

Art. n° A 25 – CELLULE e TESSUTI

CONCETTI FONDAMENTALI

Diamo momentaneamente per scontati i concetti fondamentali di cellula e tessuto, che approfondiremo nel seguito. Inoltre indicheremo come “unicellulari” o “pluricellulari” i viventi formati rispettivamente da una sola o più cellule.

Animali e piante esistono in grande numero di specie (almeno 2 milioni), di dimensioni e forme molto varie, da pochi millesimi di mm (indicati con μ o μm = micron o micrometro) a decine di metri.

Durante lo sviluppo embrionale di tutti gli esseri viventi pluricellulari si passa da una singola cellula¹ di dimensioni microscopiche, all'adulto, di struttura assai più complessa e di maggiori dimensioni.

Durante il corso dell'evoluzione, si è ugualmente passati da esseri viventi assai piccoli, unicellulari, a forme sempre più complesse e più grandi.

Dunque, la materia vivente può prendere forme e dimensioni assai varie.

Poiché tutte le specie animali e vegetali (viventi o fossili) sono state presenti sulla faccia della terra per tempi anche molto lunghi, significa che, di là di qualunque diversità fra specie e specie, la materia vivente riesce a sopravvivere, in qualunque forma si presenti.

Ci si può chiedere allora quali sono le funzioni essenziali in qualunque essere vivente. Semplificando molto, ecco che si possono individuare per il nostro discorso:

- Produzione di energia: questa si ottiene dalla respirazione, cioè dall'ossidazione di certe sostanze, principalmente glucosio – uno zucchero semplice a 6 atomi di carbonio. Questo processo, che inizia con l'assunzione di ossigeno dall'atmosfera (attraverso i polmoni) o dall'acqua (attraverso le branchie) - **respirazione esterna** -, si continua con una serie lunghissima di reazioni chimiche che portano alla trasformazione del glucosio in acqua ed anidride carbonica - **respirazione interna o cellulare**. Queste reazioni producono energia.

- Digestione: consiste nella trasformazione degli alimenti, così come vengono dal mondo esterno, in sostanze adatte a subire l'ossidazione, come il glucosio, o a partecipare alla costruzione di nuova materia vivente. Questo processo è normale negli animali (carnivori, erbivori, parassiti o saprofiti²) e nelle piante prive di clorofilla (per es. i funghi) che vivono da parassiti o da saprofiti.

- Nelle piante verdi, la produzione degli alimenti è affidata essenzialmente alla fotosintesi, che produce sostanze organiche da cui si può ricavare energia (in un primo tempo, soprattutto glucosio) partendo da due sostanze incapaci di fornire energia (acqua ed anidride carbonica, che sono proprio i prodotti finali della respirazione, vedi sopra: il ciclo si chiude).

- Sintesi di altra sostanza vivente (per l'accrescimento, per la rigenerazione, per la riproduzione, ecc.) partendo dagli alimenti digeriti, quindi “creazione”, soprattutto di proteine. In particolare, è fondamentale la produzione di enzimi (che sono proteine particolari) per consentire tutte le reazioni chimiche che si svolgono durante la produzione di energia, la respirazione, la digestione, la sintesi di materie organiche, ecc.³

- Sensibilità = capacità di percezione degli stimoli o delle condizioni ambientali (per es. variazioni di temperatura, presenza di pericoli, ecc);

¹ Uovo fecondato {zigote}, oppure spora, escludendo quindi i casi di riproduzione vegetativa.

² Sono quelli che utilizzano organismi morti o materiale organico in decomposizione.

³ Tutte le reazioni chimiche legate alle funzioni vitali vanno sotto il nome complessivo di “metabolismo”; si distingue un “anabolismo” (sintesi di molecole più grandi) da un “catabolismo” (demolizione, con produzione di molecole più piccole, come avviene durante la respirazione).

- Reattività = capacità di reagire alle variazioni ambientali (variazione della produzione di calore, fuga, ecc.);
- “Autoregolazione” o mantenimento delle condizioni interne ottimali (temperatura interna, rimozione dei pericoli, ecc.) attraverso le variazioni delle funzioni interne, i movimenti esterni, ecc. Si parla, genericamente, di “**omeòstasi**”.
- Riproduzione, per qualunque via, con conservazione nei discendenti dei propri caratteri specifici ed individuali.

Per svolgere queste funzioni essenziali, la materia vivente si compone di unità fondamentali indivisibili (pena la perdita delle loro funzioni) dette “**cellule**”.

Fig. 1 – Schema generico di cellula animale **eucariote**¹. Sono indicati i principali costituenti.

R.E. = Reticolo endoplasmatico.

Non è indicata la membrana nucleare, che isola il nucleo dal citoplasma.

NB: per **citoplasma** s'intende il contenuto della cellula, escluso il nucleo.

Una cellula generica deve possedere:

◊◊ Una **membrana** semipermeabile che la isoli dall'esterno.

La membrana cellulare, o plasmatica, riveste tutte le cellule dei **procarioti** e degli **eucarioti**.

Nel suo spessore si trovano immerse molecole di proteine e di colesterolo.

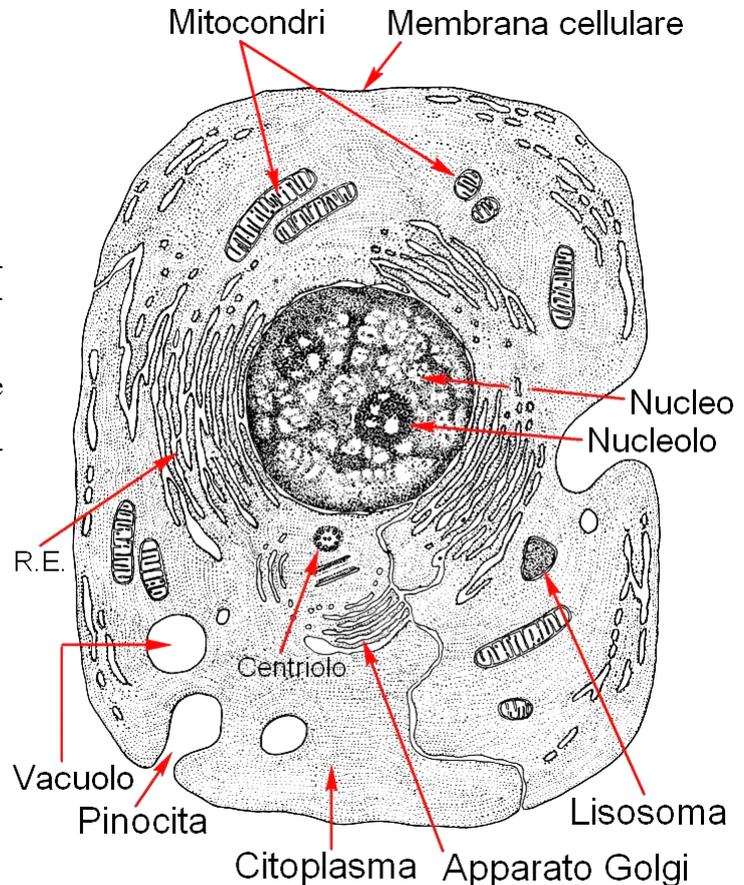
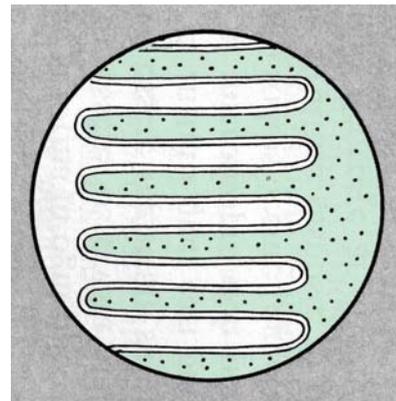


Fig. 2 – Schema semplificato di membrana cellulare o “plasmatica”.

Tale membrana costituisce una barriera fra l'ambiente intracellulare (ambiente interno) e quello esterno. È costituita da un doppio strato continuo di molecole di fosfolipidi, dello spessore di 8-10 nm². I fosfolipidi sono particolari grassi con molecole aventi un'estremità di natura proteica (basi proteiche azotate). Queste molecole sono formate da una “testa” idrofila di glicerolo (legata ad un gruppo fosfato ed a una base proteica), e da due “code” idrofobe di acidi grassi.



La membrana plasmatica è semipermeabile, ossia permette il passaggio diretto, mediante osmosi, delle molecole di piccole dimensioni, come acqua, zuccheri e sali, ma non di molecole di maggiore peso molecolare, come quelle proteiche, che vengono trasportate attraverso la membrana da fenomeni di trasporto attivo; fenomeni, questi, che implicano consumo di energia.

Si veda la figura seguente.

¹ Si chiamano **eucarioti** le cellule o gli organismi in cui il citoplasma contiene un “nucleo”, separato dal citoplasma stesso da apposita membrana, ed inoltre organuli vari, descritti di seguito. I **procarioti**, evolutivamente più primitivi, cianofitiche, batteri, virus e simili, sono invece privi di nucleo e di alcune delle strutture più complesse (plastidi, mitocondri, flagelli evoluti, ecc.).

² Il “nanometro” (nm) è il milionesimo di millimetro, quindi il millesimo di micron (μm).

Fig. 3 – Questo schema illustra la composizione della membrana cellulare: due pellicole appressate. In ogni pellicola, uno strato mono-molecolare rivolto all'esterno – molecole proteiche collegate fra loro (basi azotate) – ed uno strato mono-molecolare di molecole lipidiche (acidi grassi, colesterolo, ecc.) verso l'interno.

Lo strato esterno è idrofilo, cioè si lega attivamente con l'acqua; quello interno è idrofugo.

Nella doppia membrana vi sono “canali proteici” o “pori”, cioè complessi proteici “di trasporto” che consentono il passaggio selettivo di molecole estranee, anche di grandi dimensioni.

Questa struttura si riscontra con poche varianti in altre membrane organiche, come quella nucleare, quella dei mitocondri (vedi sotto), quella del reticolo endoplasmatico (vedi sotto), ecc.

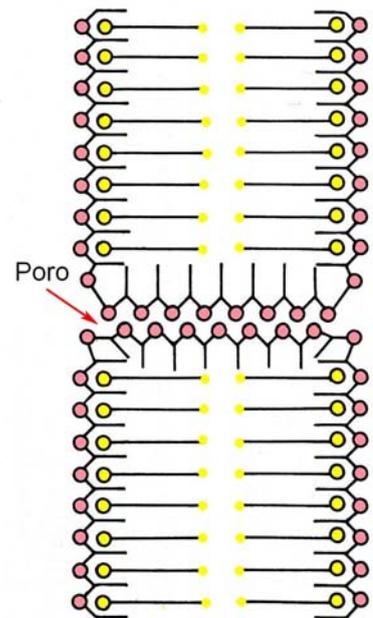
Immersi nel citoplasma, sono normalmente presenti vari “organelli” od “organuli”, di cui ecco i principali:

◊◊ un **condrioma** (insieme di piccoli granuli o **mitocondri**) contenente gli enzimi necessari per la respirazione; è la sorgente di energia della cellula.

Si tratta di corpiccioli relativamente grandi, sferoidali o allungati (figura a lato).

La produzione di energia avviene a spese di materiali di partenza (di solito, glucosio) che si ossida a spese dell'ossigeno: si parla di “respirazione cellulare”. I mitocondri sono il solo costituente cellulare che consuma ossigeno.

Fig. 4 – I mitocondri sono delimitati da una membrana analoga alla membrana cellulare, a due strati. Contengono un DNA (“mitocondriale”), il che fa pensare che si tratti di microrganismi primordiali entrati in tempi remoti nelle cellule e divenuti simbionti obbligati, con un rapporto di vantaggio reciproco fra cellula e mitocondri “invasori”.



◊◊ i **ribosomi** – altri granuli piccolissimi contenenti proteine ed acido ribonucleico (rRNA o “RNA ribosomiale”), necessario per la sintesi delle proteine e degli enzimi.

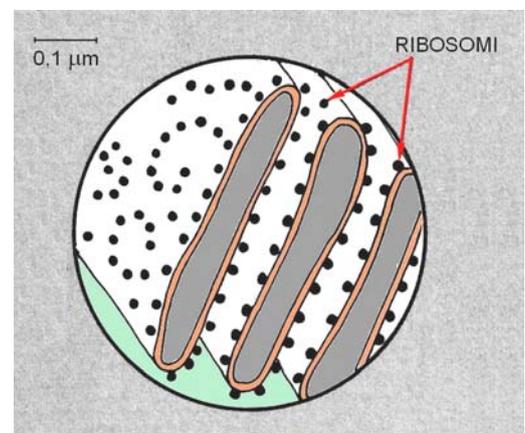
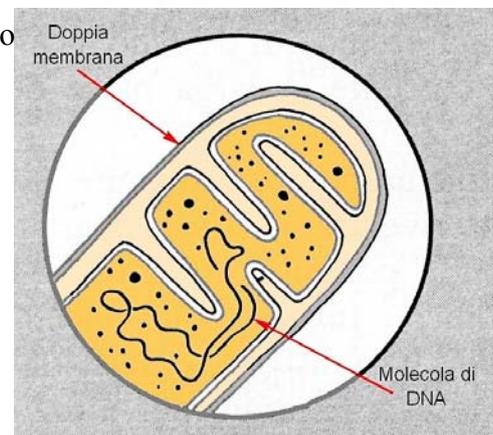
In genere i ribosomi sono associati alla superficie esterna delle membrane del reticolo endoplasmatico (vedi sotto) e della membrana nucleare. Nelle cellule eucarioti, in cui vi è un nucleo, i ribosomi vengono elaborati a livello del nucleolo (vedi oltre).

In questi organuli avviene la sintesi delle proteine (i componenti strutturali della cellula), sotto l'influenza di particolari molecole di RNA provenienti dal nucleo (RNA messaggero – mRNA).

◊◊ un **reticolo endoplasmatico**. È un sistema di membrane presente nel citoplasma. Le membrane hanno costituzione analoga a quella della membrana cellulare e formano sacchi appiattiti (cisterne), del diametro di 40-70 nm. Negli eucarioti il reticolo endoplasmatico, o endoplasmico, è associato ai ribosomi (in tal caso si parla di “reticolo endoplasmatico rugoso”).

Fig. 5

Nel reticolo avviene la sintesi di molti componenti cellulari, come molecole lipidiche e proteine.



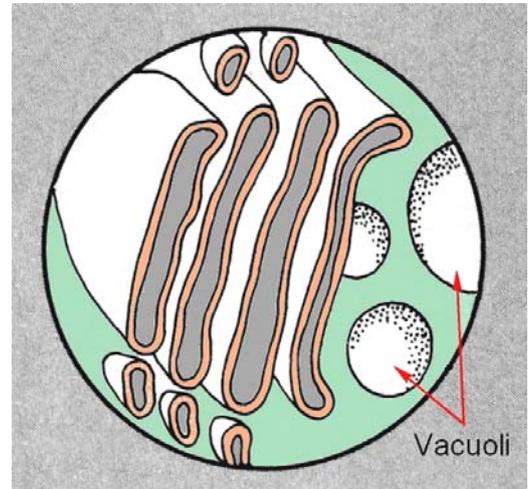
In particolare, il reticolo endoplasmatico rugoso isola le proteine sintetizzate a livello dei ribosomi, e le elabora. Tali composti possono essere convogliati attraverso il sistema di membrane ad un altro corpo membranoso, l'apparato di Golgi (vedi sotto), per essere ulteriormente sottoposti ad elaborazione.

◇◇ un **apparato di Golgi**. È un altro sistema di vescicole appiattite destinate ad accumulare e trasportare nella cellula i prodotti della secrezione provenienti dal reticolo endoplasmatico (figura a lato).

Fig. 6

È costituito da una pila di 6 o 7 sacchi appiattiti, delimitati da una membrana di fosfolipidi, analoga a quella plasmatica. Tali sacchi sono detti **cisterne**, e sono costellati di vescicole che si formano continuamente per estroflessione della membrana.

Il numero degli apparati di Golgi varia da una cellula all'altra; in media, nelle cellule animali se ne contano da 10 a 20, in quelle vegetali diverse centinaia.

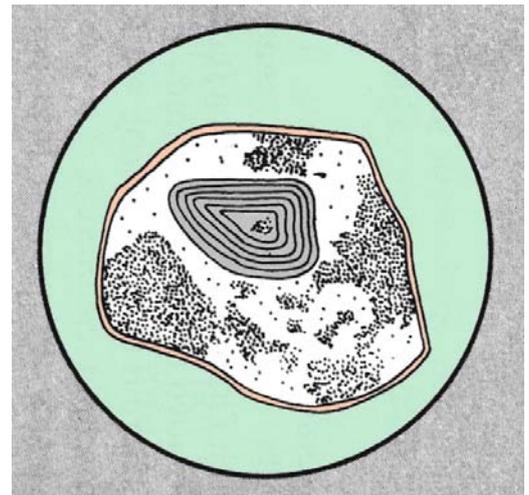


◇◇ i **lisosomi** hanno dimensioni simili ai mitocondri, contengono molti enzimi destinati all'elaborazione degli alimenti (digestione intra-cellulare) ed all'eliminazione di sostanze di rifiuto (figura 7 a lato).

Fig. 7

Essi contengono enzimi ad azione litica, cioè capaci di degradare altre molecole. Possiedono forma tondeggiante ed un diametro di circa 0,2-0,6 μm ; sono delimitati da uno strato di membrana fosfolipidica. Si possono considerare un sistema digestivo intracellulare.

I lisosomi si formano dall'apparato di Golgi mediante un processo di esocitosi: dalla membrana di quello si staccano vescicole membranose che costituiscono l'involucro dei lisosomi.



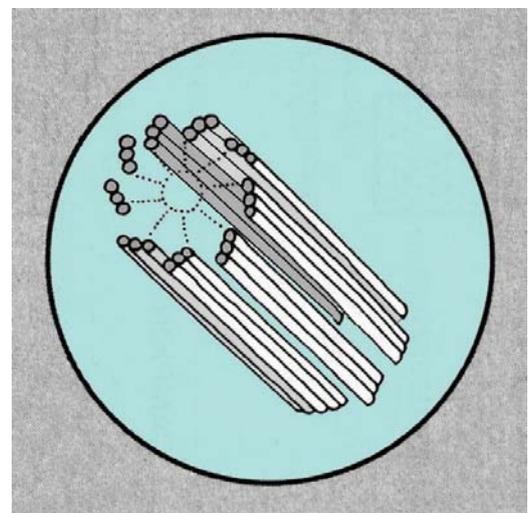
◇◇ i **centrioli**. Piccolissime strutture cilindriche che entrano in funzione durante la divisione della cellula del tipo **mitosi** o **cariocinesi** (con sdoppiamento dei cromosomi e loro suddivisione nelle cellule figlie).

Fig. 8

Hanno la forma di un cilindro cavo, di circa 0,2-0,5 μm (figura a lato). Le pareti del cilindro sono formate da nove gruppi di tre microtubuli, sottili filamenti proteici del diametro di 20-30 nm (vedi sotto).

In ciascuna cellula vi sono due centrioli disposti l'uno perpendicolarmente all'altro e localizzati in una zona che prende il nome di centrosoma.

La principale funzione dei centrioli è la sintesi dei microtubuli (vedi sotto) e la loro organizzazione in modo da formare il "fuso mitotico" lungo il quale, durante la mitosi, avviene lo spostamento dei cromosomi.



◇◇ un sistema di **microtubuli** che formano il **citoscheletro**. Si tratta di filamenti proteici del diametro di 20-30 nm (0,02 – 0,03 μ), presenti nel citoplasma di tutte le cellule animali e vegetali. Essi costituiscono una trama di sostegno della cellula, quello che abbiamo chiamato **citoscheletro**, capace di provocare movimenti interni alla cellula, darle una certa rigidità e permetterle di spostarsi su un qualunque supporto.

Fig. 9 – Alcune cellule polmonari, trattate con opportuni coloranti fluorescenti, mostrano una parte del citoscheletro in viola.

I microtubuli risultano localizzati soprattutto nello strato più periferico della cellula, favorendo il mantenimento della forma di essa; questa funzione è particolarmente importante nelle cellule animali, prive, al contrario di quelle vegetali, di una parete cellulosica¹ rigida. Il citoscheletro risulta essere una struttura dinamica, che viene continuamente scomposta e riassembleta; i filamenti, cioè, vengono disgregati a un'estremità e sintetizzati dall'altra. Per questa proprietà, essi hanno un ruolo nel movimento cellulare.

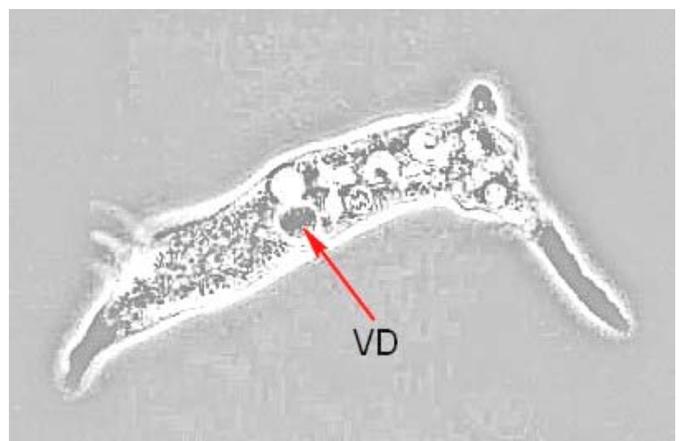
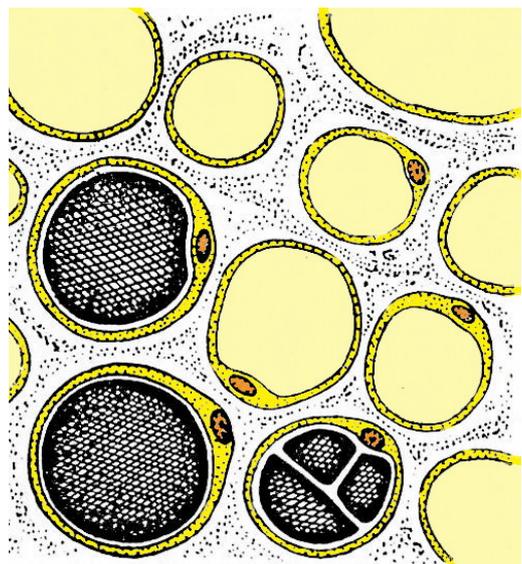
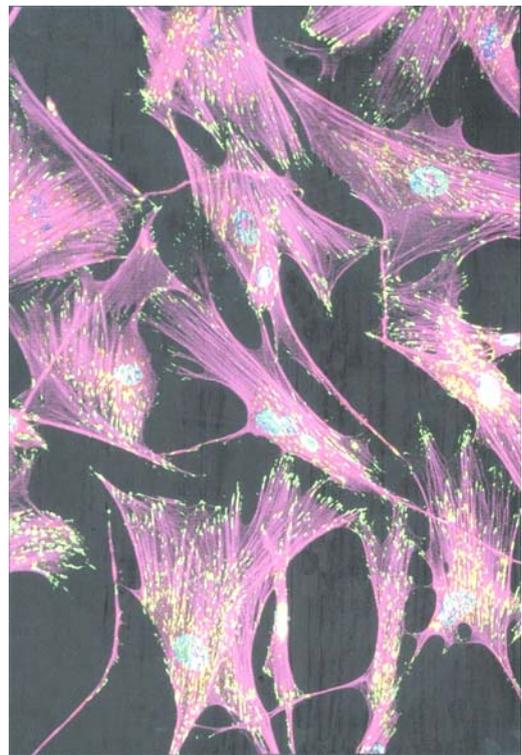
◇◇ varie **inclusioni**. Si tratta di materiale non vivente, prodotto dal citoplasma stesso, destinato alla protezione della cellula (antibiotici, oli essenziali, resine) o all'accumulo di materiali di riserva (grassi – figura a lato –, oli, amido, glicogeno) o all'eliminazione di materiali di rifiuto (cataboliti)(cristalli carbonatici o urici negli animali od ossalici nei vegetali, ad es. – fig. 59b – pag. 27).

Fig. 10 – Un tessuto adiposo, con cellule ancora vuote (in chiaro) e ripiene di grasso (in scuro). Il citoplasma, col nucleo, è limitato ad un sottile strato alla periferia della cellula.

◇◇ uno o più **vàcuoli**. Sono cavità limitate da una membrana (**tonoplasto**), anch'esse non facenti parte del citoplasma vivente in senso stretto.

Possono contenere corpi estranei da isolare (parassiti, ad es.) o da digerire (“vacuoli digestivi”, “VD” nella figura a lato), oppure accumulare acqua in eccesso in modo da regolare la pressione osmotica² interna della cellula (“VC” in fig. 12).

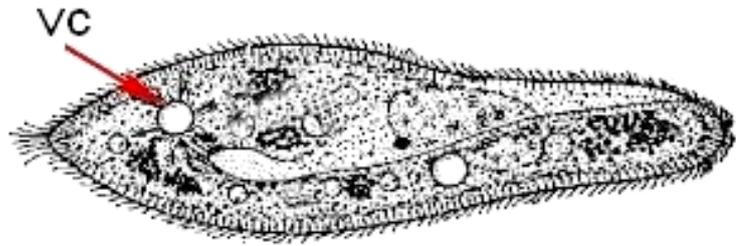
Fig. 11 – In un'*Ameba* (Protozoi Sarcodici), che ingloba (“fagòcita”) i detriti organici che trova nell'acqua, il frammento alimentare viene circondato da un apposito vacuolo (VD), che funziona da stomaco estemporaneo. Contrasto di fase. 400:1



¹ La cellulosa è un polimero del glucosio a catene lunghissime: $(C_6H_{10}O_5)_n$, con **n** superiore a 1.000.

² La pressione osmotica è quella che si produce da uno dei due lati di una membrana semipermeabile quando le concentrazioni di due soluzioni separate dalla membrana sono diverse.

Fig. 12 – Un Protozoo Ciliato molto comune nelle acque dolci (*Paramecium caudatum*). Si vede bene un vacuolo “contrattile” (vc) che si riempie dell’acqua in eccesso – penetrata per diffusione – e la espelle con contrazioni periodiche spingendola in sottili canali radiali.



Come vedremo, i vacuoli nelle cellule vegetali sono assai diffusi e, durante l’accrescimento della cellula, possono moltiplicarsi, fondersi fra loro e confluire in un unico vacuolo che spinge il citoplasma contro la parete, come abbiamo visto nelle cellule adipose della figura 10 alla pagina precedente.

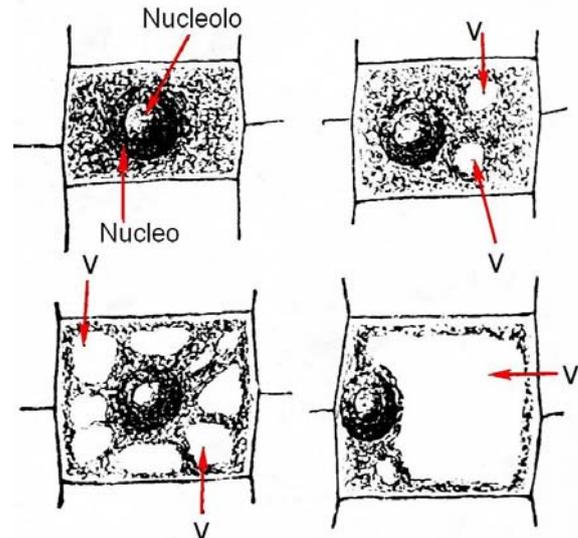


Fig. 13

Accrescimento graduale del volume e fusione dei vacuoli (v) nelle cellule vegetali giovani.

Il contenuto dei vacuoli (succo vacuolare) può presentare una pressione osmotica forte che aumenta la pressione interna della cellula. Tale contenuto, inoltre, riassorbendo o espellendo acqua, mantiene costante il turgore cellulare al variare della concentrazione dei fluidi extracellulari. Il tonoplasto è sede di un intenso trasporto attivo di sali, il che determina, all’interno del vacuolo, il raggiungimento di concentrazioni più elevate di quelle citoplasmatiche. Assorbendo acqua, inoltre, il vacuolo si estende e determina l’accrescimento per distensione delle giovani cellule vegetali che ancora non possiedono una parete rigida.

◇◇ e, finalmente, un **nucleo**, contenente il DNA (ac. desossiribonucleico), altro materiale legato alla funzione di esso (RNA¹) e proteine annesse (istoni).

Come già accennato, il **protoplasma** indica tutto ciò che è contenuto nella membrana cellulare; il **citoplasma** è la parte di esso che rimane dopo avere escluso il nucleo (o i nuclei).

Il nucleo è delimitato da una sottile membrana (“membrana nucleare”), simile a quella cellulare. La forma è generalmente sferica.

Esso rappresenta il centro di controllo di tutte le funzioni metaboliche della cellula; in particolare, presiede alla sintesi delle proteine ed ai processi di divisione cellulare (mitosi e meiosi).

Il nucleo ha una forma generalmente tondeggiante, ma può essere anche lobato o ramificato (vedi il granulocita (2) nella fig. 15 alla pagina seguente); può occupare la porzione centrale della cellula oppure risultare spostato verso la membrana plasmatica, come nelle cellule adipose e quelle vegetali (fig. 10 a pag. 5, fig. 13, qui sopra, e fig. 24 a pag. 11). In genere, le cellule possiedono un singolo nucleo; esistono però casi di cellule con due nuclei, come alcuni ciliati (figura seguente).

In cellule molto specializzate, come le cellule muscolari dei muscoli scheletrici dei Vertebrati o le ife di molti funghi, si trovano molti nuclei simili.

In altri casi (Opaline, Protozoi parassiti), vi sono molti micronuclei diffusi nel citoplasma.

¹ Acido ribonucleico, con funzione di tramite fra il DNA nucleare e varie strutture del citoplasma.

Fig. 14 – Una *Vorticella* sp. (Ciliati), ancora fissata al proprio peduncolo (sfumato, a sinistra).

Si tratta di un Protozoo (unicellulare), che nuota per mezzo di una corona di “ciglia vibratili”¹. Il nucleo più grosso (“macronucleo”) è allungato e fortemente ricurvo; presiede al metabolismo della cellula. Il nucleo più piccolo (“micronucleo”) è poco visibile ed interviene solo nella divisione della cellula stessa.

Alcuni tipi di cellule, giunte al termine del processo di differenziamento, risultano prive di nucleo: nei mammiferi e nell’uomo, ad esempio, ciò si osserva tipicamente nei globuli rossi e nelle cellule cheratinizzate più superficiali dell’epidermide (figura seguente).

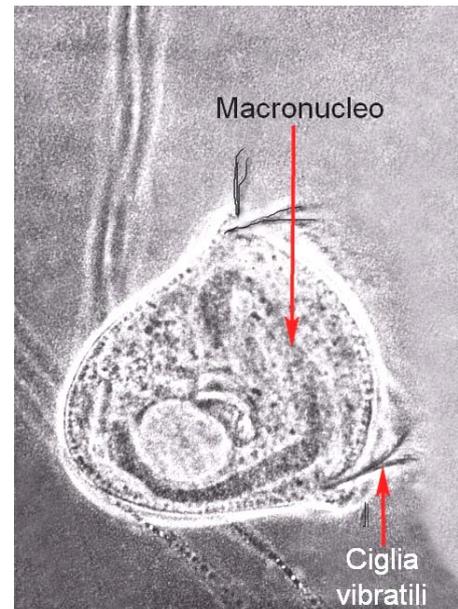
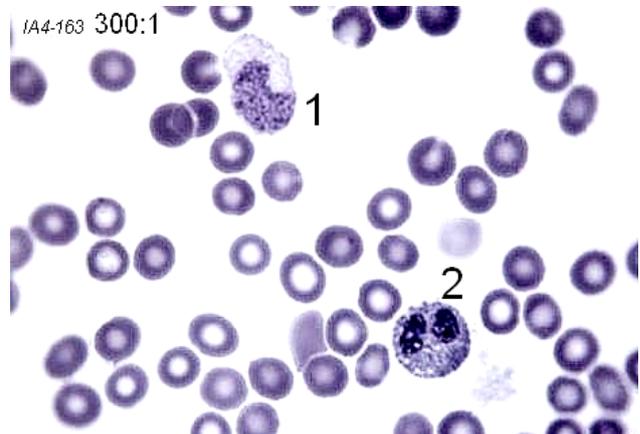


Fig. 15

Sangue umano trattato con coloranti. I globuli rossi appaiono chiari al centro perché li sono più sottili. La loro vita è solo di qualche giorno e perciò non serve il nucleo. In 1 un globulo bianco “monocita”; in 2 un “granulocita” con nucleo suddiviso in lobi.



In moltissimi casi, nel nucleo vi sono ...

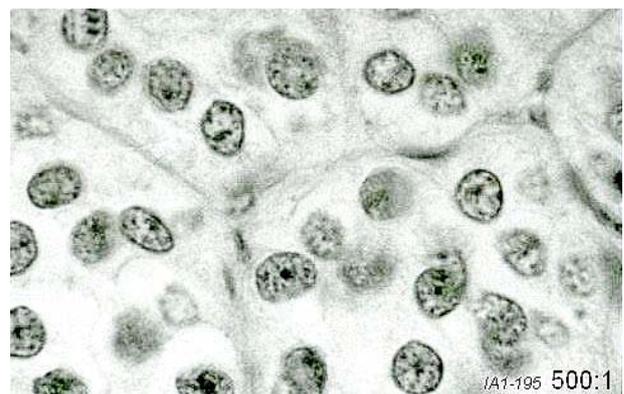
◇◇ uno o più **nucleoli**, piccoli granuli rotondeggianti contenenti RNA (acido ribonucleico).

In essi avviene l’assemblaggio dei ribosomi (vedi sopra, pag. 3), a livello dei quali avviene la sintesi delle proteine. Vedi la figura seguente.

Anche se i nucleoli ne sono l’origine, i ribosomi poi migreranno nel citoplasma.

Fig. 16

Un epitelio ghiandolare (corteccia delle ghiandole surrenali di gatto): cellule rigonfie, strettamente appressate. I grossi nuclei contengono in genere un solo nucleolo (il pallino nero)



Tutte le strutture elencate, presenti nella grande maggioranza delle cellule viventi, rappresentano proprio i costituenti essenziali della cellula, la quale è dunque la più piccola porzione di materia vivente capace di svolgere le funzioni indispensabili alla vita.

In un certo senso, la cellula è il mattone elementare della materia vivente, non c’è vita senza una struttura cellulare.

¹ Si chiamano “ciglia vibratili” dei sottili filamenti oscillanti presenti alla superficie di molti batteri e di quasi tutti i Protozoi Ciliati; si trovano anche in molti animali superiori, compreso l’uomo (nell’albero respiratorio, ad es.).

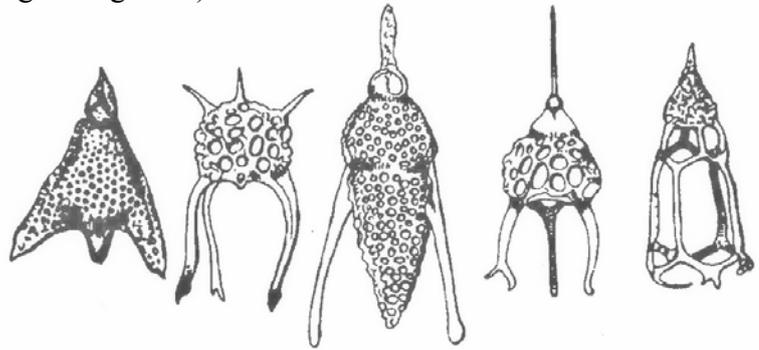
Ne deriva che qualunque essere vivente deve essere costituito da almeno una cellula completa, oppure da un numero variabile di cellule, qualunque sia la sua forma esterna e la sua struttura interna.

Quando l'essere vivente è costituito da una sola cellula ("unicellulare"), esso può adattarsi a molti e diversi modi di vivere ("nicchie ecologiche"¹) cambiando le proprie caratteristiche. Si conoscono centinaia di migliaia di specie di esseri viventi unicellulari (animali o vegetali), tutti diversi, anche se contenenti le strutture essenziali sopra definite.

Possono essere assai diversi per dimensioni e per forma, possedere scheletri o gusci silicei, come i **Radiolari** (animali Protozoi)(figura seguente).

Fig. 17 – All'interno della singola cellula dei Radiolari (microrganismi esclusivamente marini) si forma un sottile scheletro siliceo, di forma svariata.

I loro gusci, quasi insolubili, si accumulano sui fondali marini assieme a quelli delle Diatomee marine (vedi subito sotto) e formano col tempo dei sedimenti fangosi che si possono consolidare fino a formare strati di rocce incoerenti, dette "diatomite" o "tripoli" o "farina fossile".



Anche le **Diatomee** (alghe unicellulari) hanno guscio siliceo interno, generalmente formato da due valve che s'incastano l'una nell'altra. Le forme marine sono spesso a simmetria circolare ("centrales"); quelle d'acqua dolce a forma di barchetta (*pennales*).

Il loro guscio è spesso scolpito da finissime striature o punteggiature.

Fig. 18 – Alcuni gusci (frustoli) di Diatomee marine.

I colori non sono quelli della silice, che è trasparente, ma sono dovuti a fenomeni ottici di diffrazione, che scompongono la luce bianca; in questo senso, il frustolo si comporta come un "reticolo di diffrazione".



Altri Protozoi, in prevalenza marini, sono i **Foraminiferi** (animali) con guscio carbonatico a molte camere. L'animale occupa solo l'ultima cella, la più grande.

Una sola cellula, capace di fabbricare tante diverse strutture per il sostegno e la protezione.

Fig. 19 – Alcuni gusci carbonatici di Foraminiferi. Anche questi possono formare grandi depositi marini che, assieme ai resti di altri animali o alghe con rivestimento carbonatico ("alghe coralline"), contribuiscono a formare le rocce calcaree.



¹ Si dice **nicchia** il particolare modo di vivere di una certa specie in un certo ambiente. In altre parole, il complesso dei rapporti fra quella specie e l'ambiente in cui vive.

Altri Protozoi e Protofiti mostrano sottili filamenti superficiali mobili, dotati di una corona di nove coppie periferiche di microtubuli + una coppia centrale (schema “9 + 1”). Nella fig. 12, pag. 6, e nella 14, pag. 7, abbiamo visto due esempi di Protozoi dotati di “ciglia”.

Nei Flagellati si osservano strutture analoghe: uno o più frustini ondulanti per il nuoto (“**flagelli**”). I Flagellati sono spesso dotati di clorofilla e pertanto sono capaci di fotosintesi. Perciò si trovano in bilico fra il regno animale e quello vegetale.

Fig. 20 – Un flagellato mobile, che per questo si potrebbe considerare di natura animale: *Euglena*.

Assieme ad altre forme analoghe, i Flagellati sono diffusissimi in mare ed acqua dolce ed alcuni sono parassiti, come il *Tripanosoma*, agente della “malattia del sonno”.

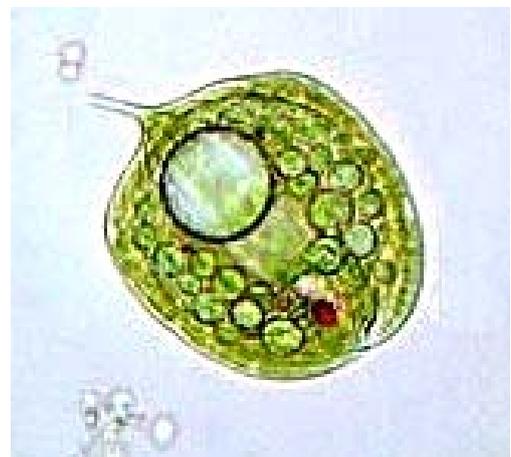
Le specie del genere *Euglena* possiedono cloroplasti e sono quindi fotosintetiche.



Fig. 21 – *Phacus pleuronectes*. Un'altra alga flagellata dotata di clorofilla, quindi capace di fotosintesi. Il puntino rosso presso la base del flagello è un organello fotosensibile. Notare un grosso vacuolo.

Foto di Giorgio Carboni.

Da notare: gli esseri unicellulari sono in massima parte acquatici o parassiti, ma sono frequenti anche nel terreno. Qualche specie è adattata anche all'ambiente aereo, come le alghe che formano patine verdi sulle superfici umide.



La CELLULA – DEFINIZIONE CONCLUSIVA

Per quanto detto finora, la cellula è la più piccola unità di un organismo che sia in grado di funzionare in modo autonomo. Tutti i viventi sono costituiti da una o più cellule e per questo si possono suddividere in organismi unicellulari e pluricellulari. Al primo gruppo appartengono batteri, alghe azzurre¹ e Protisti²; il secondo comprende le piante (Metafiti), gli animali (Metazoi) ed i funghi pluricellulari.

La cellula presenta le proprietà fondamentali della vita elencate all'inizio: – nutrizione, – accrescimento – riproduzione – sensibilità – metabolismo³ specifico, ecc.

Ogni cellula vivente, anche se estratta da un pluricellulare, se integra nella sua struttura ed in opportune condizioni, può vivere in modo autonomo e riprodursi per tempi potenzialmente illi-

¹ Le alghe azzurre o Cianoficèe sono erroneamente chiamate anche “Cianobatteri” per il solo fatto di non possedere un nucleo, ma sono fotosintetiche: i batteri non lo sono. È questo uno degli errori frequenti nella letteratura anglosassone.

² Il termine generico “Protisti” comprende tutti gli organismi unicellulari Eucarioti (dotati di nucleo – vedi sopra), che si possono suddividere, più o meno arbitrariamente, in animali (Protozoi) e vegetali (Protofiti). In molte forme però, specialmente Flagellati, la distinzione fra animale e vegetale si fa molto incerta in quanto si trovano Protisti dotati di movimento e con alimentazione mista, ma contenenti clorofilla e quindi capaci di fotosintesi.

³ Il metabolismo è l'insieme di tutte le reazioni chimiche che si svolgono in un vivente, insieme che è diverso da specie a specie. Vedi la nota 3 a pag. 1.

mitati. **Essa perciò rappresenta l'unità vivente fondamentale** (“teoria cellulare” – nota¹ in basso).

Negli organismi pluricellulari si realizza sempre una distribuzione dei compiti fra le varie cellule e quindi una differenziazione della loro struttura; nascono così i “**tessuti**”, compagini di cellule strutturalmente simili, che svolgono la stessa funzione. Ne ripareremo.

DESCRIZIONE

Riassumiamo: la cellula è una vescichetta costituita da una sottile membrana (“membrana cellulare”), che la separa dall'ambiente circostante, ed è ripiena di un colloide complesso detto “**protoplasma**”.

Il protoplasma contiene l'85 o il 90% di acqua, una grossa struttura centrale detta “**nucleo**”, più o meno sferoidale, e vari “**organelli**” con differenti funzioni (vedi sopra). Escludendo il nucleo, abbiamo chiamato “**citoplasma**” la parte restante del Protoplasma.

Le dimensioni delle cellule sono normalmente di 10 – 30 μ (micron = millesimi di millimetro), ma vi sono cellule sferoidali con molto materiale di riserva, fino a qualche centimetro di diametro (uova di Uccelli, Rettili e Pesci), o di forma fibrosa, lunghe anche qualche decimetro (fibre del legno, fibre nervose, fibre muscolari).

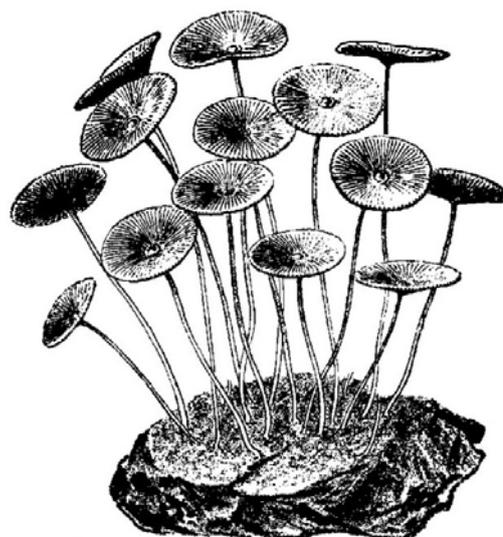
Fig. 22 – *Stentor*, un Protozoo Ciliato a forma di tromba, vivente nelle acque dolci non inquinate, lungo fino ad un millimetro.

Lo *Stentor* può anche fissarsi al substrato mediante il peduncolo posteriore, dotato di corti pseudopodi, ma di solito nuota per mezzo di una corona di ciglia vibratili presenti sull'orlo dell'imbuto.

Foto M. Gazzaniga



Fig.23 a/b – *Acetabularia mediterranea* – Un'alga “calcareea” (con rivestimento carbonatico) formata da una sola cellula, con un solo nucleo. La sua lunghezza è di qualche centimetro. A sinistra: un cespuglio in grandezza naturale. A destra: un disegno schematico della stessa.



La forma della cellula è inizialmente sferoidale o allungata ma, mentre essa si differenzia verso funzioni particolari o in seguito alla pressione delle cellule contigue, la forma finale può divenire assai varia.

¹ La teoria è dovuta a Mathias Jakob Schleiden (Amburgo 1804 - Francoforte sul Meno 1881), botanico tedesco, ed a Theodor Schwann (Neuss sul Reno 1810 - Colonia 1882), fisiologo tedesco.

Fig. 24 – All’apice di una giovane radice di giacinto, il tessuto è ancora poco differenziato (meristema¹ primario) e le cellule si comprimono fra loro assumendo forma cilindrica o prismatica.

Trattandosi di cellule in fase di rapida divisione, il nucleo è grande (per la forte attività metabolica e sintesi proteica) e mostra un evidente nucleolo.

Le due cellule centrali, più mature, hanno già prodotto un grosso vacuolo che spinge citoplasma e nucleo contro la parete.

Preparato colorato.



Fig. 25 – Nei protozoi Sarcodici, come questa *Ameba* d’acqua dolce, la membrana è sottile e flessibile, per cui questo organismo cambia continuamente forma: non ha contatti con altre cellule né con un substrato.

Contrasto interferenziale DIC.

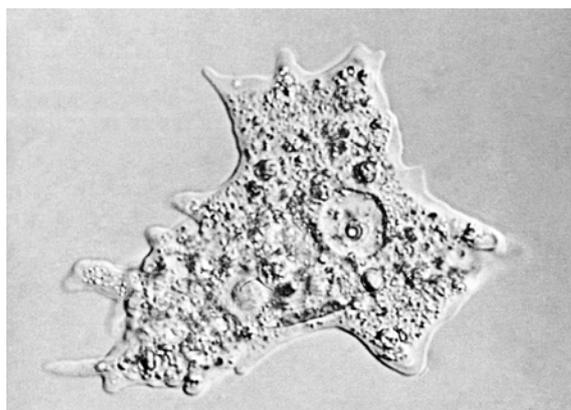


Fig. 26 – Più spesso, le cellule che vivono libere in un ambiente liquido, come questi funghi microscopici unicellulari del “lievito di birra” (*Saccharomyces cerevisiae*, Ascomiceti), assumono forma sferica o ovoidale.

Notare che alcuni individui si stanno riproducendo a mezzo di “gemme” (G).

Contrasto di fase.

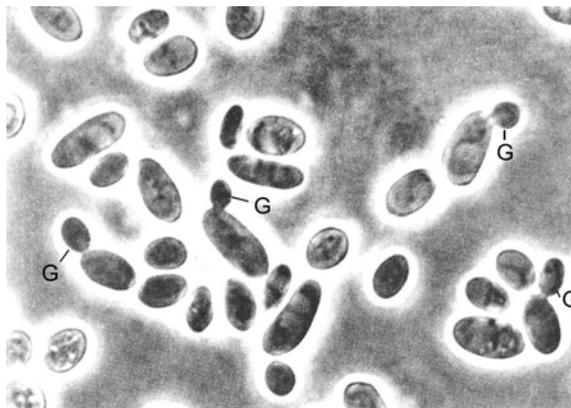
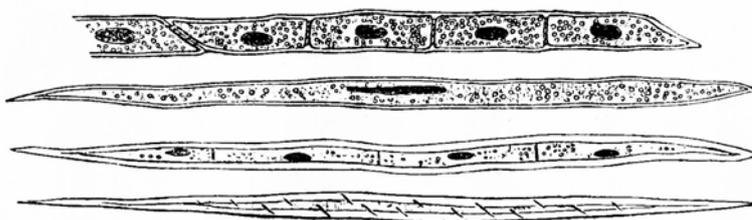


Fig. 27 – La funzione di sostegno del legno implica la natura fibrosa delle singole cellule, fornite di spessa membrana cellulosa addossata ad una parete lignificata. Alcune fibre sono formate da brevi catene di più cellule. Dove esiste un nucleo, si tratta di cellule ancora vive.



E gli esempi si potrebbero moltiplicare, quasi all’infinito.

STRUTTURA

Il protoplasma – il contenuto globale della cellula – è in genere fluido. Con il differenziamento verso funzioni particolari (fibre del legno [figura precedente], sughero [fig. 55, pag. 25], cellule cornee, ecc.), il protoplasma può ridursi e sparire lasciando il posto ad una parete assai ispessita.

¹ Per **meristema** s’intende un tessuto con cellule non differenziate, in fase di continua divisione, destinate a formare i tessuti definitivi.

In altri casi, il protoplasma si riempie di materiali da esso stesso prodotti (grassi – fig. 10 –, sostanze coloranti, oli essenziali, amido, ecc.) e la cellula diviene “morta”, solo il contenitore di tali prodotti; basti pensare alle cellule ghiandolari delle piante aromatiche (figg. 56 e 58 a pag. 26). Normalmente, però, una cellula viva mostra i componenti del citoplasma già citati: nucleo, citoplasma, organelli.

Vi sono però interi gruppi di specie (batteri, alghe Cianoficee), di struttura molto semplice, le cui cellule non presentano nucleo poiché il loro DNA è sparso nel citoplasma.

Si chiamano queste forme “**Procarioti**”, per distinguerle da tutte le altre specie, le cui cellule contengono un nucleo: si parla allora di “**Eucarioti**”: già detto.

In rari casi (Protozoi Ciliati, ad es.) si osservano due nuclei (vedi sopra la fig. 14, a pag. 7).

Raramente (ad es. Mixomiceti, funghi mucilluginosi) si osserva un intero organismo non suddiviso in cellule: numerosissimi nuclei in un unico citoplasma “collettivo”: il **plasmidio**, una massa mucillaginosa che si nutre fagocitando batteri e residui organici.

La “SOSTANZA FONDAMENTALE”

In alcuni tessuti, le varie cellule sono strettamente accostate l’una all’altra, senza spazi interposti (figg. 28, 29, 30, 31).

Fig. 28 – Apice germinativo di una radice. Oltre ai grossi nuclei con uno o due nucleoli, si vedono al centro due cellule in divisione mitotica o “cariocinesi”: quella in basso è in “profase” – compare il reticolo dei cromosomi –; quella al centro è in “metafase” – i cromosomi si sono spostati nel piano equatoriale della cellula.

Foto Giorgio Carboni



Fig. 29 – In sezione trasversale, due strati cellulari sovrapposti: in alto, cellule piatte e fibre (connettivo, con funzione di sostegno); in basso, cellule prismatiche allungate in unico strato (epitelio).

Tutte le cellule sono strettamente appressate.
Epitelio della faringe di girino di rospo.

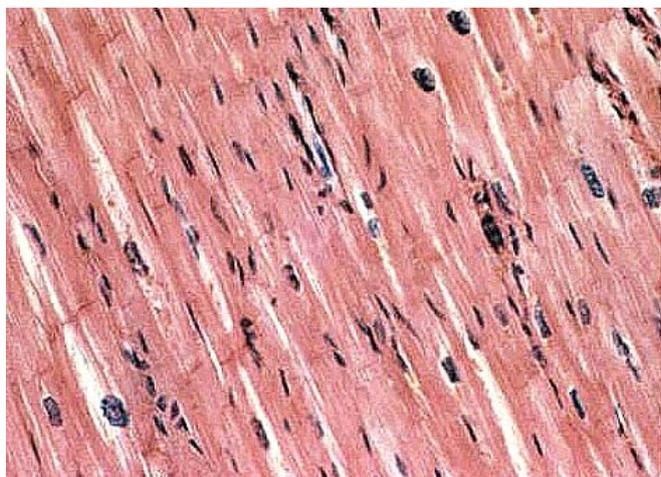


Fig. 30 – Epidermide delle scaglie carnose di cipolla. Un unico strato di cellule piatte senza il minimo spazio interposto.

Luce polarizzata.



Fig. 31 – Sezione sottile di tessuto muscolare cardiaco (miocardio). Si tratta di cellule fibrose, quasi senza spazi intermedi.
200:1

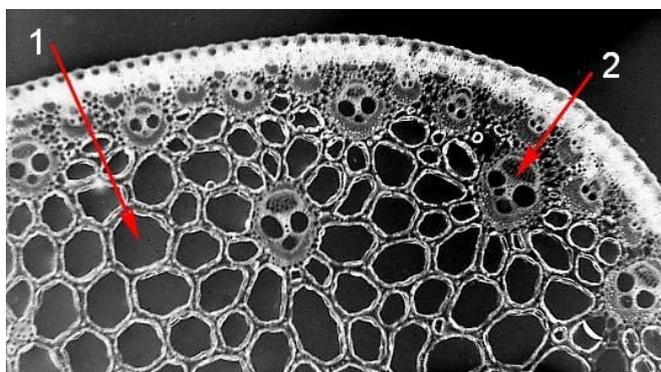


In altri casi, esistono “**spazi intercellulari**” che possono essere ripieni di:

– **aria**, come nei “**parenchimi¹ aeriferi**” delle piante acquatiche che devono sostenere i fusti nell’acqua (figura a lato) ...

Fig. 32 – Sezione trasversale del fusto di papiro (*Cyperus papyrus*, Ciperacee) con un parenchima costituito da canali longitudinali pieni d’aria (1) ed attraversato da fasci fibro-vascolari (2) con fibre e vasi legnosi all’interno e vasi librosi all’esterno (vedi oltre).

Vedi la fig. 64 a pag. 29.
Fondo scuro.



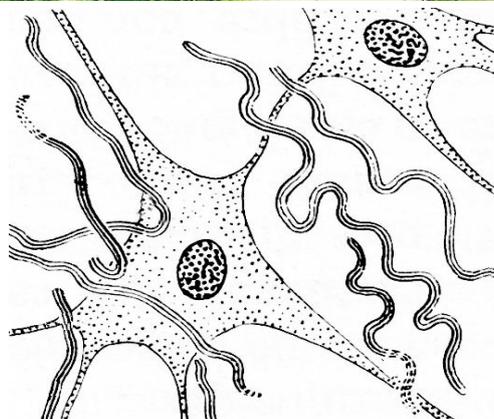
... o nel **parenchima spugnoso** delle foglie verdi, come si vede qui a lato.

Fig. 33 – Sezione trasversale di foglia. A sinistra in alto, l’epidermide priva di clorofilla, con strato unico di cellule. Sotto, un parenchima “a palizzata” di cellule cilindriche appressate. A destra in basso, il sottostante parenchima “aerifero” o “spugnoso”, disseminato di lacune piene d’aria.



– di **liquido** (sangue – fig. 15 a pag. 7, – certi tessuti connettivi – figura a lato);

Fig. 34 – Schema di tessuto connettivo, con fibre e cellule stellate, il tutto immerso in una sostanza intercellulare semiliquida. Un tale tessuto, negli animali, ha la funzione di collegare fra loro organi diversi e consentire lo scambio di nutrimento, ormoni, rifiuti, ecc.



¹ Si chiama **parenchima**, nel caso dei tessuti vegetali, quello costituito da cellule vive poco differenziate, a pareti non lignificate, generalmente globose, spesso con molti spazi intercellulari.

– o di **materiale solido** prodotto dalle cellule stesse (dentina, tessuto osseo o cartilagineo, figure seguenti).

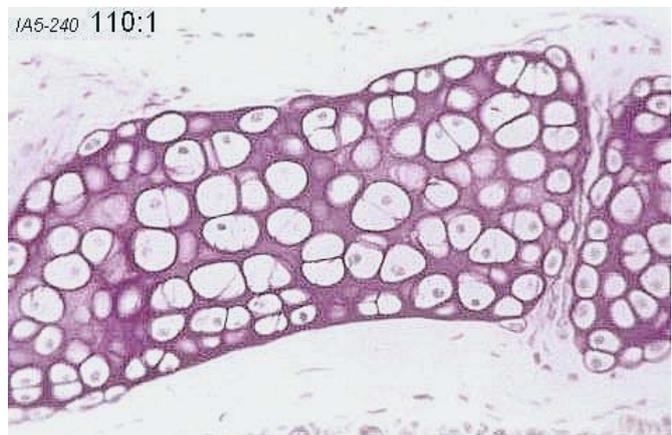
In questi casi, la **sostanza intercellulare** (“fondamentale”) può rappresentare la quasi totalità della massa del tessuto e la funzione di essa (come nei tessuti “di sostegno” animali) è affidata proprio alla sostanza intercellulare. Si pensi all’osso (figura 35 seguente) od alla cartilagine (fig. 36).

Fig. 35 – Sezione sottile della falange di gatto. Le cellule costruttrici del tessuto osseo, gli osteociti, a basso ingrandimento, appaiono come corpiccioli affusolati, ma essi possiedono una raggiera di prolungamenti arboreoscenti che consentono il trasporto di sostanze vitali per la vita delle cellule. Comunque, gli osteociti rappresentano, in volume, una minima parte del tessuto. Il resto è costituito da una massa solida e rigida con una componente organica, ed in più con molti sali di calcio e di fosforo.



Fig. 36 – Cartilagine da embrione di gatto. Si tratta di cartilagine “ialina”, non fibrosa. Trattandosi di un embrione, il tessuto non è ancora ben differenziato, le cellule sono grandi e con poca sostanza intercellulare. Si vede qualche nucleo. In questo caso, la sostanza intercellulare (matrice) è allo stato di gel.

In altri casi essa è ricca di fibre e può avere differente natura chimica, secondo il tipo di tessuto cartilagineo (cartilagine elastica e fibrosa).



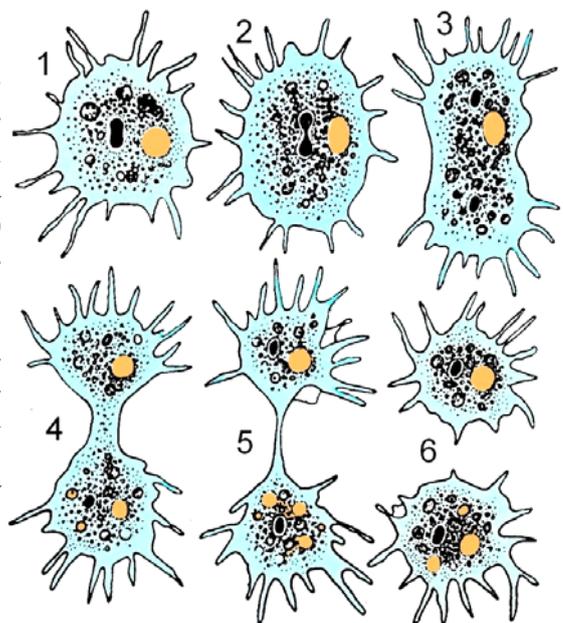
La RIPRODUZIONE

A volte, specie nei Protisti, la cellula si riproduce semplicemente dividendosi in due: il nucleo si allunga e si divide in due metà uguali; fra i due nuclei “figli” si forma una parete divisoria e si hanno alla fine due cellule figlie, contenenti la metà (di solito) del materiale della cellula madre. Vedi la figura a lato.

Fig. 37 – Divisione semplice in *Ameba polyopodia* (Sarcodici) – In 2 il nucleo (in nero) si sta semplicemente sdoppiando. In 3 il nucleo ha perso la membrana e si è disperso nel citoplasma. In 4 e 5 anche il citoplasma si sta dividendo.

Le due cellule figlie (6) sono più piccole della madre, ma cresceranno e ripristineranno presto la dimensione normale.

Qualche vacuolo (in arancione).



La divisione del nucleo, generalmente, è però assai più complessa: dapprima i cromosomi¹ si rendono visibili nel succo nucleare come un disordinato gomitolo (profase). Poi essi si sdoppiano e si dispongono sul piano equatoriale della cellula (piastra della metafase).

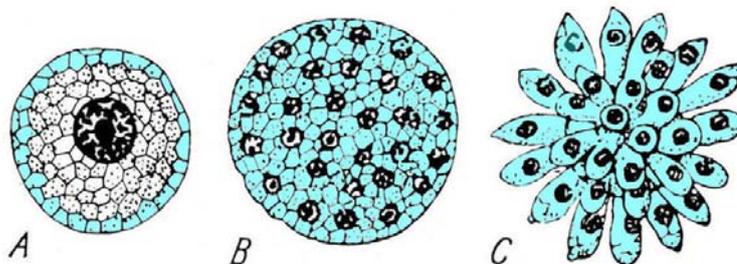
¹ I cromosomi sono costituiti da sottili filamenti di DNA avvolti attorno a speciali proteine (istoni). Sono di forma allungata e si presentano in numero fisso per ogni specie vivente.

Dopo lo sdoppiamento una metà di ogni cromosoma si raggruppa assieme a tutte le altre metà ad uno dei poli della cellula (anafase). Alla fine, si ottengono due nuclei con lo stesso numero e forma dei cromosomi della cellula iniziale (telofase).

Questo complesso meccanismo, comune a quasi tutte le cellule viventi, si chiama “**cariocinesi**”¹ o “**mitosi**”². Nella fig. 28 a pag. 12 si è vista una piastra metafasica vista da uno dei poli della cellula.

Non sempre le cellule figlie sono due: specialmente fra i protozoi, si possono avere divisioni multiple con formazione di molte cellule figlie molto piccole (sporulazione) (figura sotto).

Fig. 38 – Scissione multipla di *Eimeria schubergi*. Prima si frammenta il nucleo (cariodieresi) e poi il citoplasma (citodieresi). Ogni frammento di citoplasma si condensa attorno ad uno dei nuclei e si circonda di membrana.

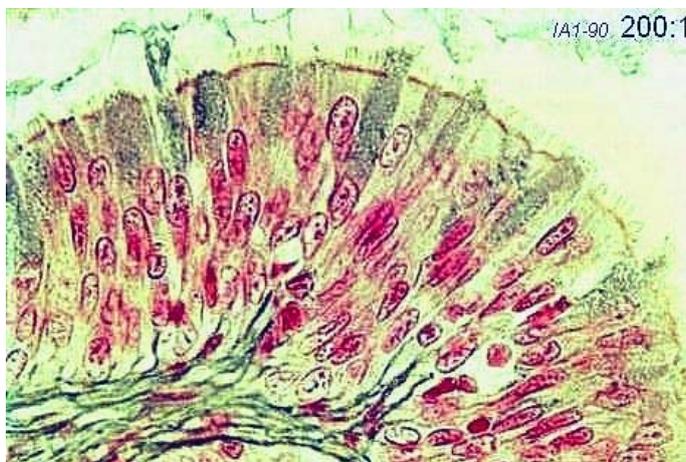


II DIFFERENZIAMENTO

Subito dopo la sua nascita, ogni cellula appare globosa, senza strutture particolari, priva di vacuoli o altri inclusi (come in fig. 1 a pag. 2). Mentre si avvicina alla sua sede ed alla sua funzione definitiva, ogni cellula si trasforma, si riempie spesso di materiali specifici (vacuoli, inclusi, fibrille, ecc.) e muta completamente forma, dimensioni, struttura e funzione.

Esempi evidenti: le fibre muscolari animali (fig. 31, pag. 13), le fibre vegetali (fig. 27, pag. 11), gli epiteli³ ghiandolari (fig. 16 a pag. 7, la 29 a pag. 12, e la seguente), gli osteociti dell’osso (fig. 35 a pag. 14), le cellule del connettivo (fig. 34 a pag. 13), quelle dell’adipe (fig. 10 a pag. 5), i vari globuli del sangue (fig. 15 a pag. 7), tutti i microrganismi unicellulari (figg. da 17 a 26, pagg. da 8 a 11), le cellule nervose (fig. 50 a pag. 22), ecc.

Fig. 39 – Esofago di rana. Epitelio ciliato mucoso, a cellule prismatiche. Le cellule mucipare sono quelle in verde-grigio, prive di nucleo. Sull’orlo superiore, si vedono le ciglia “vibratili” che provvedono a trasportare il muco in eccesso verso lo stomaco. Ingrandimento: 200:1



Si noti che, in una piccola porzione di un organo, piccolo anch’esso, si affiancano cellule e fibre (nel connettivo in basso a sinistra), cellule prismatiche (in rosso), cellule clavate per la produzione del muco (in grigio-verde).

Queste diverse cellule si sono sviluppate partendo da un unico ceppo, ma prendendo strade diverse.

A questo punto nasce uno dei più grandi problemi della biologia: se tutte le cellule, alla nascita, si assomigliano tanto (stesso corredo genico), com’è possibile cavarne cellule mature così diverse, atte a svolgere le molteplici funzioni di un organismo complesso?

Cosa spinge l’accrescimento e lo sviluppo di ogni singola cellula (il suo “differenziamento”) in una direzione particolare, predisposta per una particolare funzione?

La risposta è complessa e, semplificando molto, si può riassumere così: tutte le cellule possiedono un corredo genico completo. Attraverso l’acido ribonucleico (RNA) ed i ribosomi, il

¹ Dal greco: “càrion” = nucleo e “kinesis” = movimento.

² Ancora dal greco “mitos” = filo, per l’aspetto filamentoso dei cromosomi.

³ L’epitelio è un tessuto di rivestimento formato da uno o più strati di cellule senza spazi interposti. A volte, le cellule sono ricche di prodotti (secreti) destinati ad essere riversati all’esterno, come negli epiteli mucosi che rivestono la superficie interna del tubo digerente e dell’albero respiratorio.

DNA contenuto nel nucleo dirige la sintesi di proteine “strutturali” (che costituiscono tutte le parti della cellula matura) e di proteine enzimatiche (necessarie per consentire la sintesi delle precedenti).

L'unica cellula di un vivente monocellulare viene così indirizzata verso il suo destino finale.

Invece, tutte le cellule degli esseri pluricellulari, anche trovandosi circondate da altri ammassi di cellule vicine, devono durante lo sviluppo ricevere “istruzioni” specifiche per sintetizzare le proteine necessarie alla loro particolare funzione futura.

Un esempio: l'unica cellula-uovo, dividendosi un gran numero di volte, produce una grande quantità di cellule-figlie, tutte con lo stesso corredo genico dell'uovo, tutte potenzialmente identiche. Però, con lo sviluppo dell'individuo, alcune delle cellule figlie si sviluppano (si differenziano), per es., in fibre muscolari, altre in cellule epidermiche, altre in cellule verdi del parenchima fogliare, e così via. Chi dirige questo differente sviluppo dei vari territori dell'embrione? Non sono tutti inizialmente uguali?

Il trucco è qui: nel genoma di ogni cellula di un qualunque organismo ci sono gli stessi geni, sufficienti a “dirigere” lo sviluppo di qualunque struttura, di qualunque tipo di cellule mature. Ma in ogni cellula vengono attivati solo quei geni che spingono la cellula a differenziarsi in direzione del suo destino finale. Il processo attraverso il quale sono selezionati (attivati) solo i geni opportuni risiede in un intreccio di messaggi biochimici provenienti dalle cellule contermini.

Un esempio potrà chiarire il concetto. In un embrione di rana, in un definito stadio di sviluppo, si forma sul dorso un “solco neurale”, come un'infossatura dello strato esterno di cellule (ectoderma). Tale solco si richiude a formare un “tubo neurale” che evolverà poi nel sistema nervoso dell'adulto. Se si prende una porzione di questa struttura dorsale e la si trapianta nella regione ventrale, qui si svilupperà un secondo tubo neurale. Il trapianto ha portato con sé i mediatori chimici che spingono le cellule del ventre a formare altro tessuto pre-nervoso.

Le CELLULE VEGETALI

Nei vegetali, le cellule presentano essenzialmente tre differenze rispetto a quelle animali.

●● **La parete cellulosica.** Addossato esternamente alla membrana cellulare sopra descritta, si trova uno strato semirigido impregnato di cellulosa a struttura fibrillare (fig. 60, pag. 28), spesso rinforzata da materiali più rigidi, elastici o impermeabili (lignina, suberina per il sughero, cutina per le epidermidi, ecc.). Occorre quindi distinguere fra la membrana fosfolipidica (pag. 2 e fig. 2), che è flessibile, e la parete cellulosica, magari impregnata di lignina o altro, poco estensibile.

È proprio la rigidità della parete cellulosica che consente il turgore e la consistenza delle cellule vegetali: per ragioni osmotiche, la pressione interna della cellula può essere tale da conferirle le proprietà di un pallone gonfiato.

In altre parole, la parete poco estensibile è la ragione per cui la cellula vegetale è generalmente turgida e semi-rigida: la pressione interna è maggiore di quella esterna poiché il citoplasma è ipertonico – la pressione osmotica è maggiore dentro che fuori, per cui l'acqua tende ad entrare – e la cellula tende ad assorbire acqua finché la sua pressione osmotica è neutralizzata dalla pressione idrostatica, legata alla rigidità della parete¹.

●● **I plastidi.** Si tratta di sacche membranose nelle quali la cellula può accumulare sostanze di vario genere. I **leucoplasti** sono plastidi nei quali viene confinato l'amido di riserva, in attesa di utilizzazione; i **cromoplasti** sono plastidi nei quali si accumulano pigmenti, come i carotenoidi, di colore rosso o giallo. I **cloroplasti**, infine, rappresentano la sede della fotosintesi clorofilliana contenendo molta clorofilla (vedi la fig. 33 a pag. 13 e la seguente).

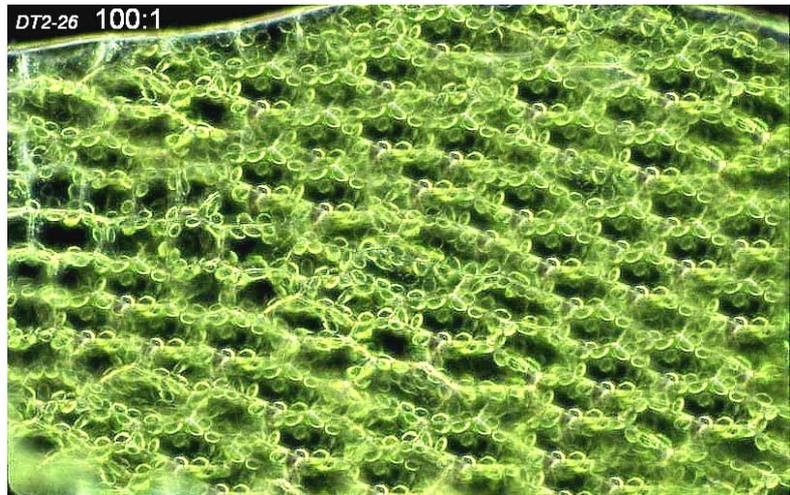
¹ Ecco perché la verdura e la frutta si afflosciano dopo la bollitura: il citoplasma, durante la cottura, produce vapore in pressione che fa scoppiare la parete cellulare e la cellula perde il suo turgore e quindi la sua rigidità. Anche il congelamento, in molti casi, provoca la formazione di cristalli di ghiaccio interni alla cellula, che allora può ugualmente scoppiare.

Fig. 40 – Foglia di *Bryum capillare* formata da un solo strato di cellule, come avviene nella maggior parte dei muschi.

Qui i grossi cloroplasti sono quasi tutti addossati alla parete laterale delle cellule per non esporsi alla luce diretta del sole.

I cloroplasti possono contenere amido, che non è altro che un polimero di glucosio a formula $(C_6H_{10}O_5)_n$, con $n \geq 20$.

Ingrandimento 100:1. Illuminazione in fondo scuro.



•• **I vacuoli.** Abbiamo visto la loro presenza anche nelle cellule animali, ma in quel caso il loro volume complessivo è trascurabile rispetto al volume della cellula.

Nelle piante, invece, il loro volume occupa spesso, almeno nelle cellule mature, la maggior parte dello spazio del citoplasma (fig. 13, pag. 6). Si tratta di strutture delimitate da una membrana (**tonoplasto**) e ripiene di un “succo vacuolare”, contenente acqua, proteine, sali minerali, zuccheri, vari pigmenti e materiali di riserva. La cellula adulta contiene un unico vacuolo, che occupa la maggior parte del suo spazio interno (fig. 24 a pag. 11), derivando dalla confluenza dei numerosi piccoli vacuoli presenti nella cellula immatura; il citoplasma si riduce allora ad un sottile strato aderente internamente alla membrana.

Come si è già notato, il vacuolo esercita una pressione contro la rigida parete esterna, assume funzione idrostatica e mantiene il turgore della cellula; inoltre, riassorbendo o espellendo acqua, mantiene attivamente costante il turgore cellulare al variare della concentrazione dei fluidi extracellulari.

I pigmenti del succo vacuolare, quando presenti, sono soprattutto le antocianine, responsabili del colore rosso o blu di molti frutti e fiori. I carotenoidi gialli e rossi si trovano invece nei cromoplasti, come detto sopra. Il vacuolo può inglobare molecole o organuli che devono essere degradati; questi, immessi nel succo vacuolare, vengono attaccati da enzimi specifici; in tal modo, il vacuolo può agire come i lisosomi presenti nelle cellule animali (vedi a pag. 4).

I TESSUTI

Consultando una qualunque enciclopedia alla voce “tessuto” si legge in genere una definizione di questo tipo:

— Aggregato di cellule specializzate – o dei loro prodotti – che hanno forma, struttura e funzioni simili ed una comune origine embriologica – derivanti da una cellula iniziale per successive divisioni – .

Un tale aggregato è tipico degli organismi animali eucarioti pluricellulari e delle piante superiori (Cormofite).

Per effetto dell’attività coordinata di quelle cellule, il tessuto da esse formato risulta specializzato a svolgere una o più funzioni specifiche, differenti da quelle di altri tessuti e che non sono proprie di ciascuna singola cellula. È come dire che il tessuto mostra funzioni emergenti rispetto a quelle delle cellule che lo compongono.

Diversi tessuti a loro volta possono cooperare in modo da costituire una struttura più complessa, che prende il nome di **organo**.

Il processo di differenziamento dei tessuti avviene nella fase di sviluppo che prende il nome di organogenesi, in cui i gruppi cellulari si organizzano a formare gli abbozzi di quelli che diventeranno gli organi dell’individuo completo.

Fra le piante, si chiamano Cormofite quelle che possiedono tessuti ed organi (in sostanza: Pteridofite = felci e simili, e Fanerogame = piante con semi e fiori). Le altre piante (Tallofite =

Alge, Funghi, Licheni, Muschi ed Epatiche) sono prive di veri tessuti.

Proviamo ad approfondire il concetto.

Si conoscono molti esseri viventi costituiti da poche cellule: alghe come i *Pediastrum*, figura seguente ...

Fig. 41 – Queste alghe verdi formano aggregati piatti di molte cellule in cui si osservano forme differenti fra cellule centrali e cellule periferiche. Vi è quindi differenza di forma, ma non di strutture interne o di funzioni.

Esempio di falsi tessuti.

... oppure alghe “dorate” flagellate (*Uroglena*, *Dinobryon sociale*) in cui molti individui si aggregano in colonie, ma ancora senza differenziamento di strutture e funzioni (fig. 42, subito sotto, a destra);

Fig. 42 (a destra) – Queste colonie possono essere molto fitte, ma sempre formate da individui monocellulari, mai differenziati. Ogni individuo può vivere, anche se separato dagli altri: è autosufficiente.

... oppure Protozoi Flagellati come i *Volvox* (fig. 43).

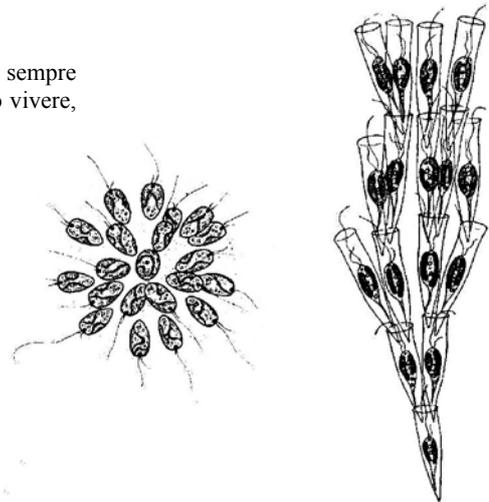
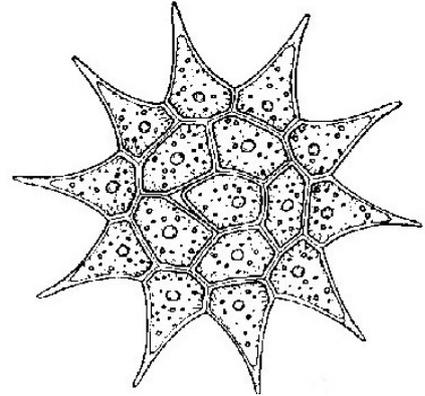
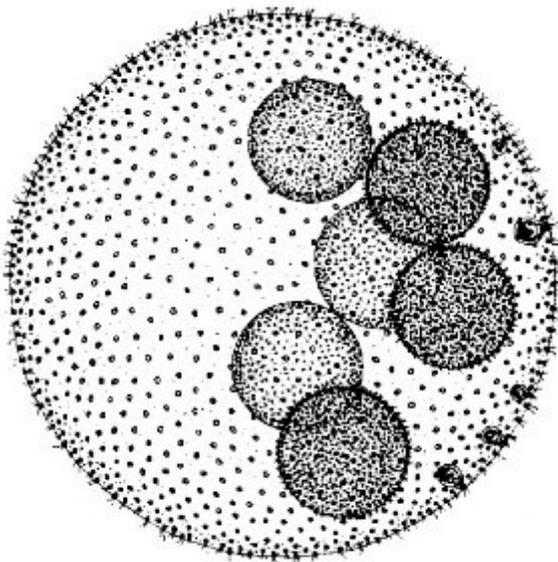


Fig. 43 (a sinistra) – Qui abbiamo una colonia gelatinosa formata da 500 – 1.000 cellule di alghe verdi bi-flagellate, distribuite alla superficie della sfera.

Alla superficie interna della sfera, gruppi di cellule di struttura diversa (a destra nella figura) provvedono alla riproduzione della colonia; si avrebbe un certo differenziamento di forma e funzioni, ma non si tratta ancora di **tessuti**; solo **colonie**.

NB: le grosse sfere all'interno della colonia sono colonie figlie, che usciranno nell'ambiente esterno alla morte della colonia madre.

Per parlare di tessuti ed organismi pluricellulari si devono osservare vere assise di cellule differenziate per struttura e funzioni.

Certe specie (**Diciemidi**, del gruppo dei Mesozoi, piccolissimi vermetti acquatici o parassiti; oppure i **Rotiferi**, altri “vermetti” acquatici) sono costituite da poche decine o centinaia di cellule; ma vi è già “differenziamento”, cioè divisione di compiti, fra i vari gruppi di cellule, e quindi si parla di veri tessuti e di veri organismi; ma si tratta di poche eccezioni.

In maggioranza, i pluricellulari sono invece costituiti da un numero enorme di cellule, e le differenze morfologiche (di forma o struttura) o fisiologiche (di funzioni) fra i vari gruppi di cellule sono evidentissime. Molte cellule sono quasi irriconoscibili e perdono alcune delle loro proprietà fondamentali, come la riproduzione (le cellule del sangue, del sistema nervoso, ecc.), in vista delle loro particolari funzioni.

In molti tessuti, le cellule producono svariati materiali che vengono riversati all'esterno; fra

cellula e cellula si forma allora un ammasso di “**sostanza inter-cellulare**” o “fondamentale” (vedi a pag. 12, le figg. 34–36 a pag. 13–14 e la fig. 50 a pag. 22); la sostanza intercellulare può rappresentare la massima parte del volume del tessuto, pur non rappresentando un componente vivente, e ne determina le caratteristiche fisiche e chimiche.

●● Per inciso, il fenomeno della specializzazione (**differenziamento**) delle singole cellule, come la loro perdita di autosufficienza, in un pluricellulare fa pensare alla divisione dei compiti ed alla reciproca dipendenza che si verificano in una società umana come anche in molti insetti “sociali” (formiche, vespe, termiti, ecc.): i singoli individui non possono vivere da soli ma solo nel contesto della “società”; in un formicaio, solo la regina si riproduce ma non può vivere senza esser nutrita dalle operaie; le operaie sanno raccogliere cibo e nutrirsi, ma non possono riprodursi, ecc. In una società umana l’artigiano che fabbrica gli attrezzi agricoli non può vivere senza il contadino che produce gli alimenti, e così via.

Così, anche in un organismo pluricellulare ogni cellula può vivere e svilupparsi bene solo all’interno dell’organismo.

Dunque, si può fare un paragone fra cellula (all’interno di un pluricellulare), formica o vespa (nel suo nido) ed uomo (membro di una società umana): l’individuo da solo non può vivere (o vive male), dunque non è autosufficiente; il vero organismo, il vero individuo, è il pluricellulare, oppure il formicaio, oppure la società umana.

Sia nel corso dello sviluppo individuale o embrionale (“ontogenesi”), sia nel corso dell’evoluzione e della discendenza di una specie dall’altra (“filogenesi”), si osserva il passaggio da cellule singole, a colonie, a società (cioè individui pluricellulari), con una crescita continua del differenziamento, della specializzazione delle forme e delle funzioni, della reciproca dipendenza. Come molte cellule si associano a formare un pluricellulare (individuo), così molti individui si associano a formare una società indivisibile (formicai, società umane di ogni genere, ecc.).

Del resto, la “legge biogenetica fondamentale”¹ dice appunto che “durante l’ontogenesi si riassume la filogenesi”, cioè durante lo sviluppo individuale (**ontogenesi**) si ripercorre il processo evolutivo che ogni specie ha attraversato durante la propria discendenza (**filogenesi**); infatti, nel corso dello sviluppo individuale si formano, sia pure temporaneamente, abbozzi ed organi che scompaiono nell’adulto, ma sono stati essenziali per i progenitori. Si cita sempre la presenza di abbozzi di branchie (normali organi di respirazione dei pesci) durante qualche fase, sia pure breve, dello sviluppo di tutti i Vertebrati, uomo compreso. ●●

Tornando al concetto di tessuto, si constata dunque come, in vista di ogni particolare funzione, la cellula si possa differenziare, cioè presentare forma e strutture assai diverse. Un insieme di tali cellule differenziate è un tessuto.

Del resto, anche gli organismi pluricellulari sono estremamente vari quanto a forma, struttura e dimensioni, pur essendo costituiti dagli stessi elementi strutturali, cioè le cellule. Così, in ogni cellula, per quanto diversificata e specializzata, si trovano sempre gli stessi elementi, quelli sopra elencati (membrana, nucleo, condrioma, ribosomi, ecc.).

TESSUTI ANIMALI

La scienza che si occupa dello studio della struttura dei tessuti è detta **istologia**.

I principali gruppi di tessuti dei Vertebrati (negli Invertebrati si trovano varie differenze) sono: tessuti epiteliali, connettivi e nervosi.

Nel gruppo degli **epiteli** le cellule sono disposte in uno o più strati, senza sostanza intercellulare; cellule appiattite o globose o prismatiche. Le funzioni sono:

— rivestimento di superfici esterne od interne a costituire barriera tra l’ambiente corporeo e l’ambiente esterno o delle cavità interne (lume del sistema digerente e respiratorio, ad es.); il fine

¹ dovuta ad Ernst Heinrich Haeckel (Potsdam 1834 - Jena 1919), biologo e filosofo tedesco.

è di regolare o impedire gli scambi tra l'esterno e l'interno dell'organismo.

Fig. 44 – L'interno della bocca e di altri organi è tappezzato da un epitelio pluristratificato. Gli strati più superficiali sono costituiti da cellule appiattite che si desquamano facilmente e si disperdono nella saliva.

In ogni cellula è visibile il nucleo.

I puntini scuri sono batteri, normali abitanti del cavo orale.

Contrasto interferenziale.

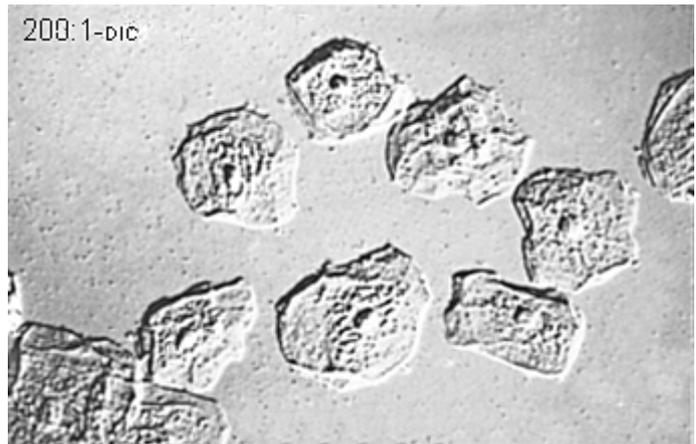


Fig. 45 a/b/c (sotto) – Tre schemi di epitelio monostratificato: “pavimentoso”, “cubico” e “prismatico”.

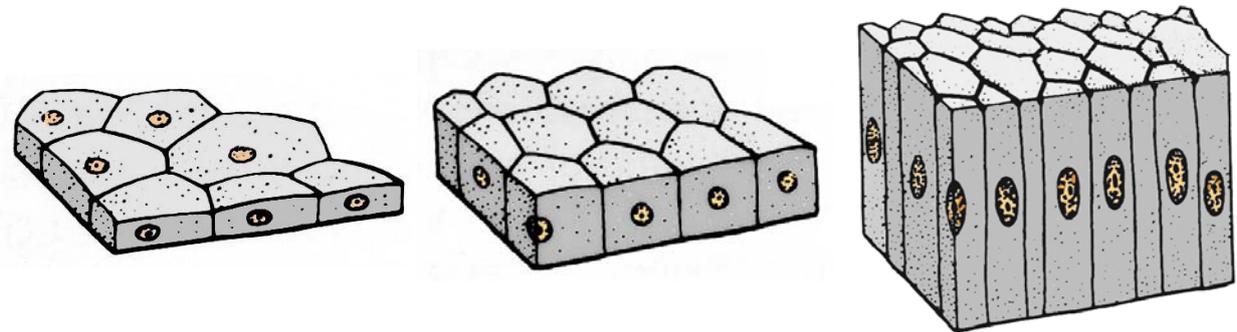


Fig. 46 (a destra) – Schema di epitelio pavimentoso pluristratificato.

Lo strato inferiore può avere funzione “germinativa”, nel senso che si tratta di cellule in continua divisione, capaci di spingere verso l’alto strati di nuove cellule; tali strati si modificano gradualmente e vanno a sostituire gli strati superficiali, in continua desquamazione.

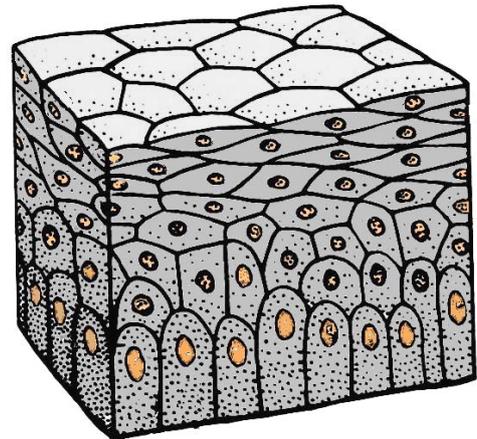
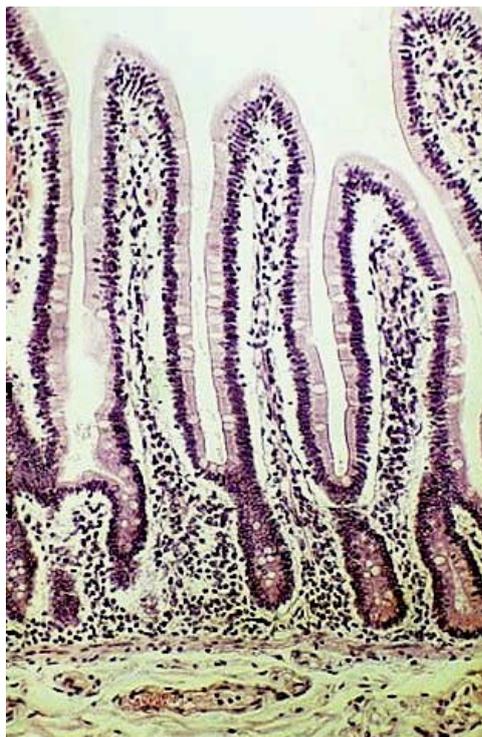


Fig. 47 (a sinistra) – La superficie interna di vari organi (in questo caso, l’intestino “digiuno”, è tappezzata da un epitelio prismatico, come nello schema 45c. Per aumentare la superficie di contatto fra “chilo” (il contenuto intestinale) e tessuti sottostanti, l’epitelio è fittamente ripiegato e forma dei cilindretti diretti verso il lume dell’organo (“villi”).

All’interno dei villi ed alla base di tutto si trovano strati di tessuto connettivale con vasi sanguigni e fibre muscolari “lisce” (vedi sotto).

Un esempio di epitelio prismatico si è visto nella fig. 29 a pag. 12.

— la produzione di secreti (epiteli ghiandolari).

A volte, come nei casi precedenti, alcune delle cellule dell'epitelio sono trasformate in ghiandole mucipare (che producono muco, fig. 39 a pag. 15) e ghiandolari. In altri casi, tutto l'epitelio assume funzione ghiandolare.

In quest'ultimo caso, l'epitelio ghiandolare si estende in superficie e si ripiega fittamente in canalini e vescicole, sullo schema di un grappolo d'uva. Il prodotto secreto dall'epitelio viene raccolto dai suddetti canalini e si riversa nel punto in cui svolgere la propria funzione. Esempio classico: le ghiandole salivari.

In fig. 16, a pag. 7, si è visto un esempio di ghiandola “endocrina”, che riversa il proprio secreto direttamente nel sangue, senza raccogliarlo nei canalini di cui sopra.

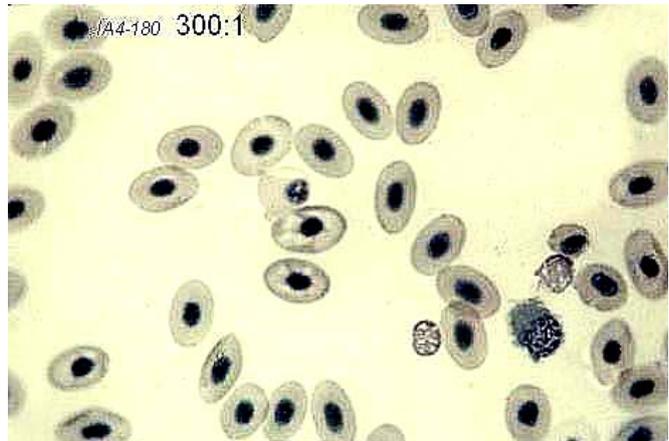
I **tessuti connettivi** rappresentano una famiglia assai composta: Sostanzialmente, si tratta di cellule stellate o allungate immerse in una sostanza intercellulare liquida o viscosa (“matrice”) assieme a “fibre connettive”. Tali fibre sono costituite da vari tipi di proteine (collagene ed elastina) che si associano in sottili fibrille intrecciate all'interno di ogni fibra.

Il connettivo svolge un ruolo di collegamento, di rivestimento e di sostegno di altri organi e tessuti: si trova dappertutto, alla base degli epiteli e nella parete di organi tubolari (albero respiratorio, vasi sanguigni, apparato digerente).

In senso ampio, vengono considerati tessuti connettivi il tessuto adiposo (fig. 10 a pag. 5), il tessuto osseo (fig. 35 a pag. 14), il tessuto cartilagineo (fig. 36), il sangue (fig. 15 a pag. 7 e figura seguente) e la linfa. Questi ultimi, sangue e linfa, tessuti liquidi, sono privi di fibre. Il carattere comune è di portare cellule disperse in una matrice liquida o semiliquida. Nel caso dei tessuti cartilaginei ed ossei, però, la sostanza intercellulare è tutt'altro che liquida. Le cellule ossee (osteociti) sono fornite di prolungamenti ramificati che le fanno somigliare a piccoli neuroni.

Fig. 48 – Sangue di gallina. In basso a destra un leucocita (globulo bianco). 300:1.

Notare che i globuli rossi sono nucleati, come quelli dei rettili, e sono più grandi di quelli dei Mammiferi.



I **tessuti muscolari** hanno in comune la struttura a “fibre muscolari”, cellule allungate, di diametro ben maggiore delle fibre connettivali, e capaci di “contrarsi” per influenza di stimoli nervosi o chimici.

Le fibre muscolari “**liscie**” hanno struttura omogenea, un solo nucleo, e forma affusolata da ambo i lati. Si trovano in strati più o meno spessi nella parete di buona parte dei vasi sanguigni, del sistema digerente, di quello respiratorio. Vengono comandate in modo quasi automatico dal sistema nervoso “viscerale” (simpatico e parasimpatico), e quindi non sono comandate dalla volontà.

Le fibre muscolari “**striate**” sono più grosse, sono di forma cilindrica, e sono comandate dai nervi cerebro-spinali, quindi da azioni volontarie. Sono fornite di molti nuclei, distribuiti lungo la fibra. In fasci compatti formano i muscoli “scheletrici” che si collegano in prevalenza alle ossa o alla cute (“muscoli pellicciai”). Il nome di “striate” viene dal fatto che le miofibrille di cui sono ripiene le fibre hanno un andamento eterogeneo, con alternanza regolare di bande chiare e scure. Poiché tali bande si corrispondono in tutte le miofibrille della stessa fibra, la fibra appare anch'essa attraversata da fitte bande chiare e scure (figura seguente).

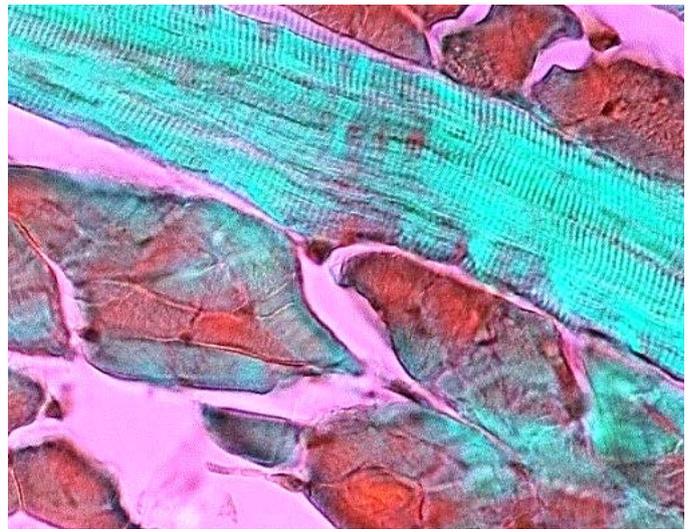
I muscoli degli Insetti hanno una struttura più complessa di quelli dei Vertebrati ed anche una maggiore efficienza (vedi, in questo sito, l'art. n° A 19: “La fisica del movimento fra gli insetti”).

Fig. 49 – Sezione sottile di lingua di coniglio.

Le striature sono ben visibili nel fascio inclinato (in verde), che è parallelo alla superficie della sezione. Gli altri fasci sono stati sezionati trasversalmente e quindi i piani delle loro striature risultano più o meno obliqui rispetto alla sezione.

400:1 – Luce polarizzata + compens. rosso 1° ordine (λ).

Il tessuto **muscolare cardiaco** ha invece caratteri peculiari, almeno nei Mammiferi (fig. 31 a pag. 13): le fibre sono interconnesse tra loro da ramificazioni. Nelle fibre si osservano strie trasversali, analoghe a quelle presenti nel tessuto striato scheletrico.



L'innervazione del tessuto cardiaco è di tipo autonomo, nel senso che all'interno del cuore esiste un sistema ramificato di fibre nervose che, diramandosi verso i due ventricoli del cuore, conducono l'impulso di contrazione dal nodo atrio-ventricolare alla parete cardiaca (fibre del Purkinje¹, 1839).

Tessuto nervoso

Molto noti sono i **neuroni**, cellule caratterizzate da un corpo centrale (pirenoforo) e da numerosi prolungamenti ramificati (**dendriti**) che da esso si dipartono. Essi mostrano in genere anche un prolungamento lungo e sottile (**assone o neurite o cilindrasse**), che concorre, insieme agli assoni di altre cellule, alla formazione dei nervi. I dendriti sono centripeti o afferenti – conducono gli impulsi in direzione del pirenoforo – mentre l'assone è centrifugo o efferente.

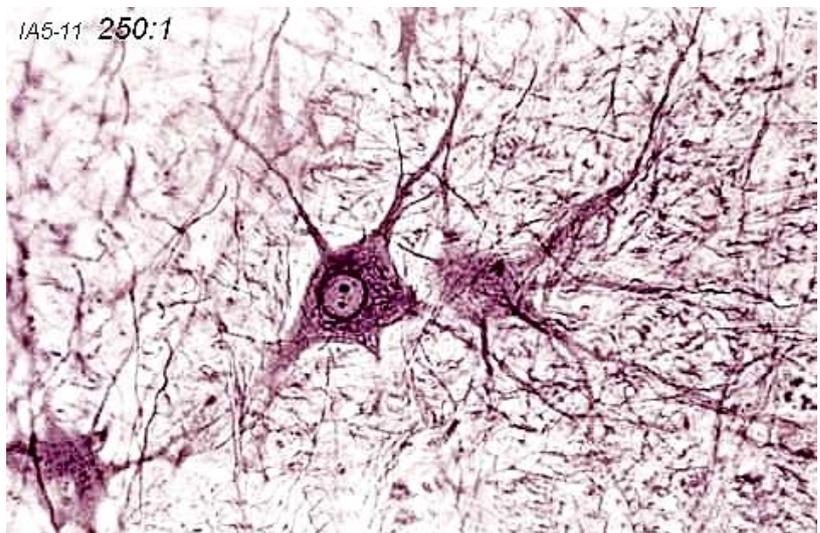
I neuroni sono cellule altamente specializzate nella funzione di elaborazione degli impulsi nervosi.

Nel tessuto nervoso esistono anche altri tipi di cellule: gli astrociti, le cellule endodimali e le cellule della nevroglia. Tali cellule svolgono un'importante azione di mediazione degli scambi delle sostanze gassose, nutritive e di scarto, tra i neuroni ed il sangue.

I nervi sono costituiti da fasci di assoni (“fibre nervose”) di due tipi: “sensori” – dagli organi di senso ai centri nervosi – o “motori” – dai centri ai muscoli.

Molta parte degli organi del sistema nervoso “centrale” (encefalo e midollo spinale) è costituita dalla “sostanza bianca”: fasci intricatissimi di fibre, dendriti ed assoni, che collegano i neuroni fra loro. I neuroni sono invece concentrati nella “sostanza grigia”.

Fig. 50 – Midollo spinale di embrione di pollo. Al centro, uno dei neuroni “multipolari” con evidente il nucleo e due nucleoli. La massa del tessuto è data però dall'intreccio delle fibre. 250:1



¹ Jan Evangelist Purkinje (Libochovice, Boemia 1787 - Praga 1869), fisiologo ceco.

TESSUTI VEGETALI

Già parlando di cellule, abbiamo visto (pag. 16) che quelle vegetali possiedono alcuni caratteri diversi da quelli delle cellule animali.

Per quanto riguarda i tessuti, le differenze sono ancora più marcate, in virtù della diversa nicchia ecologica occupata e dei diversi adattamenti conseguenti.

Non vale la pena di dilungarci sui tessuti delle piante acquatiche meno evolute (alghe), in quanto essi non mostrano particolari differenziamenti: il fatto di vivere nell'acqua, di non aver mai bisogno di attingere acqua dal substrato, rende inutili i tessuti conduttori (vedi a pag. 27); il fatto di non doversi proteggere dal disseccamento rende inutili i tessuti di rivestimento più o meno impermeabili; la spinta di Archimede rende inutili i tessuti di sostegno, come il legno.

I tessuti delle alghe sono spesso costituiti da cellule globose o prismatiche a pareti sottili.

Nei funghi le cellule, anche qui non differenziate, sono concatenate in sottili filamenti (ife) che si intrecciano a formare il corpo vegetativo sotterraneo (micelio), di aspetto ragnateloso. Nei corpi sporigeni invece (il cappello col gambo, per intenderci), le ife s'intrecciano così fittamente da costituire ammassi feltrosi compatti ("feltriformi") di consistenza a volte anche legnosa.

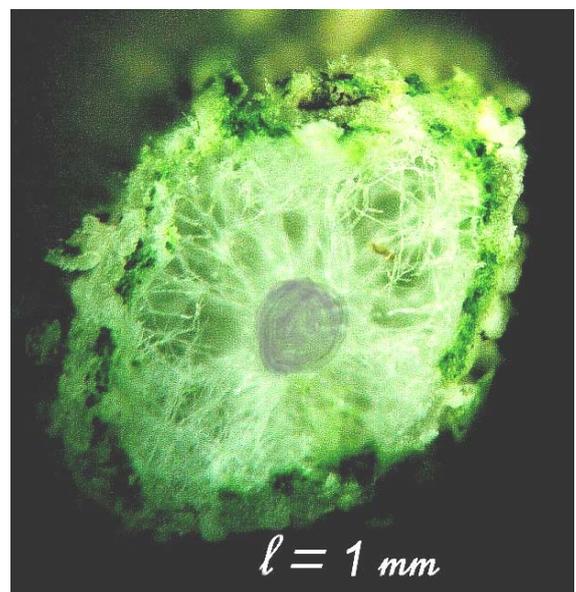
Fig. 51 – Non è che un esempio di micelio fungino, neanche tanto stipato. Ma questo è il corpo vegetativo di un fungo. La parte sporigena, specialmente il "gambo", ha una consistenza assai maggiore.



Anche nei licheni (vedi in questo sito l'art. A3c), un fitto intreccio di ife di natura fungina, sia pure ospitando colonie di alghe unicellulari, forma ammassi anche molto compatti chiamati **plectenchimi** (figura seguente).

Fig. 52 – Sezione trasversale di un filamento di un lichene arboricolo (*Usnea barbata*). Alla periferia, si possono vedere ife isolate. Al centro, un cordone di ife longitudinali è così fitto (per dare resistenza al filamento del lichene) da impedire di distinguere le singole ife.

Ma si tratta di falsi tessuti; infatti, essi sono formati sì da cellule di forma e struttura omogenea (come i veri tessuti), ma nascono per coesione secondaria in un ammasso di ife preesistente, già sviluppato. I veri tessuti invece nascono da un abbozzo o un germoglio iniziale, o da una singola cellula per divisioni successive, da un unico punto vegetativo.



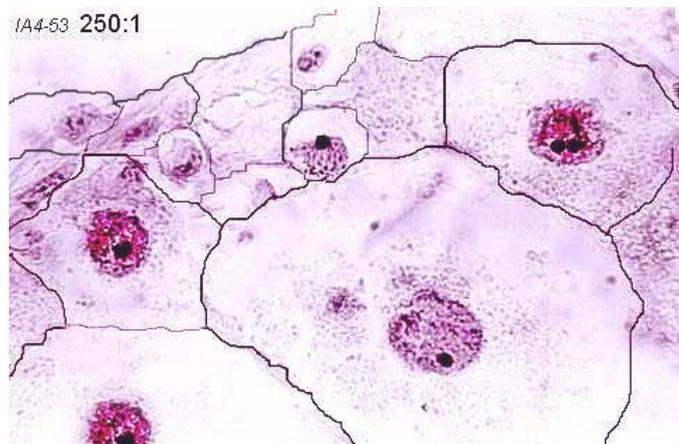
I veri tessuti si trovano nelle Cormofite (Pteridofite [Felci ed affini] e Fanerogame [piante con fiori e semi]). La morfologia più diffusa di una pianta Cormofita prevede, infatti, un apparato radicale necessario per assorbire dal terreno acqua, sali minerali e poco più, e fornire un conveniente ancoraggio a tutto l'individuo. Poi un sistema di supporto (tronco e rami). Infine un sistema fogliare, per realizzare gli scambi gassosi e svolgere la funzione clorofilliana. Quando sono presenti questi organi, come abbiamo detto a pag. 17, si parla appunto di **cormo**.

In genere, si può stimare il grado di organizzazione di un organismo in base alla varietà dei suoi organi, dei suoi tessuti e delle sue cellule. I vegetali si possono da questo punto di vista considerare in genere meno organizzati degli animali, ma comunque è difficile riassumere la loro complessa istologia (studio dei tessuti).

Nell'istologia vegetale occorre subito distinguere:

— tessuti embrionali, formati all'inizio dello sviluppo, con cellule globose a pareti sottili, a grosso nucleo, prive di vacuoli, in rapida divisione (figura seguente);

Fig. 53 – Cellule germinali poco differenziate, con nuclei e nucleoli (a destra in alto, un nucleolo doppio). Oggetto colorato artificialmente.
250:1



— tessuti primari, della pianta giovane, con cellule già differenziate; la loro struttura anticipa quella dei tessuti definitivi (vedi la fig. 24, pag. 11);

— tessuti definitivi, della pianta adulta, con cellule che in genere non si dividono più o addirittura muoiono e si riducono ad una parete ispessita.

— i meristemi.

Nell'embrione, i **meristemi** rappresentano l'avvio dei tessuti fondamentali in quanto le loro cellule sono in rapida e continua divisione e consentono l'accrescimento della pianta. Sempre parlando dell'embrione, essi si riducono rapidamente agli apici dei rami e delle radici.

Nella pianta adulta rimane invece qualche strato sottile di cellule in mezzo ai tessuti fondamentali: il **cambio** nei fasci fibro-vascolari ed il **fellogeno** nella corteccia, come vedremo.

Tali meristemi, in genere molto sottili, producono in continuazione nuovi strati di tessuti definitivi: nel caso del cambio, esso produce **legno** verso l'interno e **libro** (vedi oltre) verso l'esterno; nel caso del fellogeno, esso produce **felloderma** verso l'interno, molto sottile, e **su-ghero** verso l'esterno, ed è la massa principale della corteccia delle piante arboree ed arbustive.

Il cambio ed il fellogeno non derivano direttamente dai meristemi embrionali, ma da cellule definitive che riprendono l'attività di divisione dopo un periodo di riposo; si tratta dunque di tessuti definitivi.

Dal punto di vista della funzione, si possono poi distinguere:

— i tessuti di rivestimento, soprattutto destinati all'isolamento dall'ambiente ed alla riduzione della traspirazione;

— i tessuti di assimilazione fotosintetica (verdi);

— quelli di conduzione o **vascolari** (trasporto dell'acqua dalle radici a tutto l'organismo = linfa greggia ascendente // delle sostanze nutritive dalle foglie a tutto l'organismo = linfa elaborata discendente);

— quelli di sostegno, per dare la necessaria consistenza a fusti e rami;

— quelli di riserva, per l'accumulo di materiali di riserva (amidi, zuccheri, olii) formando organi appositi (bulbi, radici, tuberi, semi, ecc., vedi oltre);

Tessuti di rivestimento

Ebbene, nelle piante terrestri superiori (si può partire dalle Felci ed affini), l'esigenza di ridurre la perdita d'acqua per traspirazione richiede tessuti superficiali il meno permeabili possibile (vedi l'art. n° A 23, pag. 10), cioè tessuti corticali che, se in molti casi monostratificati (soprattutto nelle piante erbacee), diventano facilmente ispessiti e consistenti, come dire una "corteccia".

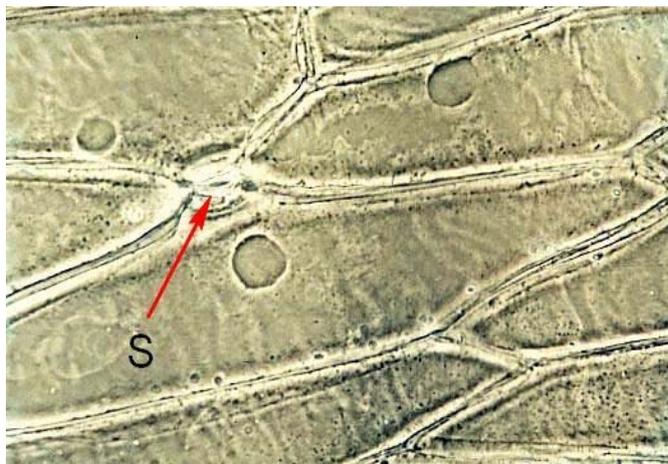
In fig. 30 a pag. 12 abbiamo visto l'epidermide unistratificata delle foglie formanti il bulbo della cipolla: cellule strettamente accostate a formare uno strato compatto senza spazi vuoti.

Nello stesso oggetto, in contrasto di fase, si vedono meglio le irregolarità del citoplasma ed alcuni organuli (figura seguente): sono cellule ancora vive.

Fig. 54 – Epidermide delle scaglie del bulbo di *Allium cepa* (Liliacee).

In S uno stoma, di cui parleremo fra poco.

Contrasto di fase. 250:1



Nelle piante erbacee è possibile trovare ancora un tegumento semplice come questo. Raramente l'epidermide è pluristratificata (oleandro, ad es.).

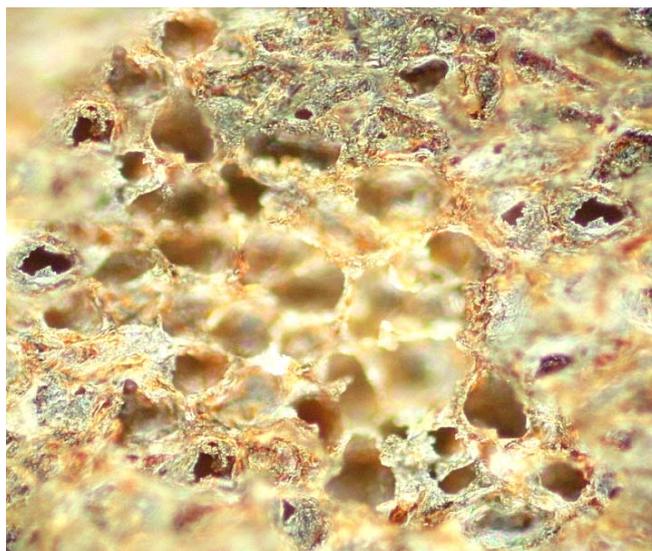
Nelle altre piante adulte, si formano strutture più complesse: verso l'esterno rimane per tutta la vita un sottile strato di meristema (tessuto germinativo), detto **fello-geno**, come detto sopra.

Verso l'interno, il fellogeno genera cellule in strato sottile (felloderma); verso l'esterno cellule globose che rapidamente ispessiscono la parete e perdono il protoplasma, diventando piccole vesciche piene d'aria. L'ispessimento della parete è dovuto alla suberina (vedi l'art. n° A 23, pag. 11), che conferisce a questo tessuto, il **sughero**, una resistenza chimica e meccanica fuori dal comune. Dicendo "sughero" non dobbiamo pensare subito ai turaccioli ed alla quercia da sughero che li fornisce; quello è un caso particolare. Comunque, buona parte della corteccia di tutte le piante legnose è data proprio da qualche varietà di sughero.

Fig. 55 – Sezione tangenziale di sughero di conifera. Cellule morte, piene d'aria, dalla robusta ed elastica parete.

L'isolamento offerto da questo tessuto è elevato, sia per limitare la traspirazione, sia per attutire gli urti, sia per impedire la penetrazione di parassiti, sia come isolamento termico.

Per inciso: il nome ben noto di "cellula" è nato nel 1665 per opera dell'inglese Robert Hooke, che studiò sottili fettine di sughero e vide proprio che esse erano formate da vescichette di forma regolare. Egli chiamò questi elementi "cellule", perché esse avevano l'aspetto di piccole scatole. Il termine viene dal latino (*cellula* = "piccola stanza").



Nelle epidermidi non mancano strutture accessorie: peli di ogni tipo, anche di natura ghiandola, e **stomi** (vedi le figure seguenti e l'articolo A 23 p. 12).

Fig. 56 – Epidermide di una foglia di timo (*Thymus vulgaris*, Labiate). Due grosse ghiandole unicellulari, fra quelle capaci di conferire alla pianta il suo aroma peculiare, e numerosi stomi.

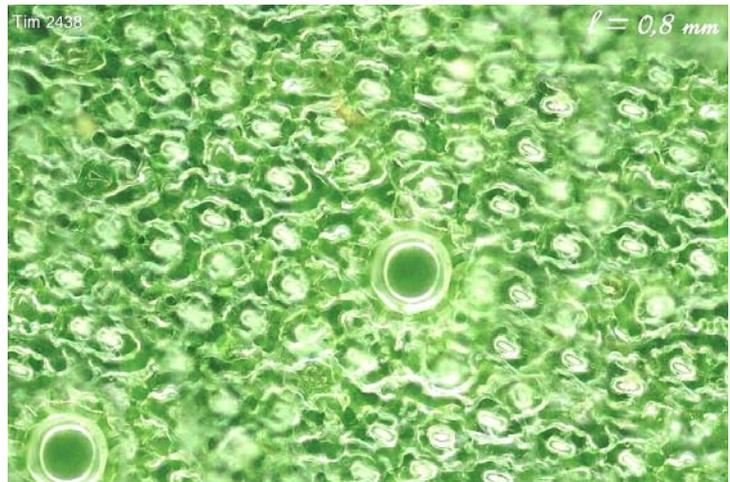


Fig. 57 (a destra) – A maggiore ingrandimento, si apprezza la struttura elementare dello stoma: due cellule a forma di fagiolo, con le superfici concave affacciate. Variazioni anche piccole delle condizioni (umidità, temperatura, concentrazione del citoplasma, ecc.) consentono alle due cellule di incurvarsi o raddrizzarsi in modo da aprire o chiudere la fessura esistente fra di esse (“rima stomatica”).

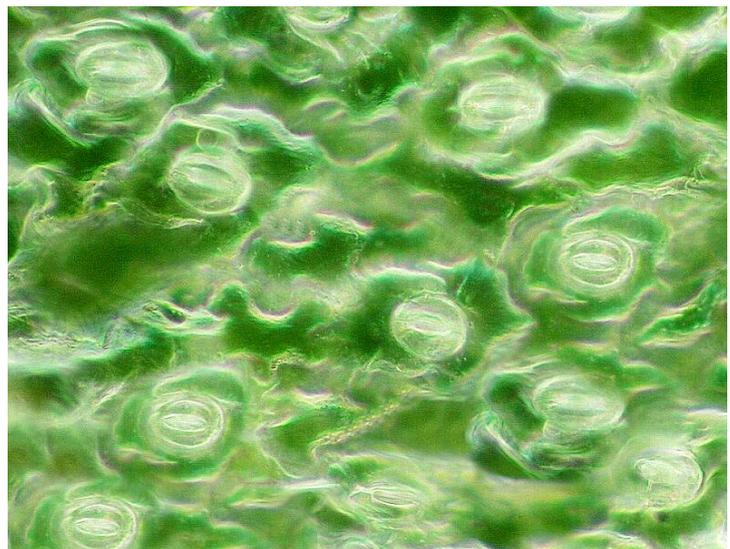


Fig. 58 (a sinistra) – Sempre a maggiore ingrandimento, e con un’osservazione radente rispetto alla superficie della foglia di timo, si apprezza la forma globosa e sporgente di questa ghiandola oleifera unicellulare. Un vero palloncino pronto a scoppiare. Analoghe ghiandole epidermiche si trovano sulla maggioranza di altre Labiate, che appunto per questo sono così aromatiche (origano, salvia, lavanda, basilico, santoreggia, ecc.).

Tessuti di **assimilazione** (essenzialmente quelli clorofilliani)

Già nella fig. 33 a pag. 13 abbiamo visto la sezione di una foglia in cui appaiono, come nella maggioranza delle latifoglie, uno strato superiore compatto a cellule prismatiche (parenchima “a palizzata”) ed uno strato inferiore con grandi spazi intercellulari pieni d’aria (“parenchima spugnoso”). Entrambi ricchi di cloroplasti.

Questa disposizione può presentarsi con numerose varianti in casi particolari, come le aghifoglie, le piante acquatiche, le piante deserticole (“xerofite¹”), ecc.

A pag. 17, fig. 40, si vede una fogliolina di un muschio, unistratificata, con cloroplasti ancora più evidenti. Nelle alghe i cloroplasti possono assumere le forme più svariate.

I tessuti clorofilliani sono in genere di tipo parenchimatico e devono trovarsi alla superficie dell’organismo per poter usufruire della luce diurna. Nelle piante succulente, i parenchimi clorofilliani possono assumere spessori molto forti (“parenchimi acquiferi”), non solo per svolgere la fotosintesi, ma per servire da riserve d’acqua (vedi l’art. n° A23, pagg. 1–2).

Le epidermidi sono in genere prive di cloroplasti, ma le cellule stomatiche ne sono invece provviste.

¹ Dal greco *xeros* = secco, e *phyton* = pianta; indica le piante dei terreni aridi.

Tessuti di **conduzione** o **vascolari**

In ogni pianta terrestre, erbacea o legnosa, occorre che l'acqua (con qualche sale minerale disciolto) salga dalle radici a tutto l'organismo, specialmente alle foglie – dove avviene la maggior parte della traspirazione. Queste soluzioni vanno sotto il nome di “linfa ascendente” o “grezza”.

L'acqua non evaporata nelle foglie, ricca dei prodotti della fotosintesi (glucosio e, indirettamente, proteine e grassi) deve ridiscendere per tornare giù giù fino alle radici – “linfa discendente” o “elaborata” – e nutrire tutto l'organismo.

Per tutti questi trasporti, le piante si servono di tubicini detti globalmente “**vasi**”. Avremo così i “tessuti vascolari”. Assieme ai tessuti di sostegno di cui parleremo presto, quelli vascolari rappresentano tessuti definitivi, con cellule in prevalenza morte, e sono formati da cellule allungate, disposte in catene continue, in modo da formare dei veri tubicini in cui le soluzioni acquose scorrono per capillarità, per aspirazione dall'alto (per la linfa ascendente) o altri meccanismi. Per facilitare lo scorrimento dei liquidi, le pareti terminali dei vasi, quelle di contatto fra ogni cellula e quelle contigue, sono ampiamente forate o regrediscono del tutto; esse inoltre sono disposte obliquamente per aumentarne la superficie.

Per la linfa ascendente, i vasi si trovano in un tipo particolare di tessuto, il **legno** o **xilema**, frammisti a cellule di sostegno (vedi oltre) ed a parenchima; quest'ultimo s'interpone, con fasci radiali (detti impropriamente “raggi midollari”), fra i fasci vascolari che sono, ovviamente, longitudinali (ne ripareremo, vedi le figg. 63, 65, da 68 a 70, pagg. 29 – 32).

I vasi del legno sono di due tipi principali: **tracheidi**, formati da cellule cilindriche strette, le cui pareti terminali sono punteggiate¹.

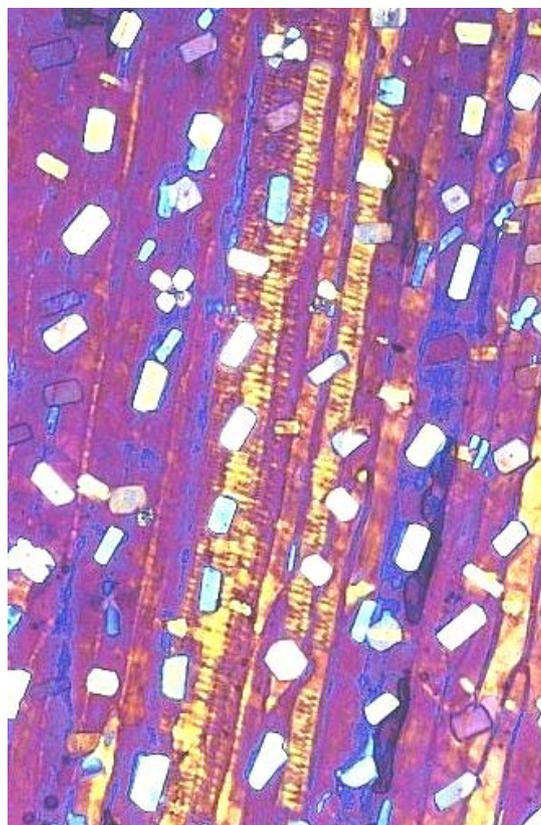
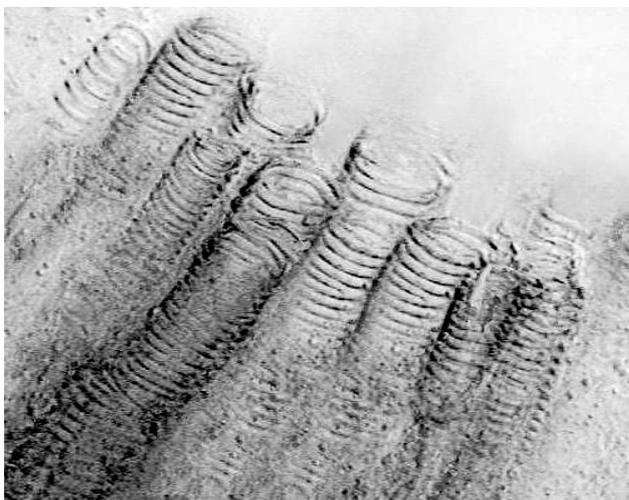
Le **trachee**, invece, sono di maggior diametro e le pareti terminali scompaiono per un certo tratto. Si può dire che la trachea è formata da una catena ininterrotta di tubetti, terminati agli estremi, ognuno di lunghezza fra uno e parecchi millimetri. Il diametro è generalmente di qualche decimo di millimetro.

Le trachee e le tracheidi hanno una parete cellulosa, spesso rinforzata da ispessimenti lignificati in forma di anelli, spirali, reticoli, ecc. (figure seguenti).

Fig. 59 a/b – Nelle scaglie esterne giallastre (“catafilli”) del bulbo di cipolla vi sono almeno due strati di cellule morte (le epidermidi riscaldate), ognuna delle quali può contenere un cristallo di un prodotto di rifiuto: ossalato di calcio. Vi sono però anche nervature con poche trachee (che qui appaiono come strisce gialle); in esse una sottile striatura trasversale più chiara indica la presenza di sottili anelli di lignina nelle pareti cellulari.

Luce polarizzata – 150:1.

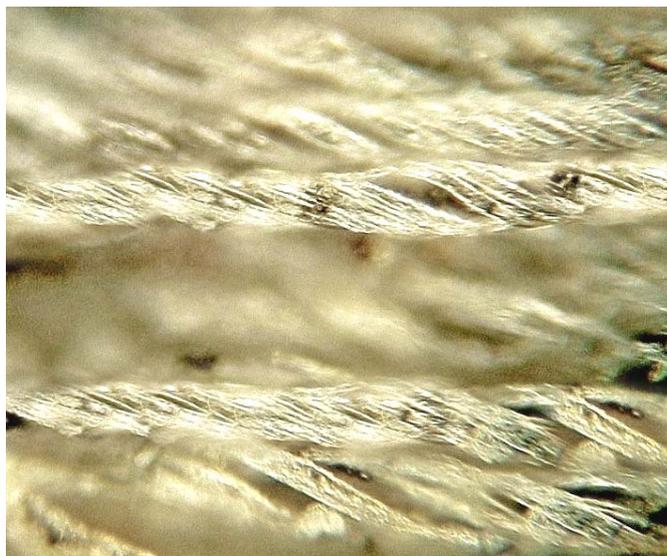
A maggiore ingrandimento, in una pianta erbacea (sotto), ecco un gruppo di trachee “ad anelli”.



¹ La punteggiatura è una piccola porzione assottigliata della parete cellulare, al centro della quale si può formare un canalicolo (“**poro-canale**”) attraversato da un filamento di citoplasma che collega così due cellule contigue.

Di là dagli ispessimenti lignificati, la parete dei vasi legnosi è formata da cellulosa in fibrille avvolte ad elica, come in una corda (figura a lato).

Fig. 60 – Ogni fibra del legno non è un tubicino, né uno spaghetti, ma una struttura complessa, con numerose fibrille avvolte fra loro, come si fa con le corde, in modo che, stirandole, si stringano maggiormente fra loro. È questa struttura che dà a qualunque corda una resistenza assai maggiore di un analogo fascio di fibre parallele. Episcopia, 500:1



Nel legno delle Gimnosperme¹, in particolare nel gruppo più numeroso di esse, le Conifere, vi sono solo tracheidi (figura seguente).

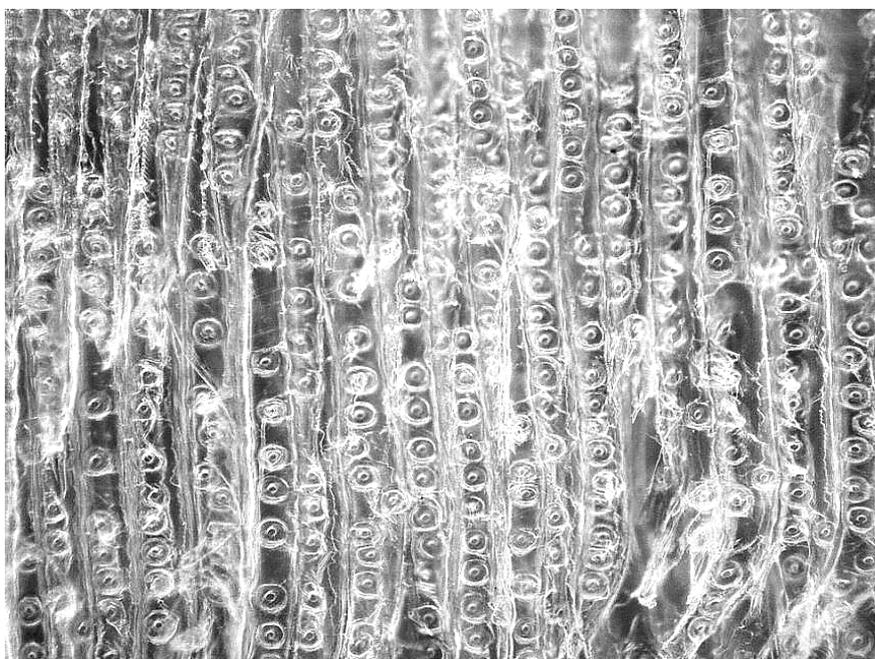
Fig. 61 – La sezione del legno di un abete rosso (*Picea excelsa*) mostra tracheidi tutte dello stesso diametro (all'interno di ogni anello d'accrescimento). Qui si vede il confine fra il legno estivo, con vasi più stretti (a sinistra), e quello primaverile, con vasi più larghi dovuti alla fase di massimo accrescimento della pianta (a destra).



Sezione trasversale – 400:1

Le pareti dei vasi legnosi presentano generalmente delle punteggiature che consentono il passaggio di liquidi fra vasi contigui (figura sotto).

Fig. 62 – Così appare il legno delle conifere, in sezione longitudinale. Ogni vaso presenta file quasi ininterrotte di punteggiature², ma quelle delle Conifere sono particolari. Infatti, non si tratta di fori, ma di sottilissime lamine protette da ambo i lati da una cupoletta forata (punteggiature “areolate”).



Nel legno delle Angiosperme (con frutti “chusi”), invece, i vasi comprendono sia trachee che tracheidi (figure seguenti); le punteggiature sono a volte ellittiche, anche molto sottili, mai areolate.

¹ Le Gimnosperme sono piante superiori (Fanerogame, piante dotate di fiori e semi), che però producono “semi nudi” (dal greco: *gymnos* = nudo e *sperma* = seme) nel senso che i loro frutti sono aperti e portano i semi semplicemente poggiati su una scaglia; basti pensare ad una pigna. Accanto ad alcune famiglie composte da poche specie “fossili viventi” (con caratteri arcaici, come Ginkgoacee, Tumboacee, Cicadacee. ecc.), sono ben rappresentate le Conifere.

² Per il concetto di “punteggiatura”, vedi la nota 1 alla pagina precedente.

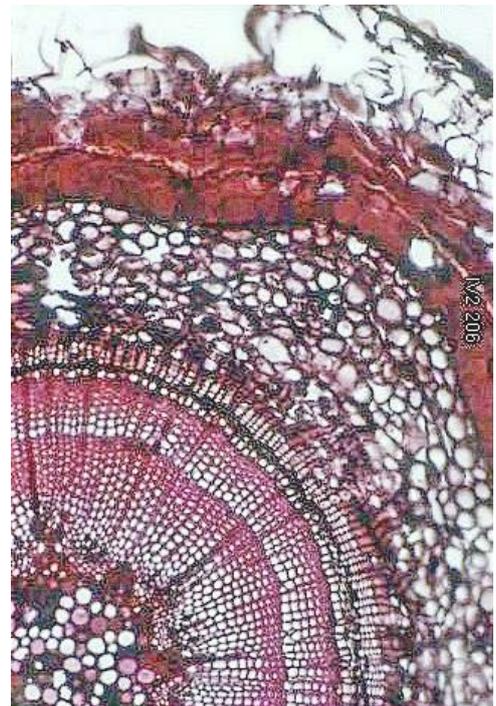
Fig. 63a (a sinistra). Ramo di *Aristolochia siphon* di alcuni anni – 10:1

I fori più grandi sono dovuti alle trachee, più abbondanti nel legno primaverile. Dal lato interno, tale legno confina col legno autunnale dell'anno precedente. Siamo nelle Angiosperme.



Fig. 63b (a destra) Sezione trasversale del fusto di *Pinus densiflora* (Conifere). 30:1

Trattandosi di una Gimnosperma, nel legno si trovano solo tracheidi, di diametro minore e costante.



Accanto al tessuto vascolare del legno, deputato alla conduzione della linfa ascendente, deve esistere un tessuto per la discesa della linfa elaborata, detto **libro**¹ o **floema**. Gli elementi cellulari tipici del libro sono i vasi “**cribrosi**”, fatti a somiglianza delle tracheidi, ma con le pareti che separano due cellule contigue sempre presenti, attraversate da numerosi fori, come in un setaccio (da cui il nome: *cribrum*, in latino, significa vaglio, setaccio). Tali pareti sono anche qui oblique, al fine di ampliarne la superficie.

I vasi del legno e quelli del libro sono raramente isolati; quasi sempre sono associati in numero variabile a formare **fasci**. I fasci sono quasi sempre **collaterali**, vale a dire che un fascio vasale (legnoso) è accompagnato verso la corteccia da un fascio cribroso (del libro).

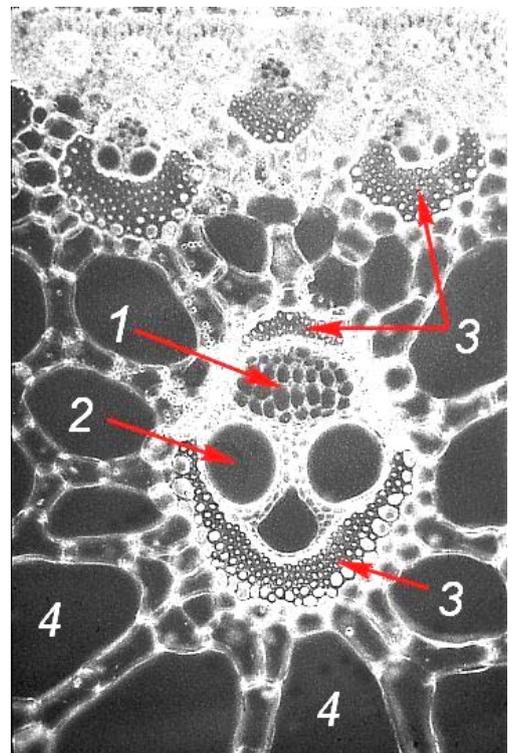
Si può parlare di fasci cribro-legnosi.

Se i due fasci sono a stretto contatto, si parla di fasci collaterali **chiusi**, come avviene nelle Monocotiledoni (figura a lato).

Fig. 64 – Sezione trasversale di un fascio chiuso di una Monocotiledone – *Cyperus papyrus* (Ciperacee). In 1 la parte esterna, librosa; verso l'interno tre grosse trachee del legno (2). In 3, da ambo i lati del fascio, un tessuto di rinforzo (**sclerenchima**²). In 4, i canali del parenchima aerifero (la pianta vive di solito in acque dolci correnti).

NB: la corteccia del fusto si trova in alto nella figura, ed è accompagnata da molti fasci più piccoli, con forte presenza di sclerenchima.

Se fra i due fasci rimane uno straterello di meristema secondario, detto **cambio**, il fascio si dice **aperto**. Nel tempo, il cambio continua a produrre, per continue divisioni delle sue cellule indifferenziate, legno dal lato interno e libro verso l'esterno. Ciò avviene nelle Gimnosperme e nelle Dicotiledoni.



¹ Il **libro** è cosiddetto per il fatto di essere formato da una pila di strati sottili, come le pagine di un libro.

² Lo **sclerenchima** è un tessuto di sostegno formato da cellule generalmente allungate, che prima o poi muoiono, con pareti fortemente ispessite.

Fig. 65 - *Kerria japonica* – Sez. trasversale del fusto – 9:1

In una Dicotiledone i fasci collaterali sono disposti in cerchio: un cerchio solo poiché in questo caso la pianta ha solo un anno di vita.

Al centro del cerchio, una massa di parenchima poco differenziato.

Il ritmo di crescita annuale produce quelle differenze stagionali che appaiono come gli “anelli del legno”, che abbiamo visto nelle figg. 61 a pag. 28 e 63a/b a pag. 29.

Poiché i fasci aperti sono disposti in cerchio, gli anelli del legno e del libro sono continui: ogni anno, un anello di legno dal cambio verso l'interno; un anello di libro verso l'esterno.

La successione degli “anelli”, anno dopo anno, consente l'accrescimento in diametro del tronco.

Nelle Monocotiledoni invece l'accrescimento secondario avviene per aumento del numero dei fasci collaterali, che non sono disposti ad anello, ma “sparsi” nel parenchima.

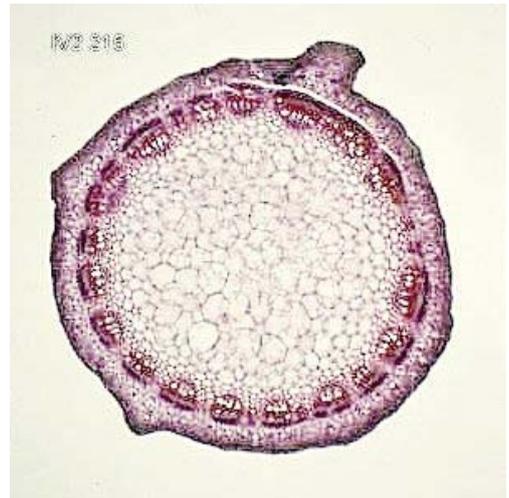
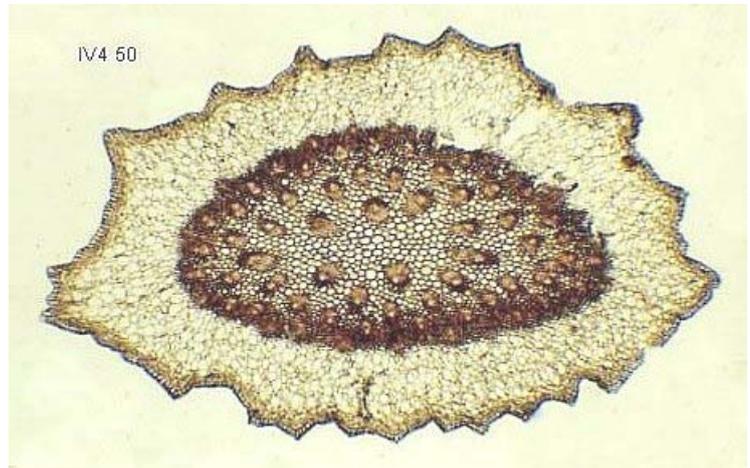


Fig. 66 – Sezione trasversale di un tronco di Monocotiledone: un ammasso indifferenziato di parenchima, attraversato da fasci irregolarmente distribuiti. Tali fasci, essendo chiusi, cioè privi di cambio, non possono più crescere dopo la loro formazione primaria e non formano “anelli”. 10:1



Tessuti di sostegno

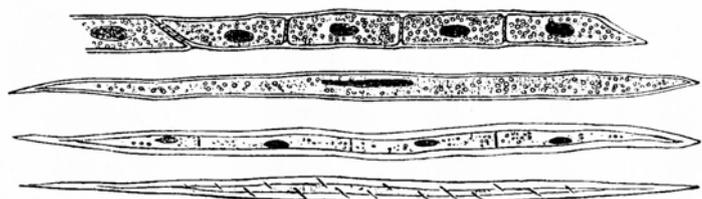
In ambiente terrestre, una pianta deve possedere una rigidità sufficiente per contrastare la gravità, e tale rigidità è affidata a tre fattori:

- turgore, dovuto alla pressione osmotica interna delle cellule;
- irrigidimento delle pareti cellulari dei vasi con cellulosa, lignina e simili; abbiamo visto gli ispessimenti lignificati sulle pareti di trachee e tracheidi (fig. 59a/b, pag. 27);
- presenza, frammiste ai vasi, di cellule fusiformi allungate a pareti lignificate ispessite: le **fibre** del legno e del libro.

La fibra può essere costituita da un'unica cellula fusiforme o da una catena di poche cellule, il tutto con una lunghezza che può arrivare a 5 mm. Sono in genere presenti le punteggiature. Col tempo, le parti vive delle fibre possono regredire e rimane una cellula morta, spesso piena d'aria.

Così, i fasci vascolari non sono formati da soli vasi, ma anche da fibre (vedi la fig. 27 che riprendiamo dalla pag. 11); si tratta di cellule o catene di cellule, affusolate, a parete ispessita, generalmente impregnata di lignina, che danno robustezza al legno: le pareti cellulose dei vasi, anche se rinforzate da anelli o spirali lignificate, non basterebbero per dare rigidità ai tronchi.

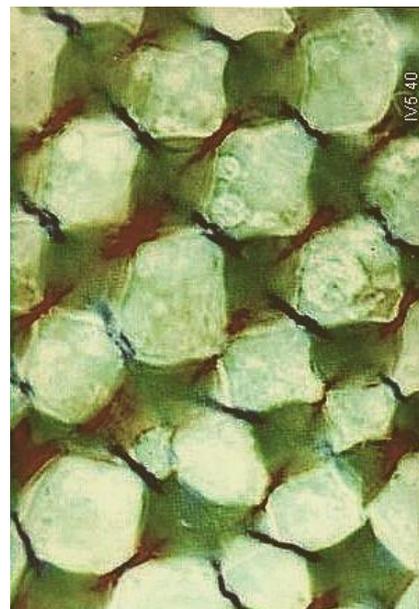
(Fig. 27) – Esempio di fibre uni- o pluri-cellulari, formate da cellule ancora vive (in alto) o morte (in basso). Ogni fibra proviene sempre da una cellula del cambio per allungamento delle estremità.



Le fibre si possono includere nel concetto di sclerenchima (vedi la nota 2 e la fig. 64 a pagina 29). Un tessuto simile allo sclerenchima, ma con pareti cellulari solo parzialmente ispessite va sotto il nome di **collenchima**: un tessuto ancora vivo, presente in molti organi in fase di sviluppo ed erbacee. Pur essendo di forma allungata, le cellule del collenchima sono più simili a quelle parenchimatiche e possono contenere cloroplasti.

Fig. 67 – Collenchima di *Urtica dioica* – Sez. trasversale del fusto.

Gli ispessimenti si formano solo negli spigoli delle cellule (in questo caso, quattro) e, sommandosi quelli delle quattro cellule contigue, formano una vera e propria colonna a sezione quadrata. – 200:1



I parenchimi

Abbiamo già definito il concetto di parenchima nella nota 1 a pag. 13. Tali tessuti svolgono varie funzioni:

- alleggerimento del fusto (parenchimi aeriferi, ancora fig. 64 alla pag. 29);
- funzione assimilatoria (per la fotosintesi), come illustrato nella fig. 33 a pag. 13;
- parenchimi acquiferi (come riserva d'acqua nelle piante succulente);
- tessuti di riserva (vedi qui sotto);
- parenchimi di conduzione.

Quest'ultimo punto è da approfondire. Infatti, la conservazione dei tessuti vegetali, anche se parzialmente morti come il legno, deve prevedere una rete di sottili fasci di cellule vive, sia per lo scambio di liquidi e gas fra i fasci vasali di tutto il tronco, sia per accumulare materiali di riserva. In particolare, parliamo dei cosiddetti **raggi midollari**, sottili strati di cellule (anche in strato unico) con andamento radiale, cioè perpendicolare all'asse del tronco. Ecco la loro origine.

Il parenchima primario che costituisce buona parte del fusto della pianta giovane, è il cosiddetto "**midollo**" (un parenchima indifferenziato). Quando si sviluppano i successivi anelli di fasci legnosi e librosi (nelle Gimnosperme e nelle Dicotiledoni), fra i singoli fasci fibro-vasali rimangono sottili lamine di tessuto parenchimatico, che nel frattempo si è parzialmente differenziato. Si tratta di trachee/tracheidi con grandi punteggiature, fibre e cellule di riserva (contenenti in genere amido).

Fig. 68a/b – Legno di noce (*Juglans regia*) – Sez. tangenziale (parallela alla corteccia) – L'asse del tronco è orizzontale.

In mezzo alle trachee, si distinguono le sezioni dei raggi midollari come sottili lenti scure.

Sotto: sono visibili le singole tracheidi dei raggi midollari, in doppio strato. 25:1

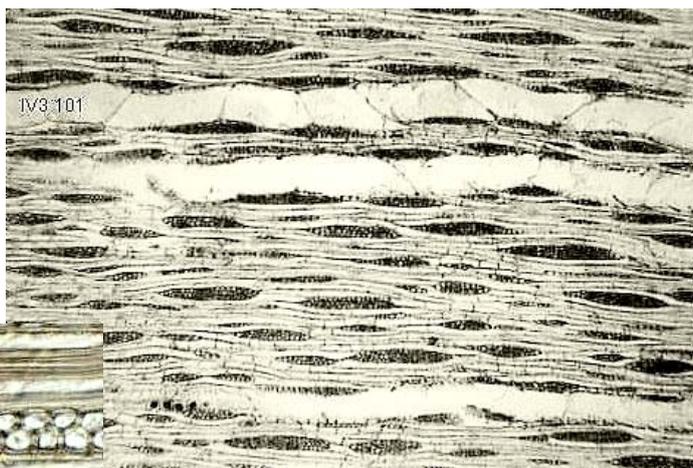


Fig. 69 – Abete rosso. In sezione radiale (asse del tronco verticale) è visibile di piatto un raggio midollare in mezzo ai fasci delle tracheidi (si vede qualche punteggiatura areolata). Le punteggiature delle tracheidi del raggio midollare sono invece piccole, ellittiche, oblique, e non areolate.

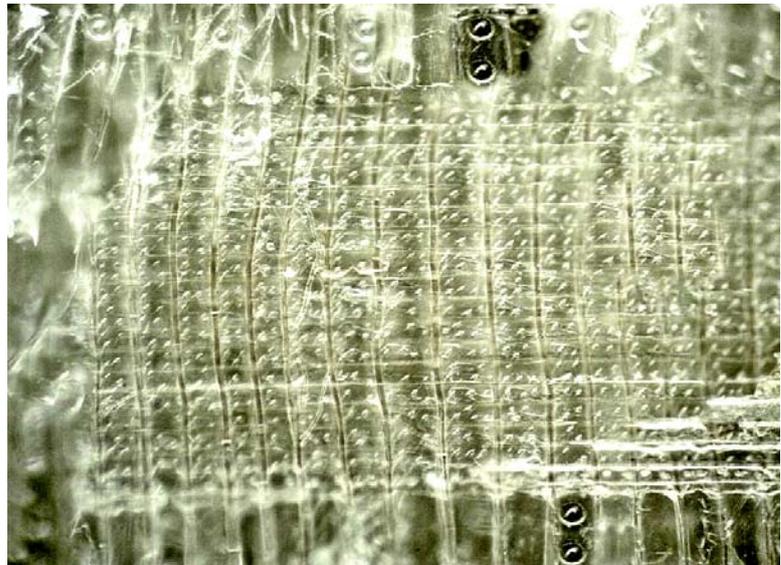
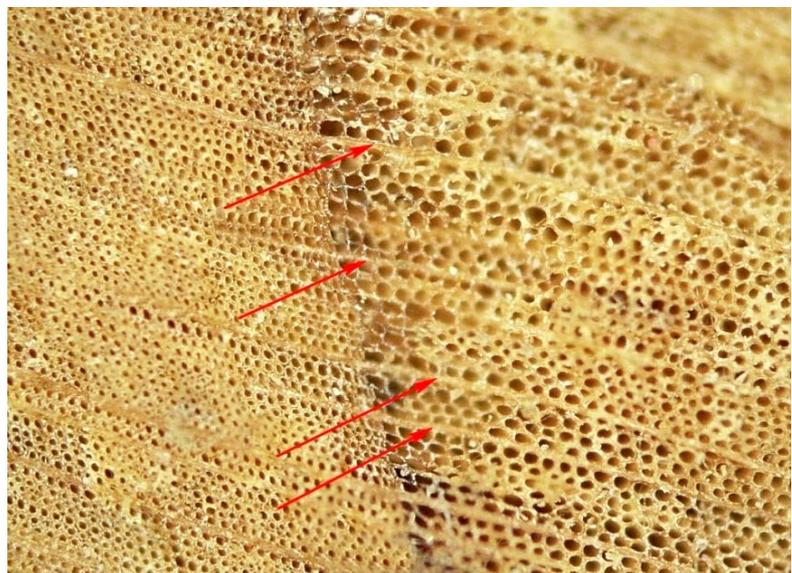


Fig. 70 – Legno di abete rosso. In sezione trasversale, i fasci midollari (i più grossi indicati da frecce rosse) sono interposti fra le file delle tracheidi ed attraversano radialmente tutto il tronco, superando, senza deviare, i confini fra gli anelli annuali.

Da queste immagini appare come il legno, nonostante la struttura fondamentale a fibre longitudinali, sia in realtà un intreccio di vasi e fibre in direzioni fra loro perpendicolari, che danno al legno la sua compattezza.



I raggi midollari hanno dunque funzione di conduzione e di sostegno, e spesso funzione di riserva quando contengono amido. Si possono considerare parenchimi a struttura vasale e fibrosa che, col tempo, perdono ogni rapporto con il midollo, che del resto scompare spesso nella pianta adulta. Sono però formati da cellule vive, a differenza del legno maturo.

Tessuti di riserva

I materiali di riserva esistono in tutti gli esseri viventi ed hanno un'ovvia funzione. Negli animali prevale il tessuto adiposo (vedi la fig. 10 a pag. 5) distribuito in tutto l'organismo, soprattutto sotto la cute; anche il fegato contiene molto materiale di riserva (glicogeno, colesterolo e grassi).

Nelle piante, i materiali di riserva sono rappresentati da amido, zuccheri (saccarosio, fruttosio, ecc), grassi liquidi (oli), a volte solidi. Naturalmente, anche da acqua: l'acqua è un componente di tutti i tessuti vivi, ma ne sono particolarmente ricchi i "tessuti acquiferi" delle piante xerofite.

Abbiamo appena visto che i parenchimi di conduzione, compresi quelli dei raggi midollari, possono servire anche come tessuti di riserva, di natura parenchimale. Anche le cellule vasali del legno (trachee e tracheidi) possono contenere materiali di riserva.

Però in molte piante esistono veri organi con funzione esclusivamente di riserva.

I **bulbi** rappresentano un ingrossamento verticale della base del fusto, circondato da una serie di scaglie succulente.

I **rizomi**, sono fusti sotterranei striscianti che possono ingrossarsi e diventare organi di riser-

va. Non sono in genere ramificati e sono provvisti di radici.

I **tuberi** differiscono dai rizomi per alcuni dettagli: – generalmente sono formazioni annuali che vengono riassorbite nel periodo primaverile e sostituite da nuovi organi (spesso si formano il primo anno in piante biennali); – non crescono illimitatamente come i rizomi; – non formano radici. Si tratta di “ipocotili”, la porzione di fusto che, durante lo sviluppo, si trova fra la radice ed i cotiledoni¹.

A volte, la funzione di riserva è espletata dal fusto normale: basti pensare ai fusti o rami o foglie acquiferi delle piante succulente.

Nei semi, almeno nei cotiledoni, si trova un parenchima ricco di grassi ed amido che si disidrata fino alla germinazione. Questa avviene in seguito, condizionata dalla temperatura e dalla presenza di acqua nell’ambiente.

CONCLUSIONE: la struttura fine degli esseri viventi, a livello di tessuti, di cellule e dei loro organuli, è molto più complessa di ciò che si pensa e di ciò che si può vedere al microscopio ottico. È ciò vale per piante, animali e funghi, per unicellulari e pluricellulari, per acquatici e ter-ricoli.

Date le innumerevoli funzioni che un essere vivente deve svolgere per sopravvivere, elencate all’inizio (pagg. 1 e 2), vi devono corrispondere altrettante strutture specializzate, solo succintamente elencate in questo breve testo.

Da alcuni esempi qui illustrati, sembra evidente che tali strutture sono sempre ottimizzate in vista dell’adattamento, e della sopravvivenza, in ogni particolare nicchia ecologica.

Quelle strutture provengono quindi da un lunghissimo processo evolutivo, tramite il quale ogni specie che è arrivata fino a noi è riuscita, adattandosi volta per volta ad un ambiente in continua trasformazione, a superare tutte le sfide ambientali.

Dunque, la natura vivente, quale oggi ci appare, non è altro che l’ultimo fotogramma di un film che è cominciato qualche miliardo di anni fa e che ha subito periodi di lenta evoluzione – con assestamento delle faune e flore esistenti – alternati con periodi di devastazione e rapida riduzione delle specie (per fenomeni atmosferici ed astronomici, cataclismi, ecc.), accompagnati dallo svuotamento di molte nicchie; queste poi sono state rapidamente riempite dalle specie sopravvissute più adattabili e da specie emergenti (si parla di “radiazioni evolutive”).

Nonostante tutto ciò che è accaduto sul nostro pianeta, a livello astronomico, geologico e climatico, la vita è sempre sopravvissuta (finora).

¹ I cotiledoni sono la prima o le prime foglie presenti nel seme, ricchissime di materiali di riserva, che vengono riassorbite e cadono durante lo sviluppo. Sono in numero di uno nelle Monocotiledoni, due nelle Dicotiledoni, da due a quindici nelle Gimnosperme.