori                                                                                                                              | 89         | <b>COME LO SAPPIAMO?</b> Le piante legnose si sono evolute più di una volta?                                                                                          | 110        |
| Alcune piante forniscono cibo e riparo alle formiche, che le difendono attivamente                                                                                            | 90         | Felci ed equiseti sono morfologicamente ed ecologicamente diversificati                                                                                               | 111        |
| Le graminacee possono ricrescere velocemente dopo il pascolo dei mammiferi                                                                                                    | 90         | La diversità delle felci è stata fortemente influenzata dall'evoluzione delle angiosperme                                                                             | 112        |
| <b>40.3 La destinazione di risorse alla difesa</b>                                                                                                                            | <b>92</b>  | <b>41.4 Le gimnosperme</b>                                                                                                                                            | <b>112</b> |
| Alcune difese sono sempre presenti, mentre altre sono attivate solo in risposta a una minaccia                                                                                | 92         | Le piante a seme sono le piante dominanti sulla terraferma da più di 200 milioni di anni                                                                              | 113        |
| Le piante percepiscono gli erbivori e reagiscono alla loro presenza                                                                                                           | 92         | Cicadee e ginkgo in passato erano piante diversificate e diffuse                                                                                                      | 114        |
| Grazie a segnali volatili le piante attirano insetti che si cibano degli erbivori                                                                                             | 93         | Le conifere sono piante legnose che prosperano in climi asciutti e freddi                                                                                             | 114        |
| <b>COME LO SAPPIAMO?</b> Le piante possono comunicare?                                                                                                                        | 93         | Le gnetofite sono gimnosperme in cui si sono evolute indipendentemente le trachee e la doppia fecondazione                                                            | 116        |
| Gli ambienti ricchi di nutrienti selezionano le piante che destinano più risorse alla crescita che alla difesa                                                                | 94         | <b>41.5 Le angiosperme</b>                                                                                                                                            | <b>117</b> |
| L'esposizione a minacce multiple può portare a compromessi                                                                                                                    | 94         | Molte innovazioni hanno aumentato l'efficienza del ciclo vitale e del trasporto xilematico delle angiosperme                                                          | 117        |
| <b>40.4 Difesa e diversità vegetale</b>                                                                                                                                       | <b>95</b>  | La diversità delle angiosperme potrebbe derivare in parte dalle interazioni coevolutive con gli animali e altri organismi                                             | 117        |
| L'evoluzione di nuove difese può permettere alle piante di diversificarsi                                                                                                     | 95         | Le monocotiledoni sono diversificate per forma e dimensioni pur non formando un cambio cribro-vascolare                                                               | 118        |
| Patogeni, erbivori e granivori possono aumentare la diversità vegetale                                                                                                        | 96         | <b>COME LO SAPPIAMO?</b> Quando si sono diffusi gli ambienti erbacei sulla terraferma?                                                                                | 120        |
|  L'applicazione dell'ingegneria genetica può proteggere le colture da erbivori e patogeni? | 97         | Le eudicotiledoni sono il gruppo più diversificato di angiosperme                                                                                                     | 120        |
| <hr/>                                                                                                                                                                         |            |  Che cosa si può fare per proteggere la diversità genetica delle specie coltivate? | 122        |
| <b>CAPITOLO 41</b>                                                                                                                                                            |            | <b>A COLPO D'OCCHIO</b> Struttura e funzioni delle angiosperme                                                                                                        | 124        |
| <b>LA DIVERSITÀ DELLE PIANTE</b>                                                                                                                                              | <b>100</b> | <hr/>                                                                                                                                                                 |            |
| <b>41.1 L'evoluzione della diversità vegetale</b>                                                                                                                             | <b>101</b> | <b>CAPITOLO 42</b>                                                                                                                                                    |            |
| La storia evolutiva delle piante è caratterizzata da quattro principali cambiamenti nel ciclo vitale e nella struttura                                                        | 101        | <b>I FUNGHI</b>                                                                                                                                                       | <b>128</b> |
| La diversità delle piante è cambiata nel tempo                                                                                                                                | 103        | <b>42.1 Crescita e nutrizione dei funghi</b>                                                                                                                          | <b>129</b> |
| <b>41.2 Le briofite</b>                                                                                                                                                       | <b>104</b> | Le ife permettono ai funghi di esplorare l'ambiente per trovare sostanze nutritive                                                                                    | 129        |
| Le briofite sono piccole e resistenti                                                                                                                                         | 104        | I funghi trasportano sostanze all'interno delle ife                                                                                                                   | 130        |
| I piccoli gametofiti e gli sporofiti non ramificati delle briofite sono un adattamento per la riproduzione sulla terraferma                                                   | 105        | Non tutti i funghi sviluppano ife                                                                                                                                     | 130        |
| Le briofite e le piante vascolari presentano molti casi di evoluzione convergente                                                                                             | 106        | I funghi sono i principali decompositori dei tessuti vegetali                                                                                                         | 131        |
| Gli sfagni hanno un ruolo importante nel ciclo globale del carbonio                                                                                                           | 107        | I funghi sono importanti patogeni di piante e animali                                                                                                                 | 132        |
| <b>41.3 Le pteridofite</b>                                                                                                                                                    | <b>108</b> | Molti funghi formano associazioni simbiotiche con piante e animali                                                                                                    | 133        |
| I fossili delle selci di Rhynie offrono una panoramica dell'evoluzione iniziale delle piante vascolari                                                                        | 108        |                                                                                                                                                                       |            |
| Le licofiti hanno acquisito foglie e radici indipendentemente dalle altre piante vascolari                                                                                    | 109        |                                                                                                                                                                       |            |

I licheni hanno origine dalla simbiosi tra un fungo e un'alga verde o un cianobatterio 133

42.2 La riproduzione dei funghi 135

I funghi si riproducono e si disperdono tramite spore 135

I corpi fruttiferi pluricellulari facilitano la dispersione di spore prodotte per via sessuata 136

**COME LO SAPPIAMO?** Che cosa determina la forma delle spore fungine che vengono catapultate nell'aria? 137

La riproduzione sessuata nei funghi spesso comprende una fase in cui le cellule aploidi si fondono, ma i loro nuclei restano separati 137

Tipi sessuali (mating type) geneticamente distinti consentono l'incrocio 138

La parasessualità nei funghi genera variabilità genetica per via asessuata 139

42.3 La diversità dei funghi 140

I funghi sono estremamente diversificati 140

I chitridi sono funghi acquatici privi di ife 140

Gli zigomiceti formano ife non suddivise da setti 141

I glomeromiceti formano endomicorriche 141

I Dikarya comprendono funghi che producono setti regolari durante la mitosi 142

Gli ascomiceti rappresentano il gruppo di funghi più diversificato 142

**COME LO SAPPIAMO?** Un fungo può influenzare il comportamento di una formica? 144

I basidiomiceti comprendono gli agenti responsabili di carboni e ruggini e i funghi comuni 144

 In che modo i funghi mettono a repentaglio la produzione globale di frumento? 147

REFERENZE ICONOGRAFICHE 151

INDICE ANALITICO 152

# Prefazione

*Biologia. Come funziona la vita* è stato scritto in risposta ai recenti ed entusiasmanti cambiamenti che hanno interessato la biologia, la didattica e la tecnologia, con l'obiettivo di aiutare chi studia a sviluppare la mentalità necessaria per fare ricerca in biologia. Il testo, l'iconografia e gli strumenti di verifica sono stati progettati in modo integrato per fornire un percorso ottimale verso una piena comprensione della biologia.

Lo studio dei viventi richiede la capacità di comprendere in che modo ogni singolo processo biologico, che sia microscopico o macroscopico, si inserisce all'interno di un quadro più vasto, per esempio a livello di cellula, di organismo, di popolazione o di ecosistema. Non è facile tenere insieme tutte queste conoscenze: questo libro risponde all'esigenza di imparare a muoversi dal dettaglio alla visione generale attraverso un'organizzazione **tematica** dei contenuti, con un'attenta **selezione** delle informazioni e una costante ed esplicita **integrazione** tra i diversi piani su cui si snoda la disciplina.

Per sviluppare la capacità di elaborare le informazioni scientifiche il testo è corredato da numerose schede **COME LO SAPIAMO?**, in cui è narrato il percorso di ricerca per ogni scoperta citata: che cosa si sapeva prima, quale esperimento è stato condotto e quali risultati sono stati ottenuti, che conclusioni sono state tratte e come quella scoperta ha contribuito a studi successivi.

## L'ORGANIZZAZIONE PER TEMI

La disciplina è inquadrata secondo sei temi principali, ripresi costantemente lungo la trattazione, che costituiscono i concetti cardine su cui si snoda il percorso didattico:

- l'**indagine scientifica** come metodo per indagare e comprendere il mondo naturale;
- la comprensione dei **principi chimico-fisici** che sottendono il funzionamento della vita e permettono i processi biologici;
- la **cellula** come unità fondamentale degli organismi viventi;
- l'**evoluzione**, alla base di somiglianze e differenze tra gli organismi;
- i **sistemi ecologici**, e in particolare l'interazione tra viventi e ambiente fisico come pilastro che sostiene la vita;
- l'**impronta umana**, diventata dal XXI secolo la principale artefice dei sempre più rapidi ed estesi cambiamenti ecologici ed evolutivi.

## UN PROGETTO INTEGRATO

I contenuti seguono un filo conduttore che parte dai **CONCETTI CHIAVE** di ogni macroargomento, elencati in apertura di capitolo. Sulla base di questi concetti chiave sono stati individuati i contenuti, gli esempi, gli esperimenti, il lessico usati per costruire un percorso coerente e adeguato, senza eccesso di dettagli che possono distrarre. Inoltre, gli esercizi proposti, nel testo e in digitale, sono stati progettati per verificare la comprensione degli aspetti fondamentali della disciplina e l'acquisizione di una mentalità scientifica.

### COME LO SAPIAMO?

FIGURA 40.7

**Le piante possono sviluppare un'immunità nei confronti di patogeni specifici?**

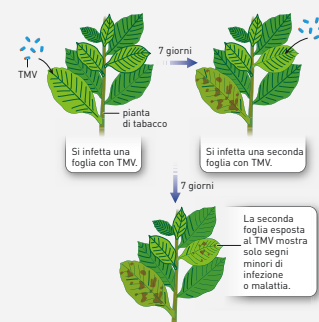
**CONTESTO** Il tabacco è suscettibile a una malattia infettiva che produce macchie gialle sulle foglie, da cui il nome "malattia del mosaico del tabacco". Negli anni Novanta del XIX secolo, alcuni esperimenti condotti mediante filtri dimostrarono che l'agente infettivo era più piccolo di un batterio, un risultato che portò alla scoperta del virus. Alcune piante soccombono alla malattia, ma altre sopravvivono. Le piante sopravvissute alla prima infezione sono immuni ad attacchi successivi?

**IPOTESI** Le piante sopravvissute a un'infezione del virus del mosaico del tabacco (TMV) hanno acquisito un'immunità e perciò resisteranno agli attacchi successivi.

**ESPERIMENTO** Il fitopatologo americano A. F. Ross infettò una foglia di una pianta di tabacco con il TMV. Dopo una settimana, espose un'altra foglia della stessa pianta al virus.

**RISULTATI** Le piante che erano state precedentemente infettate con il TMV mostravano solo segni minori di infezione se venivano esposte al virus per la seconda volta.

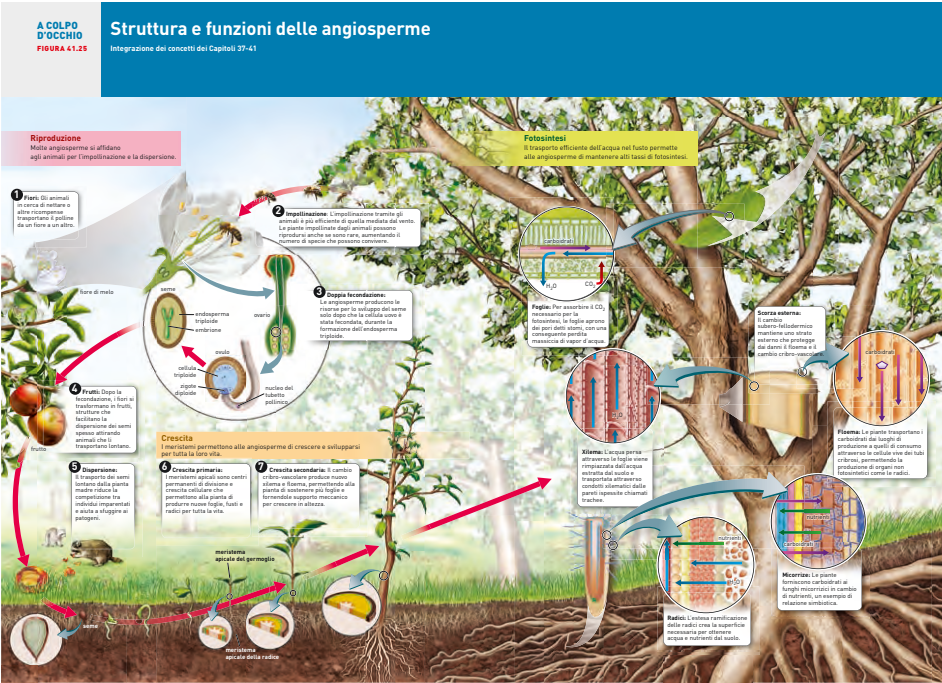
**CONCLUSIONE** Le foglie di tabacco che non sono mai state esposte al TMV possono acquisire resistenza all'agente patogeno se un'altra foglia della stessa pianta è stata precedentemente esposta al virus. Questo risultato dimostra che un segnale è trasmesso dalla foglia infettata alle parti ancora indenni della pianta, e che questo segnale scatena una risposta immunitaria che protegge la pianta da ulteriori infezioni.



**UN PASSO IN PIÙ** Oggi sappiamo che le piante acquisiscono immunità nei confronti di un'ampia gamma di patogeni oltre al virus.

Fonte: Ross, A. F. Systemic Acquired Resistance Induced by Localized Virus Infections in Plants. *Virology* 14, 340-358 (1961).

Lungo tutto il testo, i concetti correlati ai filoni tematici sono contestualizzati nei **CASI DI STUDIO**, che precedono alcuni gruppi di capitoli e sono richiamati e ampliati all'interno dei capitoli stessi in paragrafi dedicati, riconoscibili dal simbolo . Spesso i diversi contenuti della biologia, se riesaminati insieme, forniscono nuove chiavi interpretative: le schede **A COLPO D'OCCHIO** favoriscono la visione d'insieme dei concetti biologici più articolati che attraversano più capitoli.



## RISORSE DIGITALI

A questo indirizzo sono disponibili le risorse multimediali di complemento al libro:  
**[online.universita.zanichelli.it/morris](https://online.universita.zanichelli.it/morris)**

Per accedere alle risorse protette è necessario registrarsi su **[my.zanichelli.it](https://my.zanichelli.it)** inserendo la chiave di attivazione personale contenuta nel libro. Nel sito sono disponibili i video e le risposte alle domande **VERIFICA SE HAI CAPITO**. Inoltre, dal sito è possibile accedere direttamente, mediante un link, ai test interattivi sulla piattaforma ZTE.

## APP GUARDA!

Con l'app **GUARDA!** si può accedere ai contenuti digitali in modo immediato usando lo smartphone o il tablet. Inquadrando il logo presente in apertura di ogni capitolo è possibile guardare i video del corso, eseguire i test interattivi e consultare le risposte alle domande proposte nel libro.

L'app **GUARDA!** si scarica gratis da App Store (sistemi operativi Apple) o da Google Play (sistemi operativi Android).



Scarica **GUARDA!** e inquadra qui per vedere le risorse digitali di questo capitolo



## CASO DI STUDIO 7

## Agricoltura

## Nutrire una popolazione in crescita

Nel 2008, in tutto il mondo, dall'Asia del sud all'Africa e ai Caraibi, la gente è scesa in strada per protestare contro il rincaro dei generi alimentari. Le loro paure e frustrazioni erano comprensibili: tra il 2005 e il 2008 i prezzi del cibo erano saliti alle stelle. Il prezzo del mais era quasi triplicato, mentre quello del frumento e del riso quasi raddoppiato. Le persone meno abbienti, che spendono

**QUALE SARÀ  
L'IMPATTO DELLA  
CRESCENTE  
DOMANDA DI CIBO  
SUL PIANETA?**

gran parte dei loro guadagni per il cibo, erano state le più colpite. La Food and Agricultural Organization (FAO) delle Nazioni Unite ha stimato che, nel solo 2008, i rincari abbiano fatto aumentare il numero di persone che soffrono la fame di altri 40 milioni.

Il brusco aumento dei prezzi dei generi alimentari ha sollevato molte domande. La popolazione umana è cresciuta più velocemente della sua capacità di produrre cibo? Nel 1798, Thomas Malthus nel suo *Saggio sul principio di popolazione* sostenne che, mentre le popolazioni hanno il potenziale di crescere esponenzialmente, il rifornimento di cibo rimane limitato. Il saggio di Malthus influenzò Charles Darwin, che riconobbe in esso la descrizione della lotta per la sopravvivenza che si osserva in natura.

Non c'è però alcuna prova del fatto che il picco dei prezzi del cibo a livello mondiale osservato nel 2008 sia stato causato dalla sovrappopolazione. Al contrario, diversi fattori hanno contribuito all'aumento dei prezzi, due dei quali sono particolarmente rilevanti.

Il primo fattore è stato la siccità che ha colpito diverse regioni chiave per la produzione di cereali. La lezione da trarne è che, anche nelle regioni sviluppate, il clima rimane importante. In particolare, siccità e alte temperature possono rallentare o anche arrestare la crescita delle colture. L'irrigazione può contrastare tali effetti, ma è costosa, soprattutto per le enormi quantità di acqua di cui le piante hanno bisogno. Per esempio, una vacca da carne beve circa 15 000 litri d'acqua all'anno, una quantità irrisoria se paragonata ai circa 3 milioni di litri necessari per produrre il mangime che quella vacca consumerà nello stesso periodo.

Il secondo fattore a causare il rincaro dei generi alimentari è stato un drastico aumento nel prezzo del petrolio, che ha aumentato il costo di produzione del cibo. Per buona parte della storia, le principali fonti di energia utilizzate nella produzione di cibo sono state i raggi solari e il sudore della fronte, cioè il lavoro muscolare, di chi coltivava i campi. Oggi, invece, i combustibili fossili fanno funzionare i trattori, sono usati per produrre fertilizzanti e fitofarmaci e fanno muovere le pompe per l'irrigazione. Per questo, quando sale il prezzo del petrolio, sale anche quello del cibo.

Quando il prezzo del petrolio ha iniziato a calare nella seconda metà del 2008, è diminuito anche il costo dei generi alimentari. Per la popolazione consumatrice è stato un sollievo, ma è possibile ignorare le preoccupazioni di Malthus? Durante il 2011, la popolazione mondiale ha superato quota 7 miliardi e le Nazioni Unite stimano che nel 2100 supererà i 10 miliardi. Considerando l'impatto dei cambiamenti climatici, il diffondersi dei parassiti e delle malattie e la degradazione dei suoli agricoli, la sfida di produrre cibo a sufficienza per tutti può sembrare ardua. Quale sarà l'impatto della crescente domanda di cibo sul pianeta?

Prima che gli esseri umani iniziassero a coltivare le piante, cacciavano e raccoglievano ciò di cui si nutrivano. Questi antichi cacciatori-raccoglitori preferivano le piante facili da raccogliere, che permettevano loro di accumulare grandi quantità di cibo in poco tempo.

Quando gli esseri umani iniziarono a formare insediamenti stabili, impararono a coltivare piante commestibili. I primi che si dedicarono all'agricoltura dovevano rimuovere le specie di erbe infestanti, che non costituivano fonte di cibo, e allo stesso tempo mettere da parte la semente per la semina successiva. Invece di raccogliere i semi dalle piante nel campo, costruirono attrezzi per tagliare gli steli e portare a casa le spighe intere. La raccolta divenne più efficiente.

Questa modalità di raccolta ebbe un profondo impatto sulle piante. Solo i semi che rimanevano saldamente attaccati allo stelo erano trasportati al villaggio e diventavano quindi semente per l'anno successivo. In tal modo, gli esseri umani inavvertitamente furono responsabili di una selezione artificiale.

Consideriamo per esempio il frumento. Nell'ambiente selvatico, la selezione naturale favorisce le varianti in cui le cariossidi (i frutti del frumento, chiamati comunemente "chicchi", che contengono i semi) sono protette da foglie modificate, chiamate glume, ma si separano facilmente dalla pianta permettendone la dispersione. In agricoltura invece, si preferiva il frumento le cui cariossidi rimanevano attaccate alla pianta e che erano per questo più facili da raccogliere. Con il tempo, la versione coltivata divenne incapace di disperdere i propri semi. In tal modo, queste specie di piante furono domestiche, cioè divennero incapaci di sopravvivere e riprodursi da sole.

Gli esseri umani hanno uno stretto rapporto con il frumento e altre piante erbacee da molto tempo. Oggi più del 60% dell'energia fornita dagli alimenti proviene dai cereali, soprattutto da frumento, riso e mais.

Le colture più antiche furono domestiche poco più di 10 000 anni fa. Gli esseri umani passarono da

cacciatori-raccoglitori ad agricoltori in almeno sei diverse località del mondo. A partire da questi luoghi, l'agricoltura si diffuse insieme alle innovazioni tecnologiche. Per esempio, gli aratri trainati da animali potevano dissodare terreni pesanti che erano difficili da lavorare con attrezzi manuali. L'irrigazione permetteva la coltivazione in periodi di ridotte precipitazioni.

Verso la fine del XIX secolo e all'inizio del XX, si cominciò a riconoscere il ruolo dei microbi nelle malattie delle piante e l'importanza dei nutrienti come l'azoto e il fosforo per la loro crescita. Con l'invenzione del motore a combustione interna, l'agricoltura incominciò a meccanizzarsi. Gli aumenti in termini di resa (misurata in peso di raccolto per unità di superficie di terreno) rimanevano però modesti.

All'inizio del secolo scorso, fu avviata la produzione industriale di fertilizzanti azotati, che stimolavano significativamente la crescita delle piante. I progressi nel campo della genetica permisero anche di iniziare ad applicare quelle conoscenze al miglioramento vegetale. Questi avanzamenti portarono a un periodo di prodigiosi incrementi nelle produzioni conosciuto come "rivoluzione verde". Durante la seconda metà del secolo scorso, le rese delle colture crebbero a vista d'occhio.

**La domesticazione del frumento.** Frumento selvatico (a sinistra) e frumento domesticato moderno (a destra). Le cariossidi del frumento selvatico, protette da glume provviste di punte lunghe, dure e seghettate (chiamate ariste o reste), si staccano facilmente dalla pianta favorendone la dispersione. Le cariossidi del frumento domesticato rimangono attaccate alla pianta, fatto che ne facilita la raccolta.



# La diversità delle piante

Scarica **GUARDA!** e inquadra qui per vedere le risorse digitali di questo capitolo



## CONCETTI CHIAVE

### 41.1 L'EVOLUZIONE DELLA DIVERSITÀ VEGETALE

La storia evolutiva delle piante è stata plasmata dalla sfida di compiere la fecondazione, la dispersione e la fotosintesi in ambienti di terraferma.

### 41.2 LE BRIOFITE

Le briofite hanno una generazione gametofitica dominante, sono di piccole dimensioni e utilizzano l'umidità superficiale per l'approvvigionamento d'acqua.

### 41.3 LE PTERIDOFITE

Le pteridofite hanno piccoli gametofiti a vita libera e sporofiti a vita libera molto più grandi, dotati di xilema e floema; si trovano principalmente nel sottobosco delle foreste o come epifite.

### 41.4 LE GIMNOSPERME

Le gimnosperme utilizzano il polline per la fecondazione e i semi per la dispersione; hanno fusti legnosi e attualmente sono maggiormente diffuse in regioni aride o con una stagione fredda.

### 41.5 LE ANGIOSPERME

Le angiosperme sono caratterizzate da fiori, frutti, doppia fecondazione e trachee nello xilema; sono il gruppo più diversificato di piante viventi.

Cinquecento milioni di anni fa, le terre emerse del pianeta Terra ospitavano poco più che una crosta vivente costituita da un insieme di microrganismi fotosintetici e non. In seguito, attraverso il processo di selezione naturale, un gruppo di alghe verdi d'acqua dolce iniziò a sviluppare nuovi modi per sopravvivere, riprodursi e compiere la fotosintesi sulla terraferma. I loro discendenti sono gli organismi che chiamiamo piante. Facendo un salto in avanti di 465 milioni di anni, arriviamo ai giorni nostri e le piante sono ovunque. Molto di ciò che costituisce una pianta, come le radici, le foglie, i tronchi degli alberi e i semi, si è evoluto velocemente. Entro il primo quarto del tempo trascorso da quando le piante si sono separate dalle loro antenate alghe, tutte queste componenti erano già presenti, ma mancava ancora una cosa: i fiori. Le piante a fiore, note anche come angiosperme, non compaiono sulla scena prima dell'ultimo quarto di questa storia, eppure costituiscono oggi ben il 90% di tutte le specie vegetali. Molti dei gruppi di piante che esistevano prima delle angiosperme esistono tuttora, ma gli ambienti in cui vivono sono stati plasmati dall'evoluzione delle piante a fiore.

## 41.1 L'EVOLUZIONE DELLA DIVERSITÀ VEGETALE

I parenti più stretti delle piante sono alghe verdi che vivono prevalentemente in stagni e corsi d'acqua. Molte caratteristiche delle piante, per esempio alcune strutture cellulari come i plasmodesmi e gli enzimi per ridurre la perdita di CO<sub>2</sub> durante la fotorespirazione, si trovano anche nelle alghe con cui sono più strettamente imparentate, ma complessivamente le piante sono molto diverse dai loro antenati acquatici. Il motivo è che, evolvendosi sulla terraferma, le piante hanno dovuto sopravvivere in un nuovo ambiente: l'aria. Le alghe possono contare sull'acqua per l'idratazione, il sostegno, la protezione dai raggi ultravioletti e dagli sbalzi di temperatura, e possono usare le correnti d'acqua per trasportare i gameti e disperdere la progenie. La sopravvivenza sulla terraferma ha richiesto l'evoluzione di nuove modalità di crescita e di riproduzione. Abbiamo visto gli adattamenti chiave che permettono alle piante

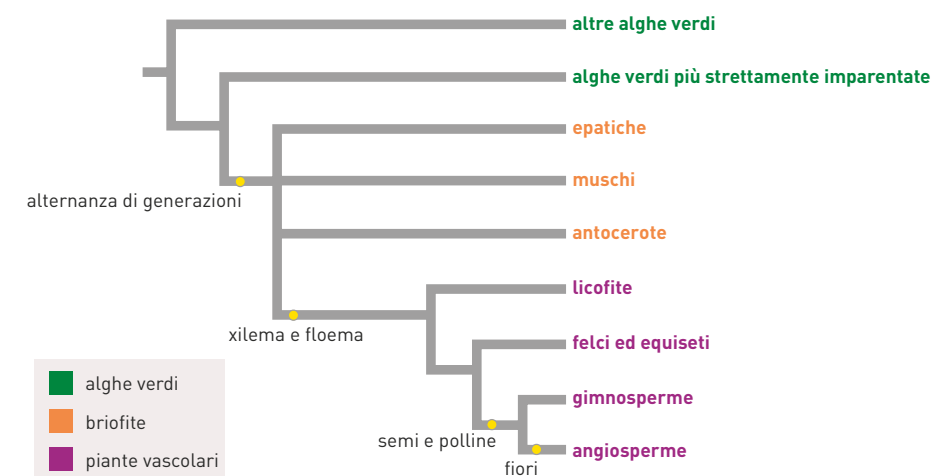
di svolgere la fotosintesi e di riprodursi sulla terraferma nei Capitoli 37-40. In questo capitolo, considereremo questi adattamenti nel loro insieme per indagare come la comparsa di nuovi modi di crescere e riprodursi abbia inciso sulla diversificazione delle piante.

## La storia evolutiva delle piante è caratterizzata da quattro principali cambiamenti nel ciclo vitale e nella struttura

L'albero filogenetico nella **FIGURA 41.1** mostra i quattro eventi principali che trasformarono il modo in cui le piante crescono e si riproducono. Il primo fu l'alternanza di generazioni (**FIGURA 41.2** a pagina seguente). Tutte le specie di piante alternano due fasi pluricellulari: una generazione gametofitica aploide che produce gameti e una generazione sporofitica diploide che produce spore (Figura 41.2b). Le alghe verdi più strettamente imparentate con le piante hanno un ciclo vitale in cui è presente una sola fase pluricellulare, interamente composta da cellule aploidi (Figura 41.2a). Si pensa che l'aggiunta di una seconda generazione diploide, in grado di estendersi verso l'alto al di sopra del gametofito aderente al suolo, abbia conferito alle prime piante che si stavano evolvendo un vantaggio nella dispersione della progenie attraverso l'aria. Le spore rilasciate da sporangi posti al vertice di queste strutture più alte avevano più probabilità di essere trasportate dalle correnti d'aria. Nel frattempo, la generazione gametofitica si sviluppava a ridosso del terreno, dove poteva rilasciare gameti maschili in grado di nuotare nello strato di umidità superficiale. In questo modo, l'evoluzione dell'alternanza di generazioni permise alla generazione gametofitica di sviluppare caratteristiche adatte alla fecondazione e a quella sporofitica di acquisire caratteristiche adatte alla dispersione.

Il secondo importante evento fu l'evoluzione di xilema e floema nella generazione sporofitica (v. Figura 41.1). Questi sistemi di trasporto interno distinguono le piante vascolari da muschi, epatiche e antocerote. Lo xilema trasporta acqua e nutrienti in soluzione, il floema trasporta i carboidrati prodotti dalla fotosintesi (Capitolo 37). Xilema e floema trasportano acqua

**FIGURA 41.1** Albero filogenetico delle piante terrestri. Nel corso della storia evolutiva delle piante terrestri, ci sono state quattro innovazioni chiave: alternanza di generazioni, xilema e floema, semi e polline, fiori.



### 41.3 LE PTERIDOFITE

Le piante vascolari compaiono nella documentazione fossile circa 425 milioni di anni fa. L'evoluzione di xilema e floema conferì alle piante vascolari un vantaggio in termini di aumento di dimensioni e di capacità di mantenere idratate le cellule fotosintetiche grazie all'acqua estratta dal suolo. Come risultato, esse furono in grado di vincere la competizione con le briofite per la luce e le altre risorse e divennero le piante dominanti sulla terraferma.

Le piante vascolari possono essere divise in due gruppi a seconda di come completano il loro ciclo vitale. Le licofite, così come le felci e gli equiseti, disperdono le spore e utilizzano gameti maschili mobili (anterozoidi) per la fecondazione, come le briofite. Le gimnosperme e le angiosperme sono invece piante a seme: disperdono i semi e utilizzano il polline liberato in aria per la fecondazione. In questo paragrafo, ci occuperemo delle piante vascolari che disperdono spore, chiamate pteridofite, che includono le licofite e il gruppo formato da felci ed equiseti. In entrambi i gruppi, lo sporofito è la generazione dominante per dimensioni fisiche. Il gametofito è piccolo, con dimensioni di pochi centimetri, e ha una struttura talloide.

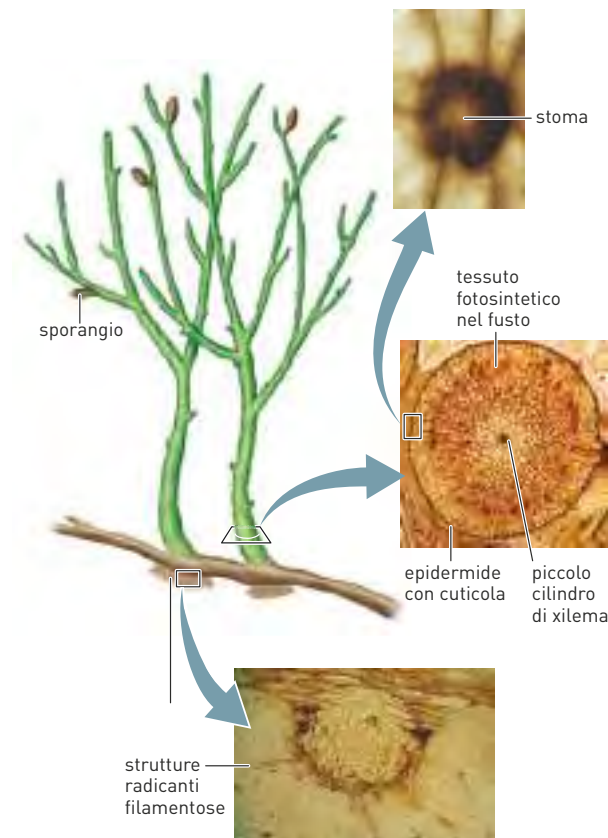
Caratteristica unica delle pteridofite è il fatto che sia lo sporofito sia il gametofito hanno vita libera, e sono in grado di sopravvivere autonomamente (v. Figura 41.3). In molti casi, i gametofiti delle pteridofite sono in grado di compiere la fotosintesi e sono tolleranti al disseccamento. Date le sue dimensioni e la sua presenza nella documentazione fossile, la nostra trattazione si concentrerà sullo sporofito di queste piante.

#### I fossili delle selci di Rhynie offrono una panoramica dell'evoluzione iniziale delle piante vascolari

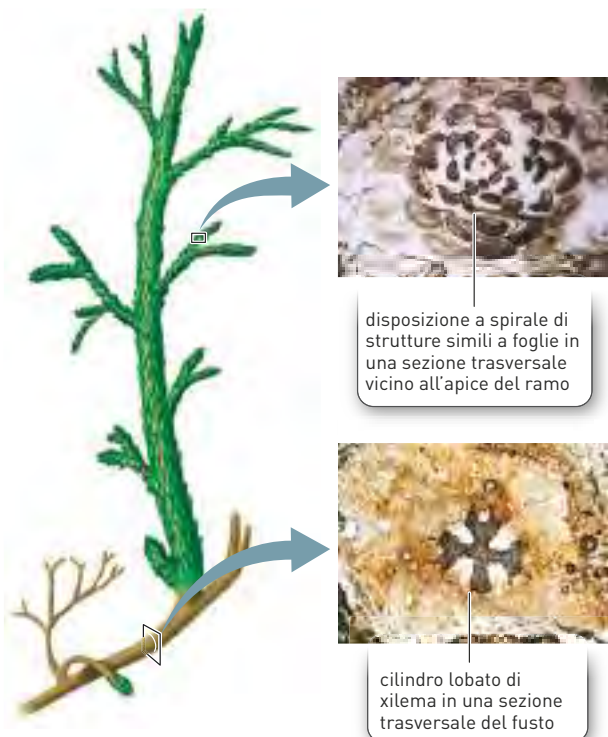
I fossili rinvenuti in un unico sito in Scozia documentano gli stadi principali dell'evoluzione delle piante vascolari. Quattrocento milioni di anni fa, vicino a dove ora c'è il paese di Rhynie, una comunità di ambiente paludoso prosperava in un paesaggio vulcanico. Sorgenti ricche di minerali, simili a quelle che oggi troviamo nel Parco Nazionale di Yellowstone, inglobarono i resti appena depositi della comunità locale di organismi in un tipo di selce, un minerale costituito da silice ( $\text{SiO}_2$ ). Questi fossili mostrano i resti ben conservati di piante, funghi, protisti e piccoli animali.

I fossili delle selci di Rhynie sono le migliori testimonianze che abbiamo delle più antiche piante vascolari. Queste piante erano piccole (alte al massimo 15 cm) e consistevano essenzialmente in fusti fotosintetici che si ramificavano ripetutamente, formando sporangi all'apice di corti rami laterali (FIGURA 41.8). Non avevano foglie e le uniche strutture radicali erano piccole estensioni filiformi della parte inferiore del fusto che correva lungo la superficie del suolo. I fusti avevano una cuticola con stomi e un piccolo cilindro di tessuto vascolare al centro. Molti dei gametofiti ave-

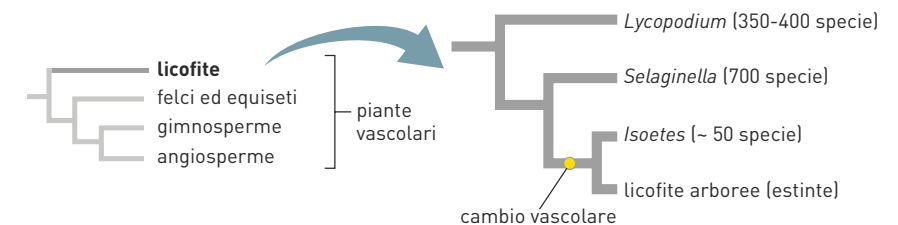
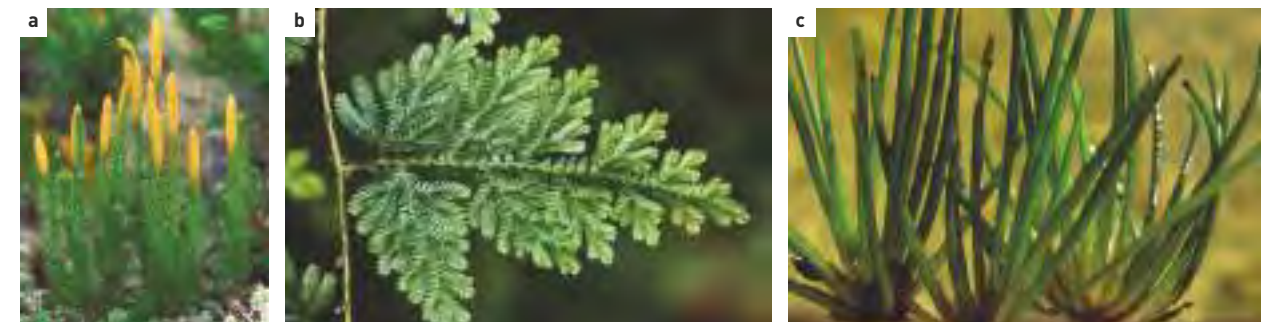
**FIGURA 41.8** *Rhynia*, una pianta vascolare fossile dalle selci di Rhynie, risalenti a 400 milioni di anni fa. Tutte le piante vascolari sono derivate da semplici piante di questo tipo.



**FIGURA 41.9** Un'antica licofita preservata nelle selci di Rhynie, risalenti a 400 milioni di anni fa. Il fossile ha strutture simili a foglie disposte a spirale, radici avventizie (che si originano dal fusto e non dall'apparato radicale) e un cordone centrale di xilema, caratteristiche molto simili a quelle delle licofite attuali.



**FIGURA 41.10** La diversità delle licofite. Le licofite viventi comprendono circa 1200 specie suddivise in tre gruppi principali: (a) *Lycopodium annotinum*, in cui si vedono le foglie che sorreggono gli sporangi gialli all'apice di fusti di 5-30 cm; (b) *Selaginella willdenowii*, in un primo piano che mostra la disposizione appiattita delle sue foglie lunghe 3 mm; (c) *Isoetes lacustris*, una licofita acquatica che raggiunge un'altezza di 8-20 cm.



vano anch'essi fusti cilindrici eretti, per nulla simili ai gametofiti ridotti delle piante vascolari attuali.

I fossili delle selci di Rhynie documentano anche un altro aspetto dell'iniziale evoluzione delle piante: alcuni fossili hanno uno sporofito ramificato che include cellule con pareti rinforzate da lignina, ma senza traccia di tessuto vascolare. Evidentemente, le piante hanno acquisito la struttura eretta, che associamo alle piante vascolari attuali, prima che si evolessero i tessuti differenziati del sistema vascolare (xilema e floema). Una volta che i tessuti vascolari si sono evoluti, hanno svolto un ruolo centrale nel plasmare l'evoluzione successiva dello sporofito.

#### Le licofite hanno acquisito foglie e radici indipendentemente dalle altre piante vascolari

Una delle popolazioni fossili conservate nelle selci di Rhynie è decisamente più grande e complessa delle altre. In questi sporofiti fossili strutture simili a foglie sono disposte a spirale lungo il fusto e un cilindro di xilema con spessi lobi corre al centro del fusto (FIGURA 41.9). Questi sono tra i fossili più antichi di licofite, un gruppo di piante vascolari che oggi possiamo trovare in ambienti che vanno dalla foresta pluviale tropicale alla tundra artica. Poiché le licofite si sono separate per prime dall'albero filogenetico, sono considerate il gruppo fratello di tutte le altre piante vascolari (v. Figura 41.1).

I fossili indicano che le foglie delle licofite si sono evolute indipendentemente da quelle delle felci, dei licopodi e delle piante a seme. Un carattere distintivo delle piccole foglie delle licofite è che contengono una sola nervatura. Oggi sono note circa 1200 specie di licofite. Alcune crescono a ridosso del suolo e producono fusti ramificati ricoperti da piccole foglie (FIGU-

RA 41.10a) oppure foglie allineate disposte su un singolo piano (FIGURA 41.10b), mentre altre crescono come epifite nelle foreste tropicali. Le licofite viventi più caratteristiche sono quelle del genere *Isoetes*, piccole piante che crescono al margine dei laghi o dei corsi d'acqua a scorrimento lento (FIGURA 41.10c). Osservando oggi una di queste piante, è difficile immaginare che in passato i suoi parenti comprendessero alberi enormi.

#### Le antiche licofite comprendevano alberi giganteschi che dominavano le paludi carbonifere 320 milioni di anni fa

I fossili mostrano che nelle antiche licofite si sono evolute altre caratteristiche convergenti con quelle delle piante a seme, come un cambio vascolare e un cambio subero-fellodermico, che hanno permesso loro di sviluppare alberi alti anche 40 metri (FIGURA 41.11). Le am-

**FIGURA 41.11** Licofite giganti. (a) Rappresentazione artistica di licofite giganti. (b) Un bosco fossile di licofite arboree, che mostra le strutture radicali e gli spessi fusti; i tronchi fossili si sono conservati grazie al seppellimento durante un'alluvione, che ha inglobato le loro parti basali.



## COME LO SAPPIAMO?

FIGURA 41.22

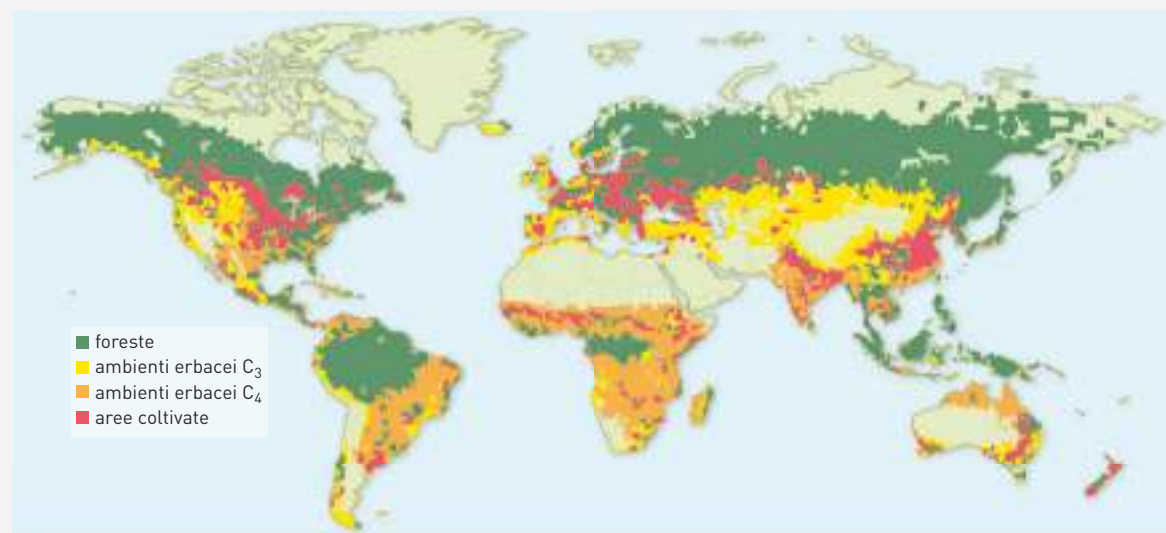
## Quando si sono diffusi gli ambienti erbacei sulla terraferma?

**CONTESTO** Oggi steppe, praterie e altri ambienti erbacei dominati da graminacee si estendono su ampie superfici all'interno dei continenti. Tuttavia, le graminacee non si fossilizzano facilmente. Come possiamo capire in che modo gli ambienti erbacei si sono sviluppati nel tempo?

**IPOTESI** Gli ambienti erbacei si sono espansi in concomitanza con i cambiamenti del clima negli ultimi 50 milioni di anni.

**OSSERVAZIONI ED ESPERIMENTI** Molte piante, comprese le graminacee, formano nelle loro cellule piccole strutture di silice ( $\text{SiO}_2$ ) dette fitoliti. I fitoliti aprono una finestra sul

passato perché persistono nel suolo (ovvero non si decompongono) e diversi gruppi di piante possono essere identificati in base alla loro struttura. Così, i diversi insiemi di fitoliti nel suolo possono essere utilizzati per distinguere tra le graminacee di ambienti aperti (dove le graminacee sono presenti ma gli alberi sono pochi o assenti) e quelle che crescono nel sottobosco. Inoltre, i mammiferi che si nutrono di graminacee sviluppano denti con corona alta e anche questi denti si conservano bene, fornendoci una prova indiretta della storia degli ambienti erbacei. Infine, le graminacee  $\text{C}_4$ , adattate ad ambienti caldi e soleggiati con scarse precipitazioni, hanno una caratteristica composizione isotopica del carbonio, determinata dall'iniziale fissazione del



doni sono adatte ad ambienti con substrati sabbiosi, acque correnti o livelli dell'acqua oscillanti. Per esempio, la loro base fogliare produce un saldo appiglio che impedisce alle foglie di essere strappate via dall'acqua corrente. Inoltre, molte monocotiledoni producono foglie a forma di nastro che si allungano da una zona permanente di divisione e di espansione cellulare posta alla base della foglia. Allungandosi continuamente dalla base, le foglie delle monocotiledoni possono estendersi al di sopra del livello oscillante dell'acqua.

Per quanto possano aver avuto origine in habitat umidi, oggi le monocotiledoni crescono in un'ampia gamma di ambienti, compresi alcuni con stagioni asciutte. Uno dei gruppi più diversificati di monocotiledoni è quello delle graminacee. Molte di esse producono fusti che crescono orizzontalmente ramificandosi, permettendo di coprire ampie aree. Grazie alle loro foglie lineari che crescono dalla base, le

graminacee possono sopportare il pascolo così come anche il fuoco e l'aridità. Molte graminacee sono in grado di tollerare ambienti secchi grazie a radici che si estendono in profondità nel suolo. In più, la fotosintesi  $\text{C}_4$  si è evoluta più volte tra le graminacee. Come descritto nel Capitolo 37, le piante  $\text{C}_4$  possono evitare la fotorespirazione, accrescendo così l'efficienza della fotosintesi. Le graminacee sono tra i gruppi di piante di maggior successo e si sono diffuse in tutto il mondo negli ultimi 20 milioni di anni in seguito a cambiamenti climatici (COME LO SAPPIAMO? FIGURA 41.22). Oggi, circa il 30% degli ambienti terrestri è composto da praterie e habitat affini dominati dalle graminacee.

### Le eudicotiledoni sono il gruppo più diversificato di angiosperme

Le prime testimonianze fossili di eudicotiledoni risalgono a circa 125 milioni di anni fa. Tra 90 e 80 milio-

$\text{CO}_2$  da parte della PEP carbossilasi (Capitolo 37). Oggi è possibile ricostruire la storia degli ambienti dominati dalle graminacee  $\text{C}_4$  misurando le quantità di  $^{13}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  nei denti dei mammiferi, nei minerali carbonatici del suolo e, più recentemente, nei minuscoli quantitativi di sostanza organica incorporati nei fitoliti.

**RISULTATI** Gli studi della struttura dei denti dei mammiferi (grafico in alto), dei fitoliti (grafico al centro) e della composizione isotopica del carbonio nello smalto dei denti dei cavalli nelle regioni centrali del continente nordamericano (grafico in basso) dimostrano che gli ambienti erbacei si sono espansi tra 20 e 15 milioni di anni fa, mentre quelli a fotosintesi  $\text{C}_4$  si sono diffusi più tardi, tra 8 e 6 milioni di anni fa.

**CONCLUSIONE** In Nord America gli ambienti erbacei si sono espansi quando i livelli di  $\text{CO}_2$  sono calati e il clima è diventato più arido. Altri continenti mostrano un nesso analogo tra diffusione degli ambienti erbacei e cambiamenti climatici.

**UN PASSO IN PIÙ** Attualmente, il contenuto di  $\text{CO}_2$  dell'atmosfera sta salendo rapidamente, fatto che può influenzare la capacità competitiva delle graminacee  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . Sono in corso ricerche per comprendere come il cambiamento climatico globale influenzerà gli ambienti erbacei e gli altri tipi di vegetazione.

Fonte: Stömborg, C. A. E. Evolution of Grasses and Grassland Ecosystems. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 39, 517-544 (2011).



ni di anni fa la maggior parte dei gruppi esistenti oggi era già presente. Si stima che attualmente sulla Terra si trovino 160 000 specie di eudicotiledoni, che costituiscono quasi tre quarti di tutte le specie di angiosperme (FIGURA 41.23 a pagina seguente). Le eudicotiledoni sono ben rappresentate nella documentazione fossile, anche perché il loro polline è facilmente riconoscibile. I granuli di polline delle eudicotiledoni hanno infatti tre aperture da cui fuoriesce il tubetto pollinico, mentre il polline di tutte le altre piante a seme ha una sola apertura.

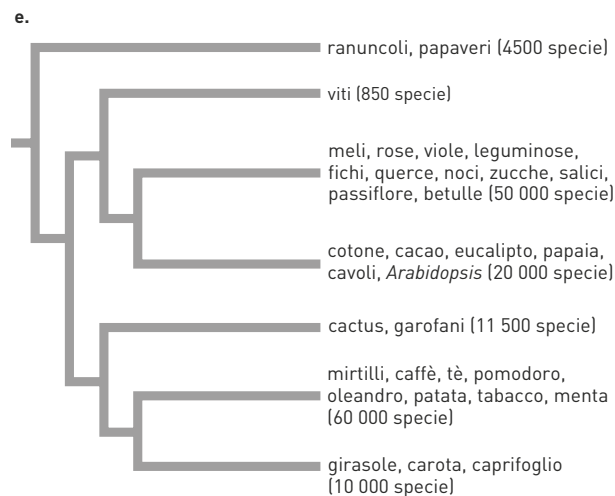
Le eudicotiledoni devono il loro nome al fatto di produrre due cotiledoni, anziché uno solo come nelle monocotiledoni. Poiché anche tutte le altre angiosperme, eccetto le monocotiledoni, hanno due cotiledoni, questo gruppo, il più vasto tra le angiosperme, è indicato come *eu-*, cioè “vere” dicotiledoni. Molte eudicotiledoni producono uno xilema ad alta capa-

cità di conduzione. Il loro elevato tasso di trasporto dell'acqua, e di conseguenza il loro alto tasso di fotosintesi, può spiegare perché gli alberi appartenenti alle eudicotiledoni siano così abbondanti nella maggior parte delle foreste. Inoltre, molte eudicotiledoni arboree non hanno una forte dominanza apicale e producono chiome con molti rami che si allargano lateralmente. La varietà nell'architettura della chioma delle eudicotiledoni arboree riduce la competizione per la luce e lo spazio, permettendo potenzialmente a più specie di coesistere. Oggi, gli alberi delle foreste pluviali tropicali sono una componente importante della diversità delle eudicotiledoni. Esempi di alberi familiari che appartengono alle eudicotiledoni delle regioni temperate sono querce, salici ed eucalipti.

All'altro estremo dello spettro di dimensioni ci sono le eudicotiledoni erbacee. Queste piccole piante costituiscono una frazione sostanziale della diversità

**FIGURA 41.23 Diversità e filogenesi delle eudicotiledoni.**

Le eudicotiledoni comprendono: (a) la quercia rossa (*Quercus rubra*); (b) le passiflore, rampicanti tropicali (*Passiflora caerulea*); (c) gli arbusti del genere *Banksia*, nativi dell'Australia; (d) il cactus a coda di castoreo (*Opuntia basilaris*). (e) L'albero filogenetico mostra i rapporti evolutivi fra le eudicotiledoni, con indicate alcune piante conosciute. I gruppi con poche specie non sono riportati.



delle eudicotiledoni. Le piante erbacee non formano fusti legnosi e, invece di affrontare un periodo di aridità o di freddo, la loro porzione aerea muore ogni anno. La forma di crescita erbacea sembra essersi evoluta più volte nelle eudicotiledoni, a mano a mano che i gruppi tropicali rappresentati da piante legnose si espandevano nelle regioni temperate. Fondamentale per il successo delle piante erbacee è la capacità di produrre uno xilema efficiente: esse possono ricostruire il fusto ogni anno con un investimento minimo. Esempi di eudicotiledoni erbacee sono le viole, i ranuncoli e i girasoli.

A un estremo delle eudicotiledoni erbacee ci sono le

specie annuali, che completano il ciclo vitale in meno di un anno. Le piante annuali persistono durante i periodi sfavorevoli sotto forma di semi. Questa forma vegetale è esclusiva delle angiosperme, e la maggior parte delle piante annuali appartiene alle eudicotiledoni.

La varietà delle eudicotiledoni include anche molte altre forme. La maggior parte delle piante parassite e praticamente tutte le piante carnivore sono eudicotiledoni, così come lo sono le piante succulente che vivono nei deserti. Alcune, come le rose o i mirtilli, sono arbusti legnosi. Altre crescono come epifite nella volta delle foreste pluviali. Altre ancora, come la vite e il caprifoglio, sono rampicanti.

Infine, le eudicotiledoni danno un contributo significativo alla varietà alimentare sulle nostre tavole. Mele, carote, zucche e patate sono tutte eudicotiledoni, così come il caffè, il cacao (che fornisce la materia prima del cioccolato) e il tè. Sono eudicotiledoni anche molte piante con semi ricchi d'olio, come olive, noci, soia e colza, nonché le specie della famiglia delle leguminose, come i fagioli. Alcuni membri di questa famiglia instaurano interazioni simbiotiche con batteri azotofissatori (Capitolo 37) e producono quindi semi ricchi di composti azotati, come le lenticchie e la soia.

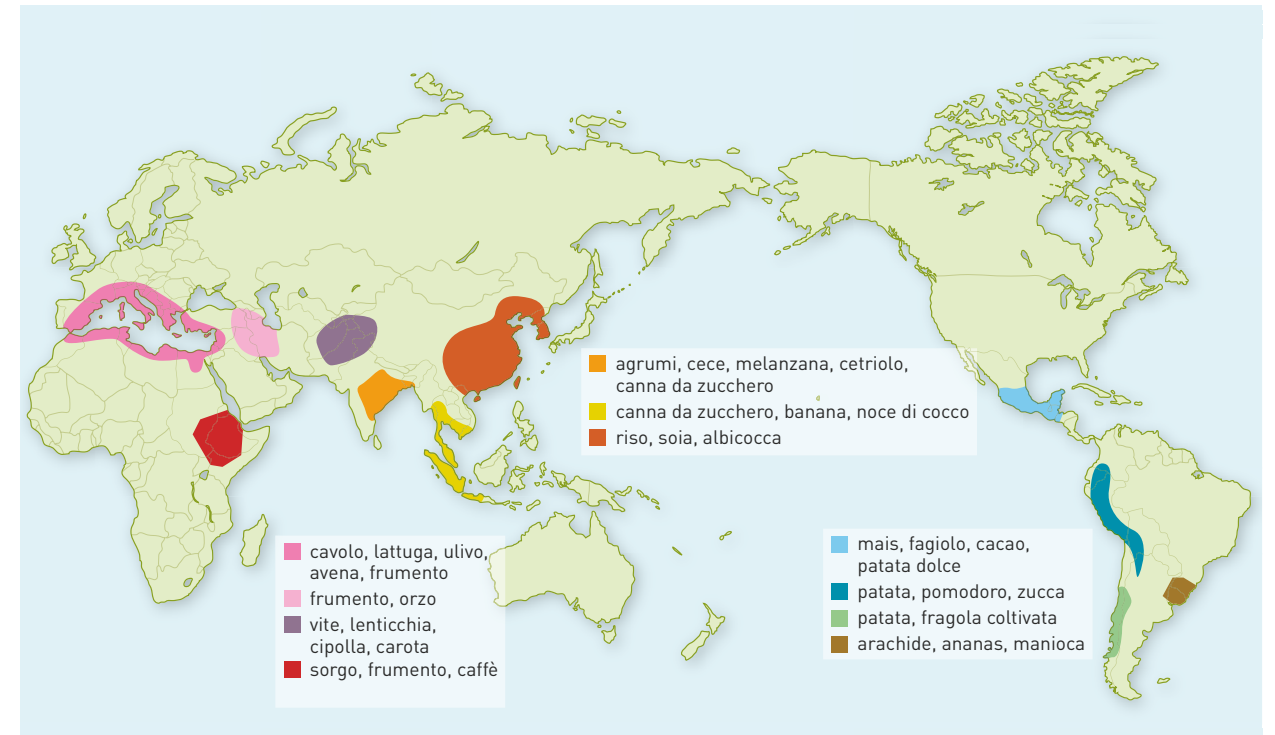
**CASO DI STUDIO 7****AGRICOLTURA**

*Nutrire una popolazione in crescita*

**Che cosa si può fare per proteggere la diversità genetica delle specie coltivate?**

Delle oltre 400 000 specie di piante viventi sulla Terra, sono pochissime quelle che mangiamo e, di queste, quasi tutte sono angiosperme. La maggior parte delle piante che mangiamo appartiene a specie coltivate, molte delle quali hanno perso, a causa della selezione artificiale, la capacità di sopravvivere e riprodursi da sole. Delle circa 200 specie che sono state domesticate, 12 forniscono più dell'80% dell'apporto calorico per le popolazioni umane. Solo tre – frumento, riso e mais – costituiscono più dei due terzi di questo apporto.

In agricoltura, si selezionano varietà facili da coltivare e da raccogliere, ma una conseguenza di questa selezione è il calo della variabilità genetica delle specie coltivate. Dal momento che patogeni e parassiti continuano a evolvere, ogni perdita di diversità genetica genera un rischio sostanziale. Per esempio, prima del 1970 il fungo patogeno *Bipolaris maydis* distruggeva meno dell'1% del raccolto annuale di mais degli Stati Uniti. Nel 1970, tuttavia, distrusse più del 15% del raccolto di mais in un solo anno. La gravità dell'epidemia fu proprio causata dall'uniformità genetica delle varietà di mais piantate all'epoca.

**FIGURA 41.24 I "centri di origine" in cui sono state domestiche diverse specie di piante coltivate.**

Nelle popolazioni spontanee di piante la variabilità genetica per la resistenza ai patogeni rende improbabile che un nuovo ceppo di un patogeno possa infettare tutte le piante.

Il genetista e botanico russo Nicolai Vavilov fu uno dei primi a comprendere l'importanza di salvaguardare la variabilità genetica tanto delle piante coltivate, quanto delle loro parenti selvatiche. All'inizio del secolo scorso, Vavilov organizzò una serie di spedizioni per raccogliere semi in tutto il mondo. Le osservazioni di Vavilov sulle piante coltivate e sulle loro parenti selvatiche lo portarono a ipotizzare che le piante fossero state domestiche in luoghi specifici. Da questi luoghi, la domesticazione delle piante si sarebbe poi diffusa attraverso le migrazioni e i commerci umani (FIGURA 41.24). Vavilov chiamò queste regioni "centri di origine" e pensava che coincidessero con i centri di diversità sia delle piante coltivate sia delle loro parenti selvatiche. Nella seconda guerra mondiale, durante l'assedio di Leningrado in cui morirono più di 700 000 persone, il personale dell'istituto Vavilov cercò di salvaguardare quella che era all'epoca la più grande collezione di semi al mondo. Almeno uno dei volontari morì di fame pur essendo circondato da grandi quantità di semi commestibili. La dedizione di queste persone mostra il valore inestimabile della diversità genetica su cui si basa il nostro approvvigionamento di cibo.

Oggi le banche di semi aiutano a preservare la diversità genetica delle piante coltivate e delle loro parenti selvatiche. Tuttavia, le banche di semi possono

conservare solo una frazione della variabilità genetica presente in natura. Per completare l'opera, è stato proposto di istituire delle aree protette in corrispondenza dei centri di origine di Vavilov. Nuove minacce ci attendono nel prossimo futuro e, per affrontarle, dovremo affidarci a ogni risorsa genetica disponibile.

La riproduzione, la crescita e la fisiologia delle angiosperme sono riassunte nella FIGURA 41.25 alle pagine seguenti.

**VERIFICA SE HAI CAPITO**

- Confronta la dispersione del polline di un'angiosperma impollinata dagli animali con quella di una conifera impollinata dal vento.
- Indica due caratteristiche (e i loro possibili vantaggi) che hanno contribuito alla diversificazione e al successo delle angiosperme.
- Descrivi alcune delle caratteristiche distintive delle monocotiledoni.
- Spiega in che modo le caratteristiche delle angiosperme possono aver permesso l'evoluzione delle piante erbacee, comprese le piante annuali.
- Quali sono le tre specie vegetali che da sole costituiscono più di due terzi del cibo consumato dagli esseri umani?

# Struttura e funzioni delle angiosperme

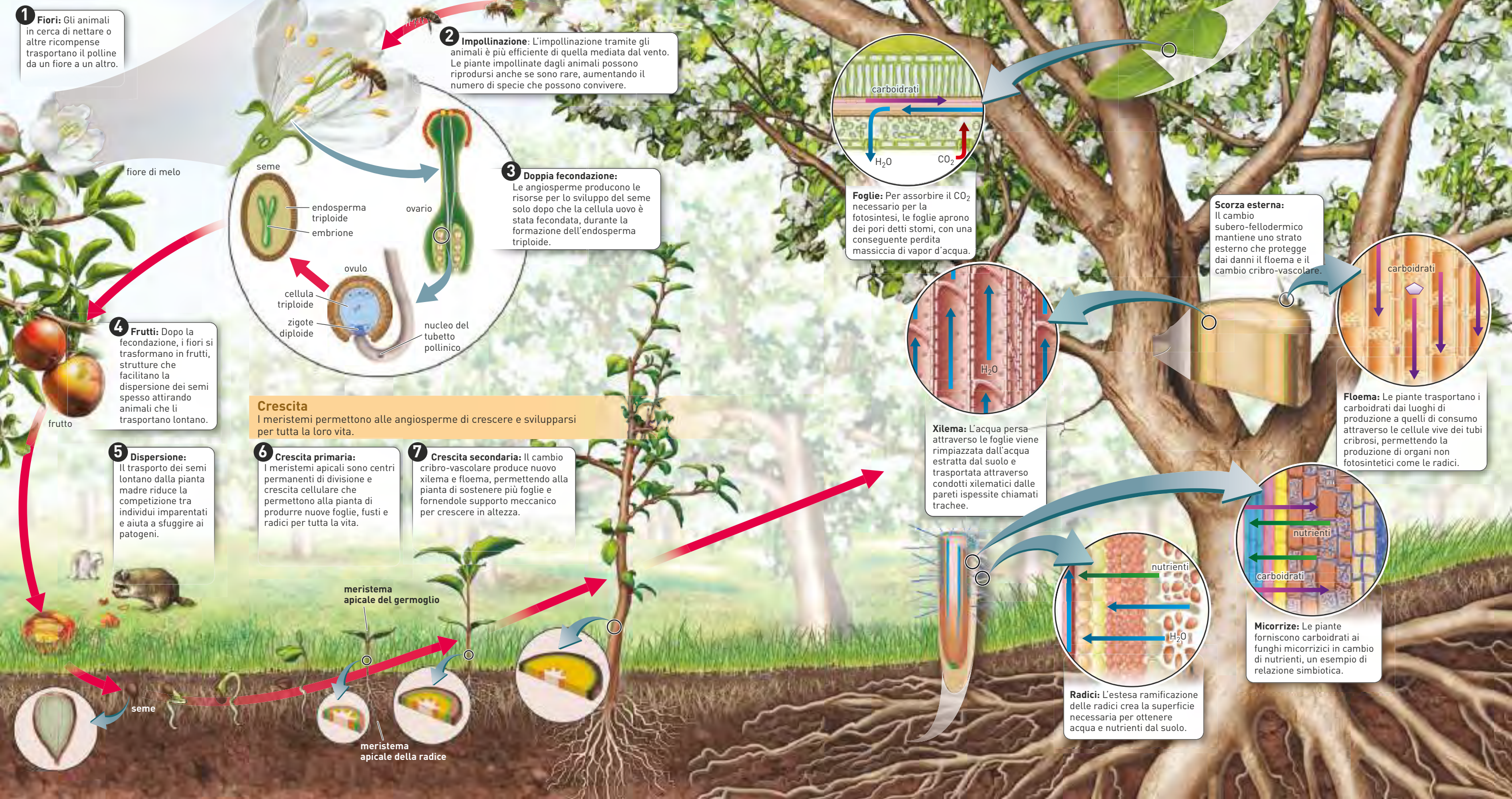
Integrazione dei concetti dei Capitoli 37-41

## Riproduzione

Molte angiosperme si affidano agli animali per l'impollinazione e la dispersione.

## Fotosintesi

Il trasporto efficiente dell'acqua nel fusto permette alle angiosperme di mantenere alti tassi di fotosintesi.



## RIEPILOGO DEI CONCETTI CHIAVE

### 41.1 L'EVOLUZIONE DELLA DIVERSITÀ VEGETALE

La storia evolutiva delle piante è stata plasmata dalla sfida di compiere la fecondazione, la dispersione e la fotosintesi in ambienti di terraferma.

- Le piante terrestri hanno subito quattro principali trasformazioni, ognuna delle quali ha dato origine a un gruppo monofiletico: l'alternanza di generazioni è una caratteristica di tutte le piante terrestri; la formazione di xilema e floema è un tratto comune delle piante vascolari; semi e polline sono caratteri tipici delle piante a seme; il fiore (insieme ad altri caratteri) caratterizza le piante a fiore.
- Nella storia evolutiva delle piante terrestri si osservano due tendenze: la dominanza crescente della generazione sporofitica e la sempre minore dipendenza dall'acqua superficiale.
- Si ritiene che oggi esistano quasi 400 000 specie di piante. Di queste, il 90% è rappresentato da angiosperme e il restante 10% è distribuito in sei altri gruppi principali.
- Le prime testimonianze fossili di angiosperme risalgono a circa 140 milioni di anni fa, più di 300 milioni di anni dopo l'inizio dell'evoluzione delle piante sulla terraferma.
- Il rapido e drastico incremento delle angiosperme iniziato 140 milioni di anni fa ha portato a un aumento generale della diversità delle piante, ma anche al declino di altri gruppi come le gimnosperme e le felci.
- Le umide foreste pluviali tropicali dominate dalle angiosperme hanno reso disponibili nuovi tipi di habitat, in cui altre piante hanno potuto evolversi.

**41.2 LE BRIOFITE** Le briofite hanno una generazione gametofitica dominante, sono di piccole dimensioni e utilizzano l'umidità superficiale per l'approvvigionamento d'acqua.

- Le briofite comprendono tre gruppi di piante (muschi, epatiche e antocerote) che hanno in comune molte caratteristiche. I rapporti tra questi tre gruppi sono incerti, ma tutti hanno avuto origine prima dell'evoluzione delle piante vascolari.
- Le briofite sono piccole piante con un gametofito dominante, sotto forma di un tallo appiattito o di un fusticino foglioso.
- Le briofite non hanno radici, ma assorbono l'acqua dalle loro superfici. Poiché non possono regolare le perdite d'acqua, il loro tasso di idratazione varia in base all'umidità ambientale.

- La generazione sporofitica delle briofite rimane fisicamente e fisiologicamente dipendente dal gametofito. Lo sporofito porta in alto la sede della produzione di spore e, disseccandosi, aumenta la probabilità che le spore siano disperse dal vento.
- In più occasioni è avvenuta un'evoluzione convergente tra briofite e piante vascolari, che ha portato per esempio alla dispersione delle spore tramite gli insetti in alcuni muschi e all'evoluzione di cellule interne con funzioni di trasporto in alcuni muschi e alcune epatiche.
- Gli sfagni, le piante dominanti nelle torbiere, si imbevono di acqua e acidificano l'ambiente, rallentando i processi di decomposizione. Di conseguenza, grandi quantità di carbonio organico si accumulano di anno in anno nelle torbiere.

**41.3 LE PTERIDOFITE** Le pteridofite hanno piccoli gametofiti a vita libera e sporofiti a vita libera molto più grandi, dotati di xilema e floema; si trovano principalmente nel sottobosco delle foreste o come epifite.

- Solo due gruppi di pteridofite hanno membri tuttora viventi: le licofite e il gruppo formato dalle felci e dagli equiseti.
- Trecento milioni di anni fa, le licofite comprendevano grandi alberi che dominavano le foreste paludose. Oggi, le licofite sono piccole piante che vivono nel sottobosco come epifite o in specchi d'acqua poco profondi.
- Felci ed equiseti sono morfologicamente diversi. Le felci producono grandi foglie (fronde) che si srotolano con la crescita, gli equiseti hanno foglie minuscole e le psilofite sono del tutto prive di foglie.



- Nonostante le felci abbiano una lunga storia, la maggior parte delle specie attuali è il risultato di una radiazione adattativa avvenuta dopo l'espansione delle angiosperme.

**41.4 LE GIMNOSPERME** Le gimnosperme utilizzano il polline per la fecondazione e i semi per la dispersione; hanno fusti legnosi e attualmente sono maggiormente diffuse in regioni aride o con una stagione fredda.

- Le piante a seme, che comprendono gimnosperme e angiosperme, dominano gli ambienti terrestri da oltre 200 milioni di anni. Le gimnosperme erano un tempo molto più diversificate e diffuse; oggi ci sono meno di 1000 specie di queste piante.
- Le gimnosperme (inclusendo i molti gruppi estinti) sono parafiletiche. Esistono quattro gruppi di gimnosperme viventi: cicadee, ginkgo, conifere e gnetofite.
- Le cicadee producono grandi foglie su tozzi fusti non ramificati. Sebbene fossero un tempo ampiamente diffuse, oggi si trovano solo in piccole popolazioni frammentate, principalmente nelle regioni tropicali e subtropicali. Molte cicadee sono impollinate dagli insetti e tutte formano simbiosi con batteri azotofissatori.
- Il ginkgo è l'unica specie vivente di un gruppo che era distribuito su tutto il pianeta prima dell'evoluzione delle angiosperme. Il ginkgo è impollinato dal vento ed è un albero alto e ramificato.
- Le conifere comprendono gli alberi più alti e più longevi della Terra. Impollinate dal vento e in massima parte sempreverdi, si trovano principalmente in ambienti freschi o freddi.



- Prima della comparsa delle angiosperme, le conifere erano distribuite ovunque. La loro rarità ai tropici e la loro persistenza nelle regioni temperate potrebbe essere dovuta alla loro dipendenza dal vento per l'impollinazione e al loro xilema formato interamente da tracheidi.

- Le gnetofite sono un piccolo gruppo, composto da appena tre generi e poche specie, che ha sviluppato indipendentemente le trachee e la doppia fecondazione.

**41.5 LE ANGIOSPERME** Le angiosperme sono caratterizzate da fiori, frutti, doppia fecondazione e trachee nello xilema; sono il gruppo più diversificato di piante viventi.

- Le angiosperme, o piante a fiore, si riproducono velocemente e con un uso più efficiente delle risorse grazie all'impollinazione e alla doppia fecondazione.
- La diversità delle angiosperme dipende probabilmente non solo da alti tassi di speciazione, ma anche da bassi tassi di estinzione.
- Le piante a fiore che si affidano agli animali per l'impollinazione possono riprodursi anche se sono lontane tra loro, il che permette alle specie rare di persistere e riprodursi.
- La filogenesi delle angiosperme indica una principale separazione tra due gruppi distinti, le monocotiledoni e le eudicotiledoni.
- Le monocotiledoni hanno un singolo cotiledone, o foglia embrionale, e non formano un cambio cribro-vascolare.
- Le eudicotiledoni hanno due cotiledoni. Molte di esse producono xilema a elevata capacità di conduzione e mostrano una grande varietà di piani di sviluppo.



- Le piante erbacee si sono evolute molte volte all'interno delle eudicotiledoni e contribuiscono in modo importante alla loro diversità.
- L'agricoltura moderna si basa su poche specie di piante con bassa diversità genetica, rendendo le piante coltivate vulnerabili a parassiti e patogeni.

James R. Morris, Daniel L. Hartl, Andrew H. Knoll,  
Robert A. Lue, Melissa Michael

# Biologia

## Come funziona la vita

**Piante**  
**Funghi**

*Biologia. Come funziona la vita* è stato scritto in risposta ai recenti ed entusiasmanti cambiamenti che hanno interessato le scienze biologiche, la didattica e le tecnologie digitali, con l'obiettivo di favorire lo sviluppo della mentalità necessaria per fare ricerca in questo settore.

Lo studio dei viventi richiede la capacità di comprendere e integrare ogni singolo processo in un quadro più vasto, spostandosi continuamente tra il mondo microscopico e quello macroscopico; questo libro risponde proprio all'esigenza di imparare a muoversi dal dettaglio alla visione generale, grazie a una costante ed esplicita integrazione tra i diversi piani in cui si snoda la disciplina.

Il testo segue sei filoni tematici: l'indagine scientifica, i principi chimico-fisici che permettono la vita, la cellula, l'evoluzione, i sistemi, l'impronta umana sul mondo naturale. Questi temi sono contestualizzati nei *Casi*

*di studio*, che presentano alcuni argomenti di attualità e pongono diversi interrogativi di ampio interesse e trasversali alla disciplina, le cui risposte sono fornite nei capitoli successivi all'interno di paragrafi dedicati. Spesso i contenuti della biologia, se riesaminati insieme, forniscono nuove chiavi interpretative: è questo lo scopo delle illustrazioni *A colpo d'occhio*, che mostrano una visione d'insieme dei concetti più articolati. Inoltre, le schede *Come lo sappiamo?* sviluppano la capacità di elaborare le informazioni illustrando il percorso di ricerca che ha portato a un'importante scoperta scientifica. Infine, grazie all'app **Guarda!**, è possibile visualizzare sullo smartphone video, esercizi interattivi e le risposte alle domande presenti nel libro semplicemente inquadrando le apposite icone poste in apertura di ciascun capitolo.

**James R. Morris** è professore di Biologia alla Brandeis University, Waltham, Massachusetts.

**Daniel L. Hartl** è professore di Biologia alla Harvard University e professore di Immunologia e Malattie infettive alla Harvard H. Chan School of Public Health.

**Andrew H. Knoll** è professore di Storia naturale alla Harvard University.

**Robert A. Lue** (1964-2020) è stato professore di Biologia molecolare e cellulare alla Harvard University.

**Melissa Michael** è direttrice del Core Curriculum e assistente alla direzione per l'Undergraduate Instruction for the School of Molecular and Cellular Biology alla University of Illinois, Urbana-Champaign.

### Le risorse multimediali



**[online.universita.zanichelli.it/morris](https://online.universita.zanichelli.it/morris)**

A questo indirizzo sono disponibili le risorse multimediali di complemento al libro. Per accedere alle risorse protette è necessario registrarsi su **my.zanichelli.it** inserendo il codice di attivazione personale contenuto nel libro.

### Libro con ebook



Chi acquista il libro può scaricare gratuitamente l'**ebook**, seguendo le istruzioni presenti nel sito. L'ebook si legge con l'applicazione *Booktab Z*, che si scarica gratis da App Store (sistemi operativi Apple) o da Google Play (sistemi operativi Android).

MORRIS\*BIOLOGIA PIANTE E FUNGHI LUM

**ISBN 978-88-08-18885-4**



9 788808 188854

2 3 4 5 6 7 8 9 0 (60H)