

## La Sezione di Paleobotanica del Museo dell'Orto Botanico di Napoli

P. DE LUCA<sup>1</sup>, J. E. MICKLE<sup>2</sup>, M. R. BARONE LUMAGA<sup>1</sup>, A. MORETTI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Orto Botanico di Napoli, Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Foria 223, 80139 Napoli, Italia;

<sup>2</sup>Department of Botany, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7612, U.S.A.; <sup>3</sup>Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Foria 223, 80139 Napoli, Italia.  
mrbarone@unina.it

**Riassunto.** La Sezione di Paleobotanica del Museo dell'Orto Botanico di Napoli dell'Università di Napoli Federico II mostra, con l'ausilio di fossili, pannelli e diorami, l'evoluzione delle piante terrestri dalle prime piante vascolari fino alle piante attuali. Vengono qui illustrate le tematiche trattate nella Sezione.

**Abstract.** The Paleobotany Section of the Museum at the Botanical Garden of Naples, University of Naples Federico II, Italy, shows through the aid of fossils, panels and dioramas the evolution of land plants from first vascular plants to present ones. The topics treated in the rooms of the Section are here illustrated.

**Key words:** Botanical Garden of Naples, Museum, Paleobotany, Scientific museology

Il Museo di Paleobotanica ed Etnobotanica occupa, all'interno dell'Orto Botanico di Napoli, parte delle sale ristrutturare dell'edificio denominato Castello. La progettazione del Museo risale agli anni ottanta del secolo scorso; la realizzazione della Sezione di Paleobotanica agli inizi degli anni novanta. Hanno partecipato al suo allestimento studiosi italiani e stranieri.

La sezione di Paleobotanica, che occupa le prime tre sale del Museo, mostra, con l'aiuto di campioni fossili, di immagini e di testi esplicativi, l'evoluzione delle piante terrestri partendo dalle prime piante vascolari fino alle piante attuali.

Nella realizzazione dei testi si è fatto riferimento a quanto riportato nei principali trattati di botanica e paleobotanica (BECK 1988; CRONQUIST 1981, 1988; MEYEN 1987; STEWART & ROTHWELL 1993; TAYLOR & TAYLOR 1993; TAYLOR *et al.* 2009)

Nel Museo, inoltre, un albero filogenetico tridimensionale illustra la comparsa e l'evoluzione dei gruppi delle piante terrestri nell'arco di tempo che va dal Siluriano all'epoca attuale (Tab. 1). L'opera, che raggiunge la larghezza di

tre metri e un'altezza di due metri e mezzo, facilita la visualizzazione delle relazioni filogenetiche che intercorrono tra i gruppi sistematici presentati nelle vetrine del Museo.

Vetrine a carattere introduttivo descrivono le modalità di formazione dei fossili e le difficoltà che incontrano i ricercatori nel risalire dai frammenti all'aspetto reale di piante vissute milioni di anni fa (CHALONER 1986; COLLISON 1986).

In ciascuna vetrina (Fig.1) i fossili sono corredati di etichette con l'indicazione della specie, della località da cui provengono i campioni, dell'età dei sedimenti e, in caso di donazioni, del nome del donatore. Le caratteristiche principali dei gruppi trattati nelle vetrine sono presentate con l'aiuto di immagini e di testi. In alcuni casi i reperti fossili sono messi a confronto con l'aspetto di piante, filogeneticamente correlate, che sono in coltivazione nell'Orto Botanico. Vengono illustrate, infine, le fasi evolutive che hanno portato alla formazione di particolari strutture vegetali.

I testi che seguono sono stati elaborati per introdurre i visitatori ai temi trattati nelle vetrine espositive.

Tab. 1 - Le ere geologiche e la comparsa dei vegetali (da: STEWART & ROTHWELL 1993, modificato).

Era	Periodo	Epoca	Milioni di anni fa	Comparsa organismi vegetali	
CENOZOICO	QUATERNARIO		2,5	Diversificazione delle angiosperme	
	TERZIARIO	<i>Pliocene</i>	7		
		<i>Miocene</i>	26		
		<i>Oligocene</i>	38		
		<i>Eocene</i>	54		
		<i>Paleocene</i>	65		
MESOZOICO	CRETACEO		141	Angiosperme	
	GIURASSICO		195	Diversificazione di conifere e felci	
	TRIASSICO		225		
PALEOZOICO	PERMIANO		280	Licofite, calamitacee, felci, progimnosperme, pteridosperme, conifere	
	CARBONIFERO	<i>Pennsylvaniano</i>	325		
		<i>Mississipiano</i>	345		
	DEVONIANO		395		Diversificazione delle piante vascolari
	SILURIANO		435		Briofite, prime piante vascolari
	ORDOVICIANO		500		
	CAMBRIANO		570		
PRECAMBRIANO			4700	Batteri, cianobatteri, alghe	

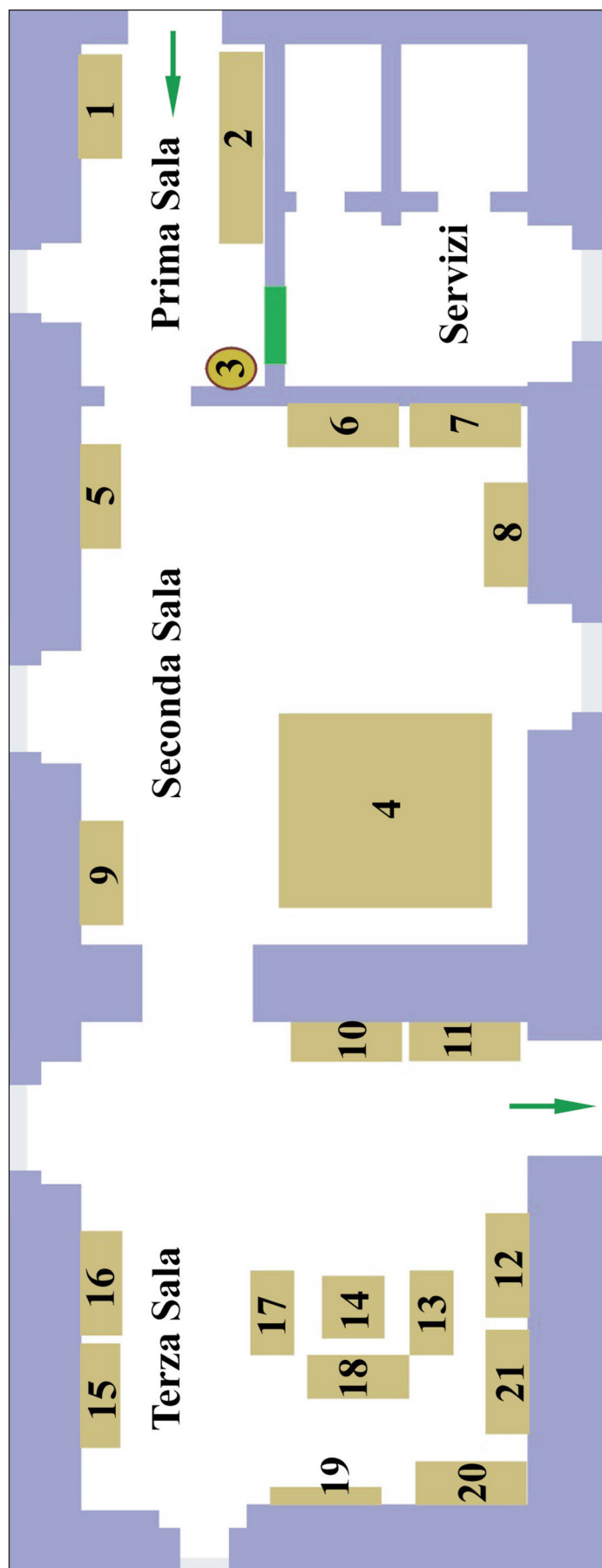


Fig. 1 - Pianta della Sezione di Paleobotanica del Museo con la localizzazione delle vetrine.

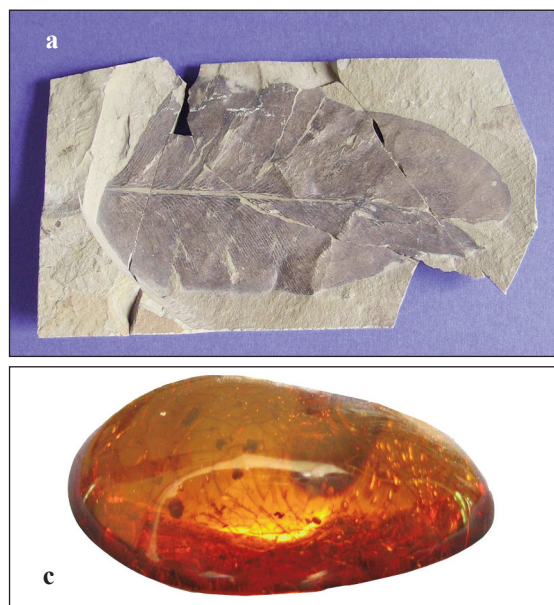
**Prima Sala.** 1: Fossilizzazione e Metodica dei Peel. 2: Xilotomoteca e Carpospermateca. 3: Campione fossile di *Psaronius*.

**Seconda Sala.** 4: Albero filogenetico delle piante terrestri. 5: Nomenclatura paleobotanica. 6: Transizione all'ambiente terrestre. 7: Devoniano. 8: Licofite. 9: Equiseti e Carbonifero.

**Terza Sala.** 10: Felci. 11: Pteridosperme e Progimnosperme. 12: Evoluzione del seme. 13: Evoluzione di stete, foglia, stame, carpello. 14: Altro campione di *Psaronius*. 15: Cicadee e Bennettitee. 16: Conifere e *Ginkgo* 17: Paleoclima. 18: Fossili utili. 19: Campione fossile di *Latania*. 20: Cretaceo. 21: Angiosperme.

## La fossilizzazione

Durante il loro ciclo vitale le piante perdono foglie, rami e strutture riproduttive; queste, una volta cadute al suolo, vengono degradate dall'azione di funghi, batteri e agenti fisici. Se



tali parti vegetali, oppure tutta la pianta alla sua morte, cadono in acque povere di ossigeno e vengono ricoperte velocemente da sedimenti, il materiale organico non viene degradato completamente. Contemporaneamente i sedimenti si accumulano e si trasformano in rocce. Quando, in seguito all'erosione, i residui fossilizzati tornano nuovamente alla luce, possono presentarsi con caratteristiche diverse a seconda dei processi intervenuti durante la fossilizzazione.

Si parla di **pietrificazione** quando la fossilizzazione avviene in sedimenti ricchi di acqua calcarea o di origine vulcanica e il fossile si mineralizza conservando molti dettagli cellulari.

Se il frammento vegetale è ricoperto lentamente, si ha una completa degradazione del materiale organico che lo costituiva e nel sedimento indurito resta solo la sua impronta; in tal caso si parla di **impronta fossile**.

Si parla invece di **compressione** se il frammento vegetale, ricoperto velocemente dai sedimenti, conserva parte del materiale organico

che si presenta compresso e scurito (Fig. 2a).

Se durante la fossilizzazione una parte del pezzo vegetale viene degradato, la cavità che si forma può essere riempita dai sedimenti: si forma così un **calco** (Fig. 2b).

In casi particolari, quale ad esempio l'in-

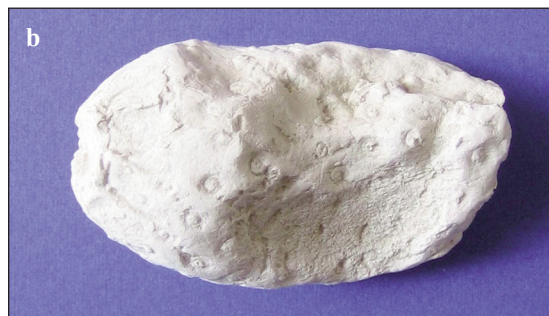


Fig. 2 - **a.** Esempio di compressione: *Acrosticum hesperium* Lesquereux (Adiantaceae). Eocene, Colorado, U.S.A. **b.** Esempio di calco: *Stigmara* Brongniart (Lepidodendraceae). Carbonifero, Indiana, U.S.A. **c.** Ambra con frammenti di foglia. Oligocene, Repubblica Dominicana.

globamento dei frammenti vegetali nella resina, questi restano inalterati nel loro aspetto, mentre la resina indurisce trasformandosi in **ambra** (Fig. 2c).

## Descrizione della tecnica di studio dei fossili detta del “peel”

Per studiare i “coal ball”, fossili che si ori-



Fig. 3 - Peel realizzato da un coal ball: *Stigmara ficoides* Brongniart (Lepidodendraceae). Pennsylvaniano, Kentucky, U.S.A.

ginano per infiltrazione di carbonato di calcio nei vegetali che hanno formato il carbon fossile, si usa la metodica dei “peel” (Fig. 3).

Questa metodica sfrutta la possibilità di sciogliere con acido cloridrico la matrice calcarea che ingloba i residui vegetali fossilizzati; questi ultimi, per la loro natura organica, non reagiscono con l’acido. A tale scopo, il fossile viene tagliato in piastre e la superficie di taglio, resa liscia come il vetro usando polvere di carborundo, viene immersa nell’acido cloridrico che, sciogliendo la matrice calcarea, espone la parte organica del fossile. La superficie così trattata viene bagnata con acetone e coperta da un foglio di acetato di cellulosa. Questo foglio, a contatto con l’acetone si scioglie inglobando i residui vegetali. Quando l’acetone evapora, il foglio riacquista la sua con-

sistenza e può essere staccato dalla piastra. Si ottiene così il “peel”, un foglio di acetato di cellulosa che ingloba una “sezione” del fossile. Il residuo fossile può essere ora facilmente esaminato al microscopio.

### **Albero filogenetico delle piante terrestri**

L’albero filogenetico (Fig. 4) presenta l’evoluzione delle piante terrestri dando particolare rilievo alle piante vascolari. L’albero ha la base di 3 metri per 3 ed è alto 2,5 metri. Le linee principali dell’evoluzione delle piante sono rappresentate da rami costruiti con tubi metallici ricoperti di materiale plastico. I rami rappresentano classi, sottoclassi oppure ordini, in accordo con il sistema di classificazione di CRONQUIST (1981, 1988). Le scale dei tempi

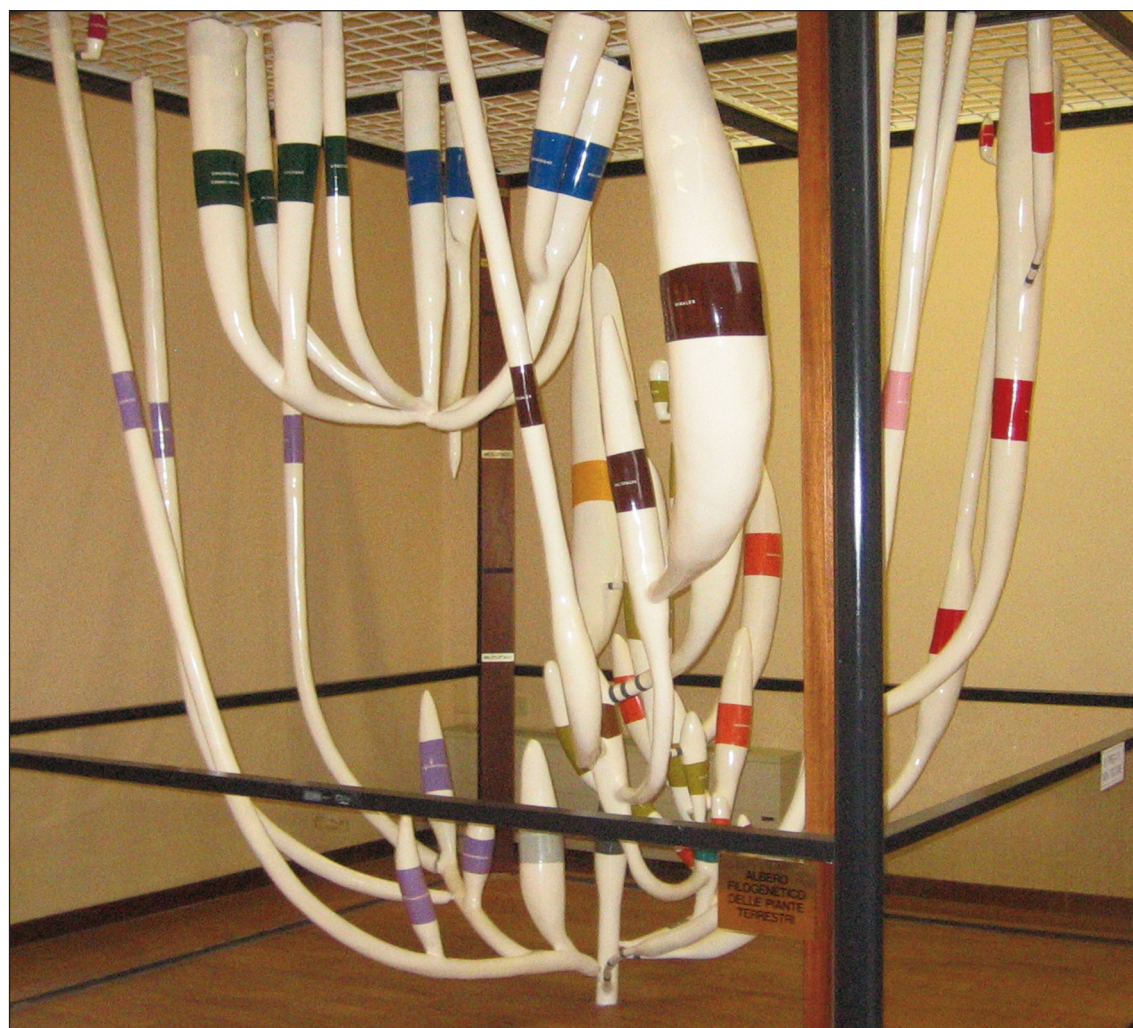


Fig. 4 - Albero filogenetico delle piante terrestri.

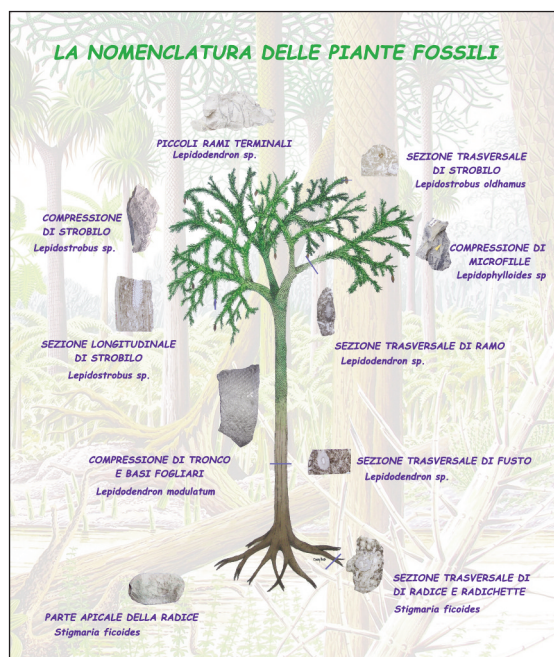


Fig. 5 - Pannello relativo alla nomenclatura paleobotanica.

geologici sono riportate in verticale negli angoli della struttura che sostiene l'albero e vanno dal Siluriano, circa 440 milioni di anni fa (alla base), al Recente (in alto).

Per chiarire la visione delle linee evolutive, i rami dell'albero sono marcati con anelli colorati: ad ogni colore corrisponde una classe. Ad esempio, le felci sono indicate in rosso, le gimnosperme in marrone, le piante a fiore sono indicate con due colori: in verde (monocotiledoni) e blu (dicotiledoni). Inoltre, su ciascun ramo è riportato il nome del gruppo rappresentato.

La filogenesi indicata dall'albero si riferisce principalmente a dati ricavati dai fossili. I rami che raggiungono il punto più alto dell'albero individuano i gruppi attualmente rappresentati da piante viventi. Questi gruppi sono soggetti alla selezione naturale e all'evoluzione e potranno in futuro estinguersi o dare origine a nuovi rami evolutivi.

### Nomenclatura paleobotanica

Ricostruire l'aspetto reale delle piante fossili è una operazione complessa. Di solito si istituisce una specie botanica o un "genere forma" su ogni tipo di campione fossile scoperto e si tenta la ricostruzione della pianta solo quando

si ha la sicura attribuzione dei vari pezzi alla stessa specie (CHALONER 1986; COLLISON 1986). Usando questo metodo può accadere che nel corso dello studio si istituisca una specie botanica su un campione e un'altra su un frammento di aspetto diverso e che quest'ultimo, in seguito, risulti appartenere alla stessa specie del primo. Si hanno così più nomi per la stessa pianta fossile. Un esempio classico è quello di *Lepidodendron* Stenberg, una licofita del Carbonifero, le cui parti vanno sotto denominazioni diverse: *Lepidophylloides* Snigirevskaya, *Lepidodendron modulatum* Lesquereux e *Stigmara fcooides* Brongniart corrispondono rispettivamente a fossili delle foglie, del fusto e delle radici della stessa specie (Fig. 5).

Quando la ricostruzione della pianta fossile è completa, lo studioso sceglie il primo nome generico, validamente pubblicato, applicato ad una sua parte e lo usa come nome generico per l'intero organismo. Il metodo usato è l'unico che permette il confronto tra i vari campioni fossili e il loro inserimento in un coerente sistema botanico.

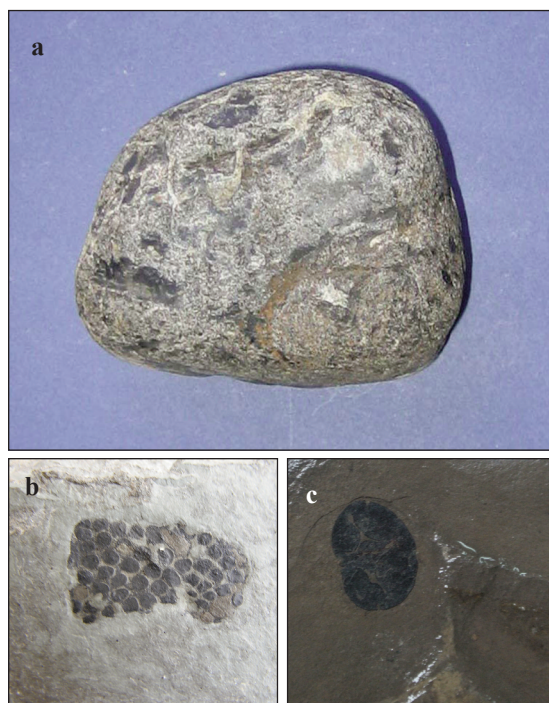


Fig. 6 - a. Stromatolite carbonaceo. Precambriano, Gunflint Chert, Ontario, Canada; b. *Parka decipiens*, una Coleochaetales del Devoniano inferiore, Scozia. c. *Protosalvinia bilobata*. Devoniano medio, Ohio, U.S.A.

## Transizione all'ambiente terrestre

Si pensa che la vita si sia originata sulla Terra nel Precambriano, circa 4 miliardi di anni fa. I primi fossili datati risalgono a circa 3,5 miliardi di anni fa e molto probabilmente si tratta dei resti di batteri e cianobatteri. Questi semplici procarioti hanno rappresentato la vita dominante sul nostro pianeta fino a circa 1,4 miliardi di anni fa, quando comparvero i primi eucarioti. Il Gunflint Chert, una formazione sedimentaria (stromatolite) dell'Ontario (Canada), contiene fossili di batteri e alghe del Precambriano oltre ad altre forme di difficile classificazione (Fig. 6a).

I progenitori delle piante terrestri erano certamente membri delle Chlorophyta (alghe verdi), che condividono con le piante superiori alcune caratteristiche importanti: composizione della parete cellulare, materiale di riserva, pigmenti e modalità di riproduzione. In particolare le alghe appartenenti all'ordine delle Coleochaetales condividono il maggior numero di caratteri con le piante superiori. *Parka*, un genere fossile diffuso nel Devoniano inferiore, viene considerato un possibile pro-



Fig. 7 - Briofita in ambra. Oligocene, Repubblica Dominicana.

genitore delle piante terrestri (Fig. 6b).

In passato si pensava che *Protosalvinia bilobata* (Dawson) Clarke fosse un esempio di alga bruna del Devoniano (Fig. 6c). Studi sull'organizzazione cellulare e sulle strutture riproduttive hanno messo in dubbio questa interpretazione e oggi *Protosalvinia* è considerata una pianta di origine incerta, forse rappresentante un "primo tentativo" di uscita dall'acqua che ha portato ad un "vicolo cieco" evolutivo.

Si pensa che l'occupazione dell'ambiente terrestre da parte delle piante sia iniziata nel Siluriano (circa 430 milioni di anni fa).



Fig. 8 - Ricostruzione di un paleoambiente del Devoniano.

Le piante terrestri devono affrontare un ambiente molto diverso da quello nel quale si sono evoluti i loro antenati algali e presentano una serie di adattamenti necessari a fronteggiare la vita nel nuovo ambiente. Le alghe sono immerse nell'acqua e hanno prontamente disponibili i sali minerali e i gas in essa disciolti. Al contrario, le piante terrestri hanno dovuto escogitare sistemi di prelievo dal suolo dell'acqua e dei sali minerali e devono rifornirsi di gas dall'aria; hanno a disposizione molta luce ma devono ridurre al massimo la perdita d'acqua limitando con una serie di protezioni l'effetto essiccante dell'esposizione all'aria.

### Le briofite

Le briofite (Fig. 7) sono le più semplici piante fotosintetiche che siano riuscite a vivere stabilmente fuori dall'acqua. Non differenziano veri tessuti vascolari e presentano predominanza del gametofito sullo sporofito.

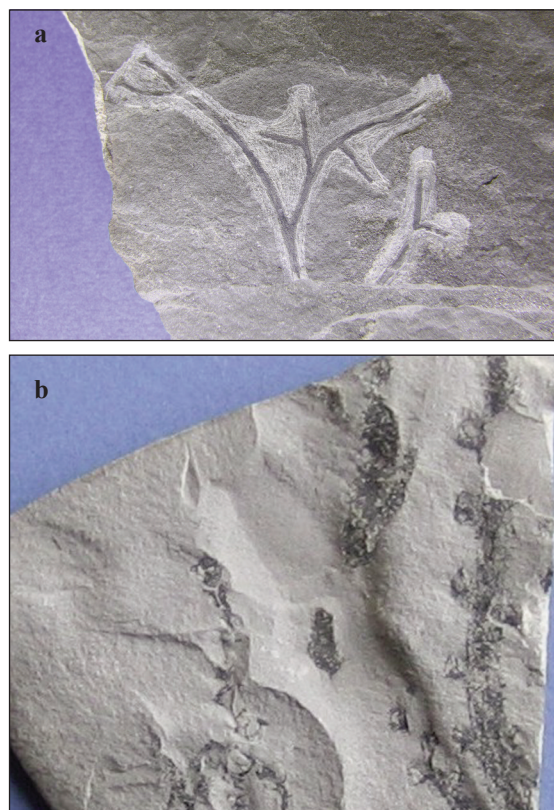


Fig. 9 - **a.** *Cooksonia caledonica*, una Rhyniopsida del Devoniano inferiore della Scozia. **b.** *Sawdonia acanthotheca* (Zosterophylloceae). Devoniano, Canada.

### Devoniano

Le prime piante vascolari terrestri (Fig. 8) erano di piccole dimensioni, dai 5 ai 90 centimetri, avevano fusti senza foglie, lisci, come in *Cooksonia caledonica* Edwards (Fig. 9a), oppure con delle piccole emergenze spinose, come in *Sawdonia acanthotheca* Gensel, Andrews, Forbes (Fig. 9b). I fusti erano fotosintetici, con ramificazioni dicotomiche e portavano gli sporangi all'estremità oppure sui lati dei rami.

**Rhyniopsida.** Dal Siluriano medio (circa 420 milioni di anni fa) al Devoniano medio (circa 380 milioni di anni fa).

Le Rhyniopsida, le più antiche piante vascolari, presentavano ramificazioni dicotomiche e avevano il fusto liscio con sporangi isosporei portati all'estremità dei rami. Le Rhyniopsida presentavano protosteie centriche, mancavano di vere e proprie radici e presentavano solo dei rizoidi filiformi. Le Rhyniopsida hanno dato origine alle Trimerophytopsida e presumibilmente alle Zosterophyllopsida.

**Trimerophytopsida.** Dal Devoniano inferiore (circa 395 milioni di anni fa) al Devoniano superiore (circa 345 milioni di anni fa).

Le Trimerophytopsida non avevano foglie; alcune presentavano sul fusto emergenze spiniformi non vascolarizzate (*Psilophyton prin-*

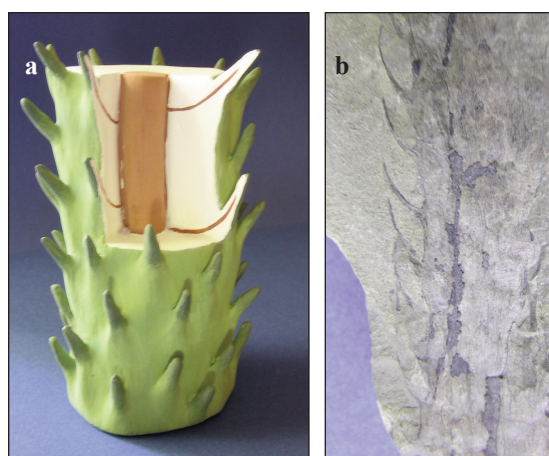


Fig. 10 - **a.** Modello di *Drepanophycus spinaeformis* esposto nella Sezione di Paleobotanica. **b.** Campione di *Drepanophycus gaspianus* (Drepanophycaceae). Devoniano inferiore, New Brunswick, Canada.



*ceps* Dawson). In alcune piante il fusto principale presentava ramificazione pseudomonopodiale (derivata dalla ramificazione dicotomica). Avevano i rami vegetativi separati dai rami fertili e questi ultimi portavano in posizione terminale gruppi di sporangi che a maturità si aprivano nel senso della lunghezza. Lo xilema era una protosteale centrarca. Le Trimerophytopsida hanno dato origine a tutte le classi successive, eccetto le licofite.

**Zosterophyllopsida.** Dal Siluriano superiore (circa 395 milioni di anni fa) al Devoniano superiore (circa 345 milioni di anni fa).

Molte Zosterophyllopsida presentavano ramificazione dicotomica con una tendenza alla ramificazione pseudomonopodiale. Gli sporangi erano portati sugli assi in posizione laterale e si aprivano trasversalmente. Si pensa abbiano dato origine alle licofite. Lo xilema era una protosteale, spesso actinostelica in sezione trasversale.

### Le licofite

Le licofite erano il tipo di vegetazione dominante durante il Carbonifero (circa 345-280 milioni di anni fa); oggi rappresentano un gruppo minore costituito da pochi generi.

Le licofite hanno radici, fusti, foglie e si riproducono in modo isosporeo o eterosporeo. Le foglie, dette microfili, sono disposte ad elica sui fusti, hanno soltanto una o due nervature e probabilmente si sono originate dalle emergenze spiniformi delle Zosterophyllopsida. Una delle caratteristiche più importanti del gruppo è la posizione dello sporangio, portato sulla pagina superiore dello sporofillo. Gli sporofilli possono essere dispersi tra i microfili fotosintetici oppure possono essere riuniti a formare degli strobili. Il sistema vascolare varia dalla protosteale alla sifonosteale.

Tutte le specie attuali sono piccole piante erbacee, ma alcuni licopodi del Carbonifero potevano raggiungere 30-40 metri di altezza.

**Drepanophycales.** Devoniano (da circa 395 a circa 345 milioni di anni fa).

Le Drepanophycales comprendono le licofite più antiche. Probabilmente si trattava di piante erbacee alte 20-30 cm, come *Drepanophycus spinaeformis* Göppert (Fig. 10a) e *Drepanophycus gaspianus* (Dawson) Kräusel



Fig. 11 - *Lepidodendron modulatum* Lesquereux (Lepidodendraceae). Pennsylvaniano, Pennsylvania, U.S.A.

& Weyland (Fig. 10b). Erano tutte isosporee con gli sporangi dispersi tra i microfili parzialmente vascolarizzati.

**Protolopododendrales.** Devoniano (da circa 395 a circa 345 milioni di anni fa).

Le Protolopododendrales erano piante erbacee o piccoli alberi, tutte isosporee. I microfili erano disposti a spirale sul fusto e avevano la punta biforcata, carattere che fa pensare ad una loro derivazione da corti telomi fusi tra di loro.

**Lepidodendrales.** Dal Devoniano (circa 395 milioni di anni fa) al Permiano (circa 225 milioni di anni fa).

Le Lepidodendrales erano alberi alti fino a 40 metri, con il fusto (*Lepidodendron*) che alla base poteva raggiungere un diametro di 2 metri (Fig. 11). Queste piante dominavano le paludi del Carbonifero e i loro resti hanno contribuito in larga parte alla formazione delle masse di carbon fossile oggi presenti sulla Terra. Erano piante eterosporee. Gli sporangi, protetti da



Fig. 12 - *Selaginella kraussiana* (Kunze) A. Braun (Selaginellaceae) coltivata nell'Orto Botanico di Napoli.

una piccola ala di tessuto fogliare, erano riuniti in strobili. Alcune specie producevano strutture simili ai semi i cui resti fossili sono detti *Lepidocarpon* Scott. Il fusto era formato per la maggior parte da corteccia. Presentavano un esteso apparato radicale la cui forma fossile è detta *Stigmaria* Brongniart.

**Pleuromeiales.** Dal Carbonifero superiore (circa 325 milioni di anni fa) alla fine del Cretaceo inferiore (circa 100 milioni di anni fa).

Le Pleuromeiales erano probabilmente una forma di transizione tra le Lepidodendrales del Carbonifero e le Isoetales. Si presentavano come alberi alti circa 2 metri con fusto non rami-

ficato e con radice bulbosa. Le foglie erano ligulate.

**Isoetales.** Dal Cretaceo (circa 136 milioni di anni fa) ad oggi.

Quest'ordine comprende sia forme fossili risalenti al Cretaceo sia specie viventi del genere *Isoetes* L. Si tratta di piccole piante acquatiche con un fusto a forma di bulbo che produce una piccola quantità di legno e presenta foglie ligulate disposte a spirale. Tutte le foglie portano sporangi. Sulla stessa pianta sono presenti microsporangi e megasporangi.

**Selaginellales.** Dal Carbonifero (circa 345 milioni di anni fa) ad oggi.

Le Selaginellales erano già presenti nel Carbonifero e crescevano nello stesso ambiente dei licopodi arborei.

Oggi sono rappresentate da un solo genere, *Selaginella* Beauv. (Fig. 12), che comprende diverse centinaia di specie. Sono piante erbacee, eterosporee, con foglie ligulate.

**Lycopodiales.** Dal Carbonifero (circa 345 milioni di anni fa) ad oggi.

Fossili di Lycopodiales sono presenti nelle rocce del Carbonifero e talvolta si fa fatica a distinguere i loro strobili da quelli delle Lepi-



Fig. 13 - Ricostruzione di un paleoambiente del Carbonifero.

dodendrales. Si tratta di piante erbacee, isosporee, con foglie non ligulate.

### Gli equiseti

Dal Devoniano (circa 395 milioni di anni fa) ad oggi.

La storia geologica degli equiseti (Sphenopsida) è parallela a quella delle licofite. I primi fossili si ritrovano nelle rocce del Devoniano; il gruppo raggiunge il massimo dello sviluppo nel Carbonifero (Fig. 13) e attualmente è rappresentato da un solo genere: *Equisetum* L. Gli equiseti hanno fusti articolati con nodi e internodi; a livello dei nodi sono presenti verticilli di foglie e di rami. Sulla sommità di alcuni fusti si formano gli strobili, a livello dei quali si avrà la formazione delle spore. Gli equiseti sono isosporei, anche se sono note delle forme fossili eterosporee.

**Pseudoborniales.** Devoniano (da 395 a 345 milioni di anni fa).

L'ordine è rappresentato da una sola forma fossile, *Pseudobornia ursina* Nathorst. Second

do le ricostruzioni, si trattava di una pianta alta da 15 a 20 m con il fusto organizzato in nodi. Le foglie erano portate solo sui rami terminali ed erano organizzate in verticilli di 4 foglie con la lamina profondamente incisa. Queste piante presentavano strobili portanti verticilli di sporangiofori e brattee sterili.

**Sphenophyllales.** Dal Devoniano (circa 395 milioni di anni fa) alla fine del Permiano (circa 225 milioni di anni fa).

Le Sphenophyllales erano piccole piante cespugliose; facevano parte del sottobosco in molte foreste del Carbonifero, probabilmente alte meno di un metro con foglie a forma di cuneo (sphenos = cuneo, phyllon = foglia). Probabilmente erano tutte isosporee e i coni portavano sporangi i cui peduncoli erano fusi a brattee sterili.

**Calamitales.** Dal Devoniano (circa 395 milioni di anni fa) alla fine del Permiano (circa 225 milioni di anni fa).

Le Calamitales erano grandi alberi alti fino a 20 metri e raggiunsero la loro massima espansione nel Carbonifero formando un grup-



Fig. 14 - a. *Asterophyllites* Brong. (Calamitaceae). Pennsylvaniano medio, Kentucky, U.S.A.

b. *Neocalamites knowltonii* Berry (Neocalamitaceae). Triassico, North Carolina, U.S.A.

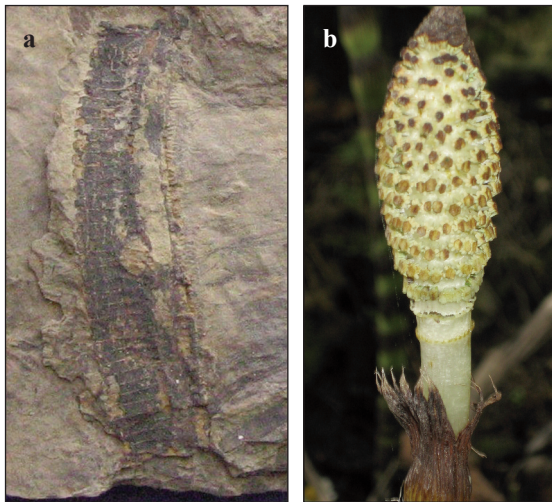


Fig. 15 - **a.** Strobilo di *Equisetites arenaceus* Jager (Equisetaceae). Triassico superiore, Germania. **b.** Strobilo di una pianta di *Equisetum arvense* L. (Equisetaceae) coltivata nell'Orto Botanico di Napoli.

po molto diversificato. Il fusto, cavo al centro, era caratterizzato da notevoli quantità di legno. Rami e foglie erano portati su verticilli (Fig. 14a, b). I coni presentavano sporangiofori con gli sporangi alternati a brattee sterili. Le spore erano fornite di elateri. I resti di Calamitales sono importanti costituenti dei depositi di carbone fossile.

**Equisetales.** Dal Permiano (circa 225 milioni di anni fa) ad oggi.

Le Equisetales si sono originate dalle Calamitales da cui differiscono per la mancanza di legno e, negli strobili, di brattee sterili tra gli sporangiofori (Fig. 15a, b).

### Le felci

Dal Devoniano (circa 395 milioni di anni fa) ad oggi.

Le felci (Polypodiopsida) sono caratterizzate dalla presenza di fronde: foglie complesse con nervature ramificate, che portano gli sporangi marginalmente o sulla pagina inferiore. Le fronde immature sono caratteristicamente avvolte a forma di pastorale e si svolgono durante la crescita. Le spore germinano formando un gametofito tipicamente cuoriforme. La gran parte delle specie appartenenti a questo gruppo è isosporea.

**Marattiales.** Dal Carbonifero inferiore

(circa 345 milioni di anni fa) ad oggi.

Le marattiali sono caratterizzate da fusti con sistemi vascolari complessi, da foglie grandi (lunghe fino a 4 metri) portanti sporangi a parete spessa (eusporangi), senza anulus. *Psaronius melanedrus* Morgan (Fig. 16a) era una grande felce arborea (alta circa 10 metri) che costituiva un componente importante della flora delle paludi del Carbonifero.

Questo ordine è oggi rappresentato da sei generi a distribuzione tropicale.

**Psilotales.** La classe è rappresentata dai due generi viventi, *Psilotum* Sw. e *Tmesipteris* Bernh., in passato inseriti nelle Rhyniopsida. Attualmente si ipotizza una loro derivazione, per riduzione, da felci eusporangiate.

Lo sporofito di *Psilotum* manca di radici e foglie, è formato da una parte aerea a ramificazione dicotomica con piccole sporgenze squamiformi e da una parte sotterranea rizomatosa ricca di rizoidi. *Psilotum* è isosporeo con sporangi portati all'estremità dei rami.

**Filicales.** Dal Carbonifero (circa 345 milioni di anni fa) ad oggi.

Gran parte delle felci attuali sono inserite nelle Filicales. Le piante riunite in quest'ordine possiedono leptosporangi (sporangia con parete formata da un solo strato di cellule) raggruppati in sori disposti sulla pagina inferiore delle fronde (Fig. 16b). Le Filicales comprendono circa 10.000 specie.

**Marsileales.** Dal Terziario (circa 65 milioni di anni fa) ad oggi.

Le Marsileales rappresentano uno dei due ordini di felci acquatiche. Sono piante eterosporee, rizomatose e spesso formano dei densi cuscinetti che ricoprono le acque stagnanti. Presentano megasporangi e microsporangi riuniti in sporocarpi.

**Salviniales.** I primi fossili riconducibili a quest'ordine, attualmente rappresentato dai due soli generi *Salvinia* Seg. e *Azolla* Lam. (Fig. 16c), risalgono al Cretaceo. Sono felci acquatiche eterosporee con microsporocarpi e megasporocarpi.

### Le progimnosperme

Dal Devoniano medio (circa 370 milioni di anni fa) al Carbonifero inferiore (circa 345

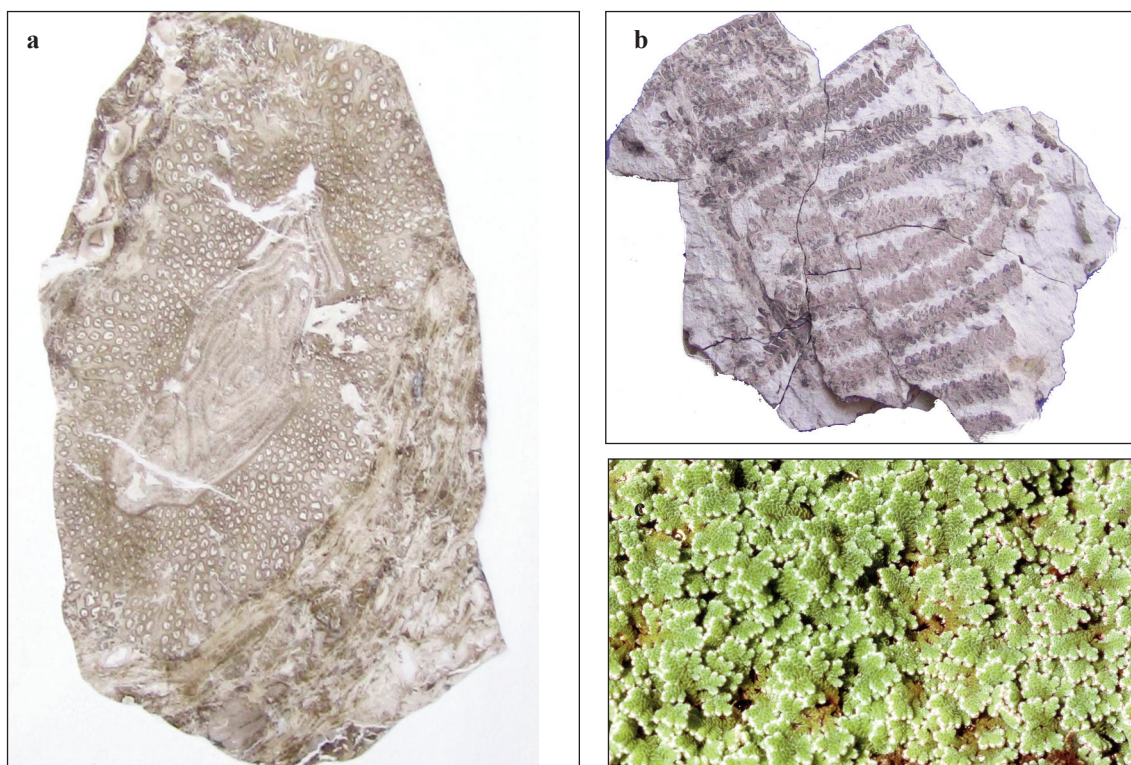


Fig. 16 - **a.** Peel (con sezione trasversale del fusto) di *Psaronius melanedrus* (Psaroniaceae). Pennsylvania medio, Illinois, U.S.A. **b.** *Gleichenia comptonaeifolia* (Deb. Ett.) Heer (Gleicheniaceae). Cretaceo superiore, Utah, U.S.A. **c.** *Azolla filiculoides* Lam. (Azollaceae), coltivata nell'Orto Botanico di Napoli.

milioni di anni fa).

Le progimnosperme erano anatomicamente simili alle gimnosperme, ma con modalità di produzione delle spore simile a quella delle felci. Sono note forme sia isosporee sia eterosporee. Queste piante si presentavano come piccoli cespugli legnosi oppure alberi alti. Probabilmente dalle progimnosperme si sono evolute le piante a seme, anche se le linee evolutive di passaggio non sono state ancora chiarite.

**Aneurophytales.** Devoniano (da circa 395 a circa 345 milioni di anni fa).

L'ordine è considerato il più primitivo delle progimnosperme. I sistemi di ramificazione di *Aneurophyton germanicum* Kräusel & Weyland erano composti da almeno tre ordini di rami disposti a spirale e terminanti in appendici sterili oppure portando sporangi fusiformi. Probabilmente le Aneurophytales erano isosporee.

**Archaeopteridales.** Devoniano (da circa 395 a circa 345 milioni di anni fa).

Le Archaeopteridales erano alberi alti. Le

foglie erano simili a quelle delle felci (Fig. 17). In alcuni esemplari i rami fertili e i rami sterili erano portati sullo stesso asse. Alcune piante erano isosporee, altre eterosporee.

**Protospityales.** Carbonifero inferiore (da circa 345 a circa 325 milioni di anni fa).

Questo gruppo, poco conosciuto, probabilmente consisteva di piccole piante legnose isosporee. Le Protospityales sono incluse nelle progimnosperme in base al tipo di legno, che presenta caratteristiche simili a quello delle gimnosperme, e alla modalità riproduttiva.

### Le pteridosperme

Dal Devoniano (circa 395 milioni di anni fa) al Cretaceo (circa 100 milioni di anni fa).

Le pteridosperme rappresentano un gruppo di piante probabilmente artificiale. Nelle pteridosperme sono riunite le piante a seme primitive. Si trattava di piante legnose che potevano avere aspetto lianoso, di cespugli o di alberi, sia di piccole sia di grandi dimensioni. Molte



Fig. 17 - *Archaeopteris macilenta* (Lesquereux) Carluccio, Hueber & Banks (Archaeopteridaceae). Devoniano superiore, Virginia, U.S.A.

avevano foglie simili a quelle delle felci (Fig. 18a, b).

Le cicadee, le bennettitali, le angiosperme e forse anche le conifere si sono probabilmente evolute dalle pteridosperme.

**Calamopityales.** Carbonifero inferiore (da circa 345 a circa 325 milioni di anni fa).

Questo ordine è stato descritto in base al ritrovamento di fusti pietrificati; gli altri organi sono sconosciuti. Il legno è di tipo monoxilico, con abbondante parenchima, tipico delle pteridosperme. Il gruppo è importante come stadio precoce dell'evoluzione del tipo di sistema vascolare detto eustele.

**Lyginopteridales.** Dal Devoniano (circa 395 milioni di anni fa) al Carbonifero superiore (circa 280 milioni di anni fa).

Nelle Lyginopteridales sono comprese le prime piante a seme. Queste avevano foglie del tipo delle felci e probabilmente avevano aspetto lianoso. I semi erano portati in cupule e avevano la riproduzione di tipo hydraspermano. Gli organi pollinici erano portati in gruppi su sistemi di rami specializzati.

**Medullosales.** Dal Carbonifero (circa 345 milioni di anni fa) al Permiano superiore (circa 225 milioni di anni fa).

Le medullosali erano piccoli alberi con fusto eretto e grandi foglie simili a quelle delle felci. I granuli pollinici erano enormi, visibili ad occhio nudo, portati in strutture polliniche complesse. Anche i semi erano grandi, lunghi più di 4,5 cm. Le medullosali costituivano un gruppo dominante nelle paludi del Carbonifero.

**Callistophytales.** Carbonifero superiore (da circa 325 a circa 280 milioni di anni fa).

Le Callistophytales erano delle liane rampicanti che portavano semi e organi pollinici su foglie felciformi. Questo gruppo delle pteridosperme è considerato altamente evoluto.

**Glossopteridales.** Dal Permiano (circa 280 milioni di anni fa) al Triassico (circa 190 milioni di anni fa).

Le Glossopteridales sono state ritrovate solo nell'emisfero meridionale e sono state importanti per l'elaborazione della teoria della deriva dei continenti. Si trattava di grandi alberi con foglie a forma di lingua (glossum = lingua) (Fig. 18c). Strutture fogliiformi portavano organi pollinici oppure semi.

**Caytoniales.** Dal Triassico (circa 225 milioni di anni fa) alla fine del Cretaceo inferiore (circa 100 milioni di anni fa).

Si trattava di piccoli alberi con foglie palmato-composte. I semi erano portati da cupule con caratteristica forma ad elmetto.

**Pentoxylales.** Dal Giurassico (circa 190 milioni di anni fa) al Cretaceo (circa 136 milioni di anni fa).

Le Pentoxylales erano cespugli o piccoli alberi. Il legno in sezione trasversale era diviso in modo caratteristico in cinque fasci vascolari (penta = cinque, xilema = legno). Le foglie erano nastriformi. Gli ovuli erano riuniti a formare dei coni portati da corti rami mentre i microsporofilli erano riuniti in verticilli.

## Il seme

La comparsa del seme è uno degli eventi più importanti intervenuti nel corso dell'evoluzione delle piante (DI MICHELE *et al.* 1989) poiché comporta una efficiente protezione dell'embrione. I semi sono ovuli (megasporangi tegumentati) nei quali ha avuto luogo la fecondazione e si è sviluppato un embrione.



Fig. 18 - **a.** *Genselia uberis* (Skog & Gensel) Knaus (Calamopityaceae). Mississippiano inferiore, Virginia, U.S.A. **b.** *Alethopteris serlii* (Brongniart) Goepfert (Medullosaceae). Pennsylvaniano, Pennsylvania, U.S.A. **c.** *Glossopteris browniana* Brong. (Glossopteridaceae). Permiano, New South Wales, Australia.

**L'evoluzione del seme.** Le prime piante vascolari presentavano sporangi terminali contenenti spore morfologicamente identiche (isosporia) che si sviluppavano formando gametofiti portanti sia cellule uovo sia spermatozoidi. Dall'isosporia si è evoluta l'eterosporia. Le piante eterosporee producono due tipi di spore: **megaspore** (formano gametofiti che producono cellule uovo negli archegoni) e **microspore** (si sviluppano formando gametofiti che producono spermatozoidi negli anteridi).

Il passaggio successivo può essere stato la riduzione del numero delle megaspore nel **megasporangio** fino ad arrivare ad una sola megaspore funzionale con il gametofito che si sviluppa all'interno della spora.

Nelle pteridosperme del Devoniano e del Carbonifero, il megasporangio era circondato da due sistemi di rami sterili che lo proteggevano dall'essiccamento e dagli erbivori. Lo strato interno, per fusione dei rami protettivi che vanno a formare lobi tegumentali, può essersi trasformato nell'**integumento** e quello esterno nella struttura detta **cupula** (Fig. 19a, b). Durante il tardo Devoniano e il Carbonifero inferiore, vi fu una grande variabilità nel grado di fusione dei lobi integumentali circondanti il megasporangio. L'apice del megasporangio si modificò formando una struttura a forma di

cono rovesciato chiamato **lagenostoma**, adatta a catturare le microspore. I primi ovuli avevano l'integumento fuso solo alla base; successivamente l'evoluzione portò alla fusione fino all'apice dei lobi integumentali. Il lagenostoma, non più necessario, si ridusse moltissimo e non è presente negli ovuli più derivati.

**I primi semi.** Tra le prime specie fossili presentanti semi vi sono *Elkinsia polymorpha* Rothwell, Scheckler & Gillespie, *Moresnetia zalesskyi* Stockmans e *Archaeosperma arnoldii* Pettit & Beck. I semi di queste specie hanno integumenti parzialmente fusi, circondati da una cupula protettiva (Fig. 19b).

#### Bennettitee e cicadee

Il Mesozoico è stato chiamato "l'era delle Cycadopsida" a causa dei numerosi ritrovamenti di fossili di foglie simili a quelle delle cicadee: molti di questi fossili sono in realtà Bennettitopsida. Solo l'osservazione dei caratteri epidermici microscopici permette di assegnare il fossile ad un gruppo oppure all'altro. Gli stomi delle Cycadopsida sono aplocheilici (le cellule di guardia si originano da una cellula madre e sono circondate da cellule sussidiarie originate da cellule epidermiche adiacenti) mentre le Bennettitopsida hanno stomi sinden-

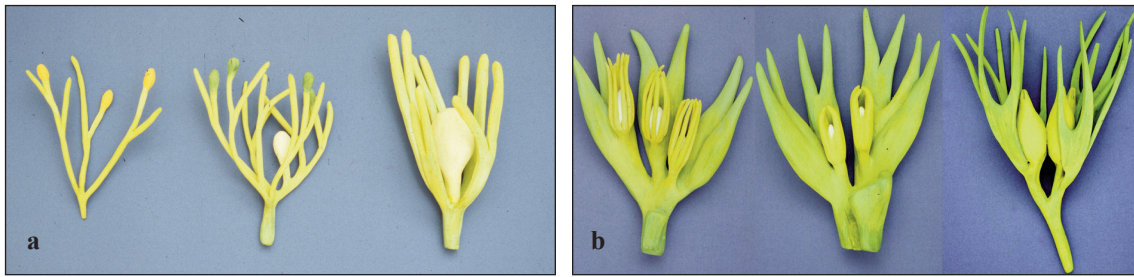


Fig. 19 - **a.** Modelli esposti nella Sezione di Paleobotanica mostrandoti gli stadi ipotetici dell'evoluzione dell'ovulo. **b.** Modelli degli ovuli di *Elkinsia polymorpha*, *Moresnetia zalesskyi* e *Archaeosperma arnoldii*.

tocheilici (da una cellula epidermica hanno origine sia le cellule di guardia sia le cellule sussidiarie); inoltre le cellule epidermiche delle Cycadopsida hanno le pareti diritte, mentre quelle delle Bennettitopsida hanno le pareti con andamento sinuoso. Probabilmente Cycadopsida e Bennettitopsida non sono strettamente correlate.

**Bennettitopsida.** Dal Triassico (circa 225 milioni di anni fa) alla fine del Cretaceo (circa 65 milioni di anni fa).

Le bennettitee (Fig. 20) erano parte importante della flora del Mesozoico. Superficialmente erano simili alle Cycadopsida: avevano spessi tronchi provvisti di basi fogliari persistenti e una corona di foglie coriacee e composte. Le strutture riproduttive erano invece dissimili da quelle delle Cycadopsida: un asse centrale portante ovuli e squame era circondato da strutture pollinifere. Le strutture riproduttive erano disposte lungo il fusto. Probabilmente nel trasporto del polline erano coinvolti degli insetti.

**Cycadopsida.** Dal tardo Carbonifero (circa 300 milioni di anni fa) ad oggi.

Le Cycadopsida hanno probabilmente avuto origine da felci a seme, forse dalle Medullosales. Esse rassomigliano superficialmente alle bennettitee: hanno un fusto non ramificato o poco ramificato con basi fogliari persistenti e una corona di foglie composte cuoiose (Fig. 21a, b). All'estremità del fusto portano coni maschili oppure coni femminili. I primi fossili ben documentati di Cycadopsida risalgono al Permiano. Sono noti reperti del Carbonifero non attribuibili con assoluta sicurezza a tale classe.

Nell'Orto Botanico di Napoli sono coltiva-

te diverse piante appartenenti alle Cycadopsida (Fig. 21b).

### Le Ginkgoopsida

Dal Permiano inferiore (circa 280 milioni di anni fa) ad oggi.

Per molto tempo si è pensato che la classe, rappresentata attualmente dall'unica specie *Ginkgo biloba* L. (Fig. 22a, b), fosse strettamente collegata alle Cycadopsida, soprattutto facendo riferimento alle strutture riproduttive. Alcuni autori, attualmente, la considerano più affine alle Cordaitales.

### Le conifere

Dal Carbonifero inferiore (circa 345 milioni di anni fa) ad oggi.

Le conifere sono piante a seme che generalmente portano coni e hanno legno denso



Fig. 20 - *Otozamites hespera* Wieland. Una Bennettitopsida del Giurassico medio, Oaxaca, Messico.



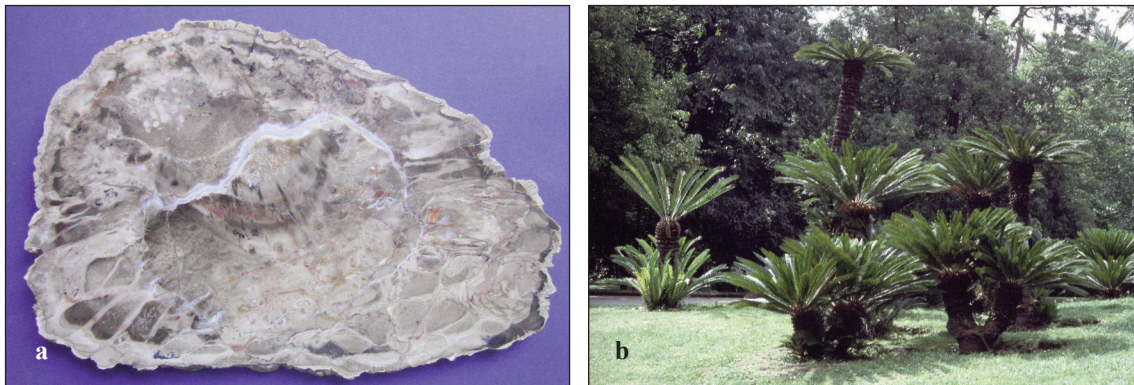


Fig. 21 - a. Tronco di cicadea in sezione trasversale. Giurassico, South Dakota, U.S.A. b. Esemplari di *Cycas revoluta* Thunberg (Cycadaceae) coltivati nell'Orto Botanico di Napoli.

(picnoxilico). Solitamente sono alberi molto ramificati o cespugli e hanno foglie squamiformi, aghiformi o ampie. Hanno probabilmente avuto origine dalle progimnosperme e oggi sono rappresentate da pini, abeti rossi, abeti bianchi, araucarie, podocarpi, ginepri, tassi. Alcuni membri di questi gruppi sono di notevole interesse commerciale.

**Cordaitales.** Dal Carbonifero inferiore (circa 345 milioni di anni fa) al Permiano (circa 250 milioni di anni fa).

Un gruppo di piante a seme che si è evoluto dalle progimnosperme è costituito dalle cordaitali che comparvero all'inizio del Carbonifero, circa 345 milioni di anni fa. Esse erano alte, con lunghe foglie a nastro disposte a spirale in mezzo alle quali vi erano coni primitivi.

Queste piante formavano una parte importante della vegetazione dell'Europa e del Nord America durante il Carbonifero, ma dal Permiano medio esse furono sostituite dalle loro presunte discendenti, le conifere.

Le Cordaitales erano alberi o cespugli che avevano lunghe foglie nastriformi, come in *Cordaites* Unger (Fig. 23a); è possibile che avessero portamento e habitat simile a quello delle mangrovie. I semi e gli organi polliniferi erano portati all'ascella delle foglie ed erano formati da un asse centrale con piccoli germogli laterali, a costituire un cono composto. Le sacche polliniche o i semi erano portati su foglie squamose all'estremità di corti germogli. I granuli pollinici avevano una grossa sacca aerifera che permetteva loro di restare a lun-



Fig. 22 - a. *Ginkgo huttonii* (Sternb.) Heer (Ginkgoaceae). Giurassico inferiore, Yorkshire, Inghilterra. b. *Ginkgo biloba* (Ginkgoaceae) coltivato nell'Orto Botanico di Napoli.



Fig. 23 - **a.** *Cordaites* (Cordaitaceae). Pennsylvaniano superiore, Ohio, U.S.A. **b.** Cono (sezione longitudinale) di *Araucaria mirabilis* (Spe-gazzini) Windhausen (Araucariaceae). Giu-rassico, Patagonia. **c.** *Taxus baccata* (Taxa-ceae) coltivato nell'Orto Botanico di Napoli.

go sospesi nell'aria.

**Voltziales.** Dal Permiano (circa 280 milioni di anni fa) al Giurassico (circa 136 milioni di anni fa).

Questo gruppo è ancestrale alle conifere viventi e viene spesso considerato intermedio tra le Cordaitales e le conifere. Erano alberi alti con legno denso e una varietà di tipi fogliari. Le strutture riproduttive erano portate all'estremità dei rami.

**Pinales.** Dal Triassico (circa 225 milioni di anni fa) ad oggi.

Le conifere viventi, molte delle quali sono coltivate nell'Orto Botanico di Napoli, vengono classificate nelle Pinales. Si tratta di alberi o arbusti con legno denso; le strutture riproduttive sono riunite in coni (Fig. 23b).

**Taxales.** Dal tardo Giurassico (circa 190 milioni di anni fa) ad oggi.

I caratteri vegetativi delle Taxales sono simili a quelli delle conifere, ma le strutture riproduttive sono differenti. I coni maschili presentano delle strutture peltate (a forma di ombrello) che trattengono le sacche polliniche. I semi sono singoli e circondati da una insolita struttura carnosa chiamata arillo. Nel moderno

*Taxus baccata* L. (Fig. 23c) l'arillo rosso è commestibile, ma il seme all'interno di esso è velenoso.

### Le angiosperme

Dal Cretaceo inferiore (circa 140 milioni di anni fa) ad oggi.

Le angiosperme (Fig. 24a, b, c), o piante a fiore, sono oggi il gruppo di piante vascolari dominanti. Il gruppo da cui si sono originate rimane un mistero; probabilmente si tratta di qualche gruppo di felci a seme. Le angiosperme hanno fiori con gineceo formato da carpelli (Fig. 25a), androceo formato da stami (Fig. 25b), corolla e calice. Altre caratteristiche delle piante a fiore sono la doppia fecondazione, la presenza delle trachee nel legno, i gametofiti maschili e femminili ridotti, le cellule compagne nel floema e la presenza di foglie a lamina ampia. Le angiosperme sono riuscite ad occupare tutti i principali ambienti terrestri.

Nel sistema di classificazione elaborato da CRONQUIST (1981, 1988) si riconoscono due classi di angiosperme: le monocotiledoni (Liliopsida) e le dicotiledoni (Magnoliopsida). E-

sempi di dicotiledoni sono le rose, le querce o il basilico, mentre esempi per le monocotiledoni sono la canna da zucchero, i gigli, le orchidee, le palme. Due pannelli presenti nella vetrina dedicata alle angiosperme fanno riferimento alla classificazione elaborata dall'ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (2003).

### Paleoclima

Le piante del Cretaceo (da circa 136 a circa 65 milioni di anni fa) vivevano in un ambiente con clima uniformemente caldo. Nel Paleocene, circa 65 milioni di anni fa, il clima iniziò a fluttuare, sia sulla scala di milioni di anni sia stagionalmente. Una serie di periodi freddi precedettero una caduta drammatica della temperatura media annuale circa 30-40 milioni di anni fa, nell'Eocene. Il clima più freddo, stagionale e fluttuante instauratosi nell'Eocene, ha creato nuovi habitat producendo un profondo effetto sull'evoluzione delle piante.

La Paleoclimatologia è lo studio dei climi del passato. Due fattori, temperatura e piovosità, sono buoni indicatori del clima di un'area. Diversi elementi diagnostici possono essere usati per ricostruire il paleoclima, in particolare la morfologia fogliare e l'anatomia del legno.

### Foglie come indicatori paleoclimatici

Le foglie sono buoni indicatori del clima

poiché hanno forma e struttura strettamente collegate all'ambiente nel quale si formano (WOLFE 1978). Nella Tab. 2 è indicato come alcune strutture fogliari siano collegate ai fattori climatici. Di queste correlazioni, l'analisi del margine fogliare (intero o seghettato) è quella con maggiore validità. Le foglie con margini seghettati sono collegate a climi più freddi (Fig. 26), i margini interi a climi più caldi. La percentuale relativa di piante con margini seghettati oppure interi è un importante indicatore della temperatura media dell'ambiente. Cambiamenti nella paleotemperatura possono essere calcolati studiando le percentuali relative di foglie a margine seghettato oppure intero nelle paleoflore di diversi tempi geologici.

### Legni e clima

Anche il legno risente dell'effetto del clima. Legni di piante di climi temperati, stagionali mostrano, in sezione trasversale, anelli annuali. Questi anelli indicano crescita primaverile e dormienza invernale. Gli alberi tropicali crescono in condizioni favorevoli per tutto l'anno e così non presentano la formazione di anelli riflettendo la mancanza di stress idrico. Anche se non è possibile fare correlazioni strette tra l'anatomia del legno e il paleoclima, regimi climatici di tipo tropicale o di tipo temperato possono essere dedotti dai legni fossili.



Fig. 24 - a. Fiore di *Florissantia speirii* (Lesquereux) Manchester (Sterculariaceae?). Oligocene, Washington, U.S.A. b. Foglia di *Liliopsida*. Oligocene, Texas, U.S.A. c. *Alnus carpinooides* Lesquereux (Betulaceae). Oligocene, Oregon, U.S.A.

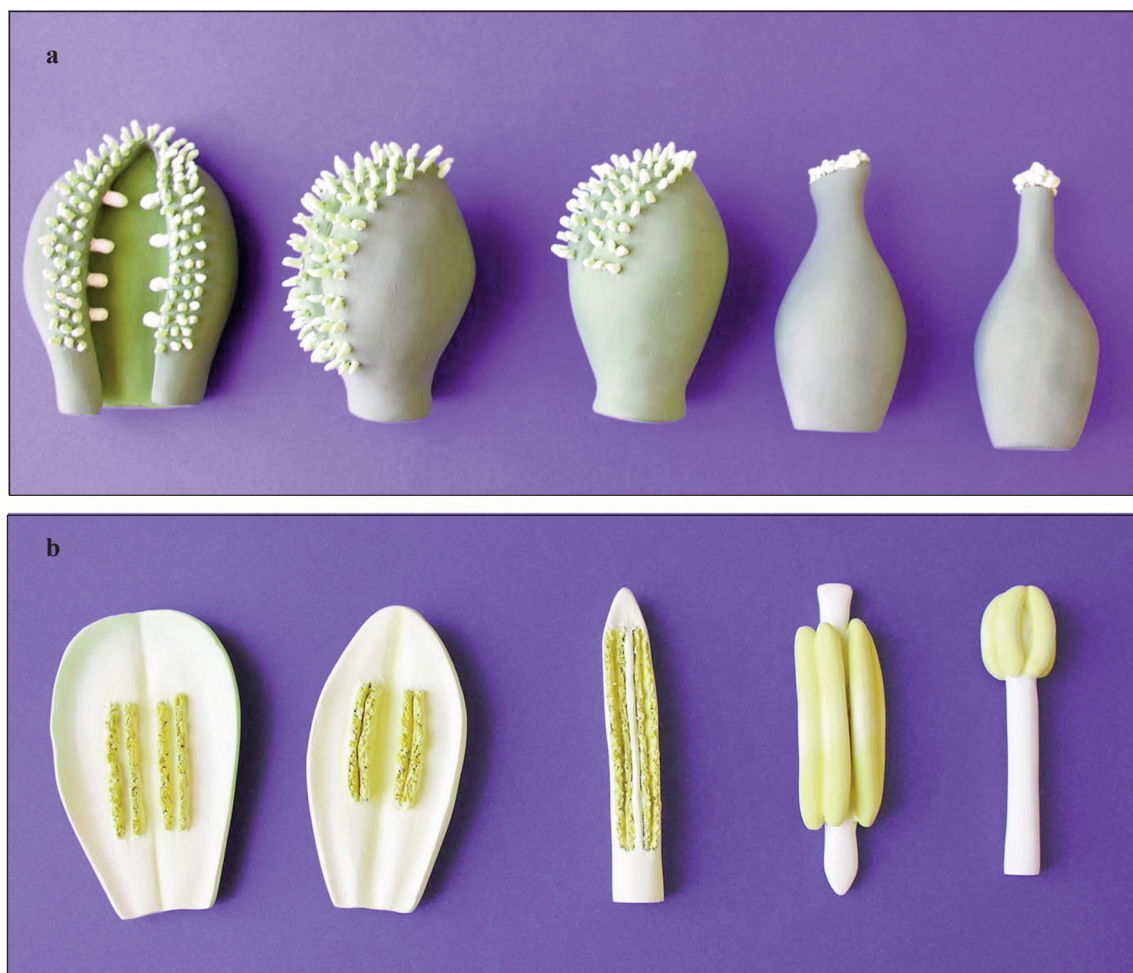


Fig. 25 - Modelli esposti nella Sezione di Paleobotanica mostrandoti l'evoluzione del carpello (a) e dello stame (b).

### Fossili utilizzati dall'uomo

**Ambra.** L'ambra è resina vegetale fossilizzata che si trova negli strati fossili dal Carbonifero al Presente. Una serie di alberi, sia conifere sia angiosperme, produce resina che, col passare di milioni di anni, fossilizza e indurisce formando ambra. Poiché la resina è appiccicosa quando viene essudata dalle piante ferite, l'ambra funziona anche da matrice fossilizzante per semi, foglie, fiori, insetti (Fig. 27). L'ambra è usata come pietra semipreziosa in gioielleria, specialmente quella includente insetti o altri piccoli organismi.

**Carbone fossile.** Quando le piante di palude muoiono, i resti si accumulano in aree mal drenate formando una massa compatta detta **torba** (Fig. 28a). Le strutture della pianta sono ancora riconoscibili. La torba può essere bru-



Fig. 26 - *Ailanthus lesquereuxii* Cockerell (Simaroubaceae). Eocene, Colorado, U.S.A.

Tab. 2 - Adattamenti delle foglie al clima caldo e al clima freddo.

Caratteristica fogliare	Clima caldo	Clima freddo
Margine	intero	seghettato
Dimensione	maggiore	minore
Tessitura	doppia	sottile
Apice fogliare	acuminato	troncato
Organizzazione	semplice	composta
Pulvini	presenti	assenti
Base	cordata	normale



Fig. 27 - Ambra con insetti inclusi.

ciata ma non è un combustibile efficiente a causa della sua bassa densità, del basso contenuto di carbonio (60%) e della notevole idratazione.

Dopo un lungo seppellimento sotto pressione crescente la torba si trasforma lentamente in **lignite** (Fig. 28b) o carbone marrone. La forma

della pianta è poco visibile. Il contenuto di carbonio aumenta fino al 70-75% per effetto della perdita di acqua e di gas.

La pressione continua produce un carbone più denso detto **carbone bituminoso** (Fig. 28c) o soffice. I dettagli della forma originale della pianta scompaiono. Il contenuto di carbo-

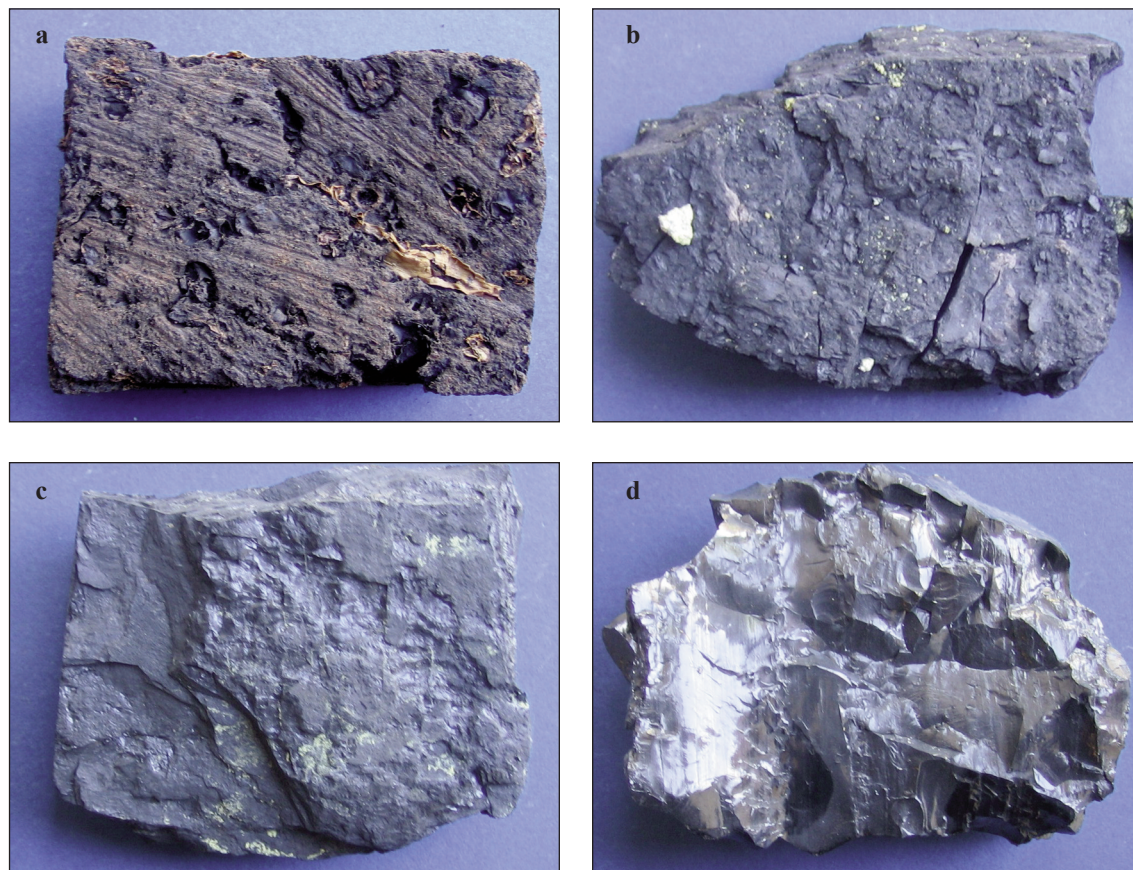


Fig. 28 - a. Torba. b. Lignite. c. Carbone bituminoso. d. Antracite.

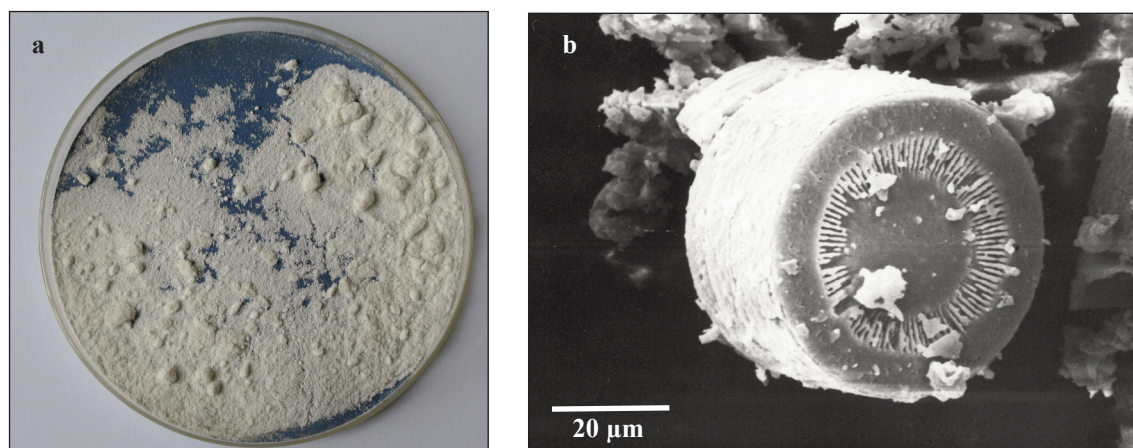


Fig. 29 - a. Terra di diatomee. b. Micrografia di un fossile di diatomea osservato al microscopio elettronico a scansione.

nio aumenta dal 75 al 95 %. Quando viene bruciato, il carbone bituminoso produce più calore della lignite.

Infine, la pressione estrema delle forze orogenetiche può produrre un tipo di carbone denso, duro, altamente compresso, detto **antracite** (Fig. 28d). L'antracite ha un contenuto di carbonio (98%) maggiore del carbone bituminoso e brucia con una fiamma più chiara e sviluppa molta più energia.

**Terra di diatomee.** La terra di diatomee è composta dai resti delle diatomee, alghe unicellulari caratterizzate da una complessa parete cellulare di natura silicea (Fig. 29a, b). Se le

condizioni ambientali sono favorevoli, si ha una rapida riproduzione di diatomee risultante in una "fioritura" algale che può alterare il colore di mari, laghi o fiumi su grandi aree. Dopo la "fioritura", le diatomee muoiono e le loro pareti cellulari si accumulano sul fondo, iniziando il processo di formazione della terra di diatomee. Quest'ultima può essere utilizzata per realizzare filtri con pori di dimensioni inferiori a quelle batteriche. In questo modo si può effettuare la microfiltrazione, procedimento che permette la sterilizzazione a freddo di liquidi ad uso alimentare.

#### LETTERATURA CITATA

- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-433.
- BECK C.H. 1988. *Origin and evolution of gymnosperms*. Columbia University Press, New York, N.Y.
- CHALONER W.G. 1986. Reassembling the whole fossil plant, and naming it in systematic and taxonomic approaches in palaeobotany. In: Spicer R.A., Thomas B.A (Ed.). *Systematic association*. Vol. 31. Pag. 67-78. Clarendon Press, Oxford.
- COLLISON M.E. 1986. The use of generic names for plant fossils in systematic and taxonomic approaches in palaeobotany. In: Spicer R.A., Thomas B.A (Ed.). *Systematic association*. Vol. 31. Pag. 91-104. Clarendon Press, Oxford.
- CRONQUIST A. 1981. *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press, New York, N.Y.
- CRONQUIST A. 1988. *The evolution and classification of flowering plants*. New York Botanical Garden, Bronx, New York, N.Y.
- DI MICHELE W.A., DAVIS J.I., OLMSTEAD R.G. 1989. Origins of heterospory and the seed habit: the role of heterochrony. *Taxon* 38 (1): 1-11.
- MEYEN S.V. 1987. *Fundamentals of Palaeobotany*. Chapman and Hall, London-New York.

- STEWART W.N., ROTHWELL G.W. 1993. Paleobotany and the evolution of plants. Cambridge University Press.
- TAYLOR T.N., TAYLOR E.L. 1993. The biology and evolution of fossil plants. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs.
- TAYLOR T.N., TAYLOR E.L., KRINGS M. 2009. Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants. Academic Press, Oxford.
- WOLFE J.A. 1978. A paleobotanical interpretation of Tertiary climates in the Northern Hemisphere. *American Scientist* 66: 694-703.

Publicato nel mese di dicembre 2013