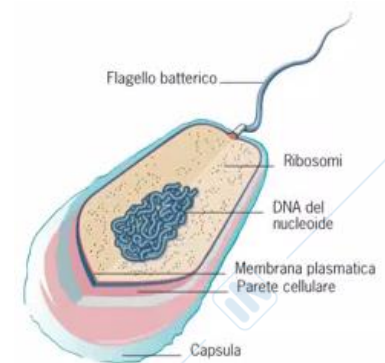


CELLULE PROCARIOTICHE E EUCARIOTICHE

- La **cellula** è l'unità base della vita, è l'entità più semplice capace di svolgere tutte le attività caratteristiche della vita.
- Tutti gli organismi viventi sono formati da cellule (tranne i virus) e possono essere **unicellulari** o **pluricellulari**. Nei pluricellulari ogni unità partecipa all'insieme, incapace di vita autonoma ma unità di base della struttura e funzione dell'organismo. Questi sono caratterizzati dalla suddivisione del lavoro tra i tessuti e gli organi che dipende dalla specializzazione della funzione e della struttura di una cellula pur condividendo lo stesso corredo di informazione genetica, modificandone solo il fenotipo cellulare (**DIFFERENZIAMENTO**). Nei procarioti, la singola cellula deve essere in grado di effettuare tutte le funzioni necessarie per la crescita, la sopravvivenza e la riproduzione e non può permettersi la specializzazione.
- Le cellule sono microscopiche ma alcune possono presentare dimensioni più grandi e si possono vedere ad occhio nudo (es. l'uovo).
- Le cellule sono diverse nella forma e nell'organizzazione strutturale ma tutte possiedono le informazioni genetiche e gli **organuli/organelli**, ovvero strutture interne che ne consentono il funzionamento e la vita, sono dei sistemi assestanti presenti nel citoplasma e delimitati da una membrana selettivamente permeabile.

1) CELLULA PROCARIOTICA

- Le **cellule procariote** (dal greco, *pro*: prima, *káryon*: nucleo → "priva di nucleo") sono le cellule più semplici, più piccole (1-10 μm) e più primitive, che non hanno una compartimentalizzazione degli organuli delimitati da membrana, ma sono comunque molto efficienti con abili capacità riproduttive.
- L'organizzazione della cellula procariotica è tipica di organismi di piccole dimensioni **unicellulari**, come **bacteria** e **archea**.



➤ MEMBRANA PLASMATICA

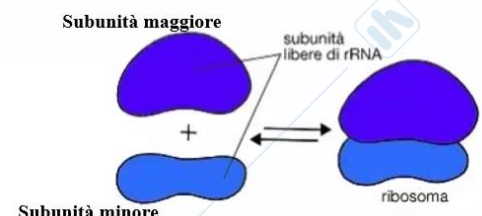
- La **membrana plasmatica** è uno strato che separa e protegge la cellula dall'esterno, che regola il flusso di sostanze dall'interno all'esterno e vv. e che garantisce il fatto che all'interno della cellula la composizione sia diversa da quella esterna. È costituita da proteine, lipidi e carboidrati in tracce ma non contiene steroli.

➤ CITOPLASMA

- Il **citoplasma** è una sostanza gelatinosa/acquosa che si trova all'interno della membrana plasmatica. In particolare, nelle c. procariote è delimitato da una membrana detta **plasmalemma**.
- Al suo interno, nella c. procariote vi è presente il nucleotide mentre nella c. eucariote gli organuli. Inoltre, nella c. procariote non vi sono i **mitocondri**, deputati al metabolismo energetico, perciò l'energia viene direttamente prodotta in esso.

➤ RIBOSOMI

- I **ribosomi** sono strutture non delimitate da membrana, sede della sintesi proteica, costituite da proteine e rRNA (RNA ribosomiale). Questi ultimi si organizzano in due **subunità maggiore e minore** per formare il ribosoma funzionale.
- I ribosomi dei procarioti hanno dimensioni minori rispetto agli eucarioti

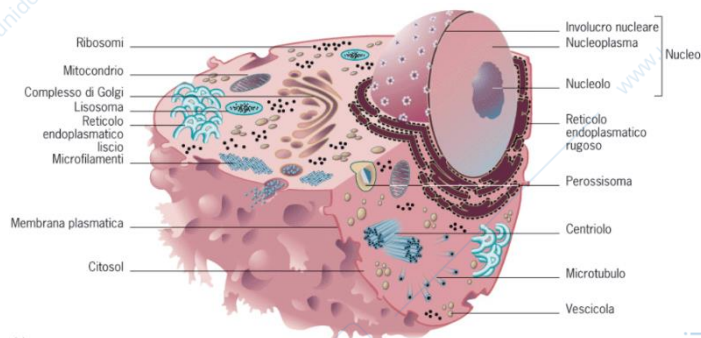


➤ MATERIALE GENETICO

- Il **DNA** in una c. procariote è privo di una membrana che lo circonda e lo delimita dal citoplasma, ha una struttura più semplice, più corta, più circolare, non è avvolto negli istoni (proteine basiche) e si trova in una regione detta **nucleotide**.

2) CELLULA EUCARIOTICA

- Le **cellule eucariote** (dal greco, *eu*: vero, *káryon*: nucleo) sono **più grandi** (30-50 μm), **più evolute**, hanno una **struttura più complessa** e possono presentare **forme diverse**, a seconda della funzione.
- La cellula eucariote è suddivisa in **compartimenti (organuli)** ciascuno separato dal resto della cellula almeno da una **membrana selettivamente permeabile**. La compartimentalizzazione permette alle cellule eucariotiche, anche se di diversi ordini di grandezza maggiori di quelle batteriche, di **mantenere conc di enzimi e composti sufficientemente elevate per permettere il verificarsi di processi cellulari in modo efficiente**.
- Hanno in comune con le cellule procariote **MEMBRANA PLASMATICA, CITOPLASMA e RIBOSOMI**

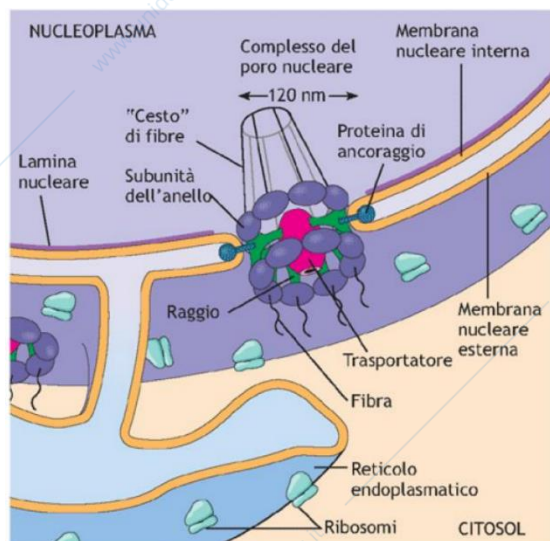
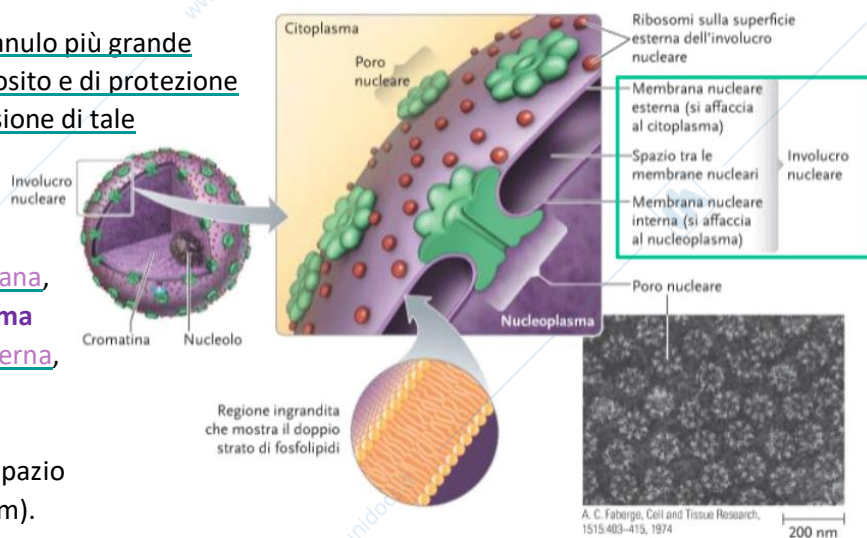


➤ MEMBRANA PLASMATICA

- La **membrana plasmatica** nelle c. eucariote a differenza delle c. procariote, contiene steroli tra cui **colesterolo** (c. animale) oppure **ergosterolo** (c. vegetale)

➤ NUCLEO

- Il **nucleo** (dal greco *káryon*: nucleo) è l'**organulo più grande** ($d = 5 \mu\text{m}$) a forma di sfera, **luogo di deposito e di protezione del DNA** e **centro di controllo per l'espressione di tale informazione**.
- Al suo interno si distingue il **NUCLEOLO**, zona più elettrondensa.
- Il nucleo delimitato da una **doppia membrana**, una **interna** (che si affaccia sul **nucleoplasma** dove sono dispersi i cromosomi) e una **esterna**, entrambe costituite da un doppio strato fosfolipidico (7-8 nm). Lo spazio tra le due membrane si chiama spazio **perinucleare** o **cisterna nucleare** (20-40 nm).
- Sulla membrana nucleare esterna vi sono associati **ribosomi** e i **pori nucleari**.



→ **COMPLESSO DEL PORO NUCLEARE**: **struttura ottagonale di natura proteica** che attraversa completamente entrambe le membrane e che consente lo scambio di materiali tra il **citoplasma** e il **nucleoplasma** (es. rRNA, mRNA e tRNA dall'interno verso l'esterno oppure DNA polimerasi dall'esterno verso l'interno).

- Il complesso del poro è **costituito da più di 30 proteine ripetute (nucleoporine)**.
- All'interno vi è un **trasportatore responsabile del movimento delle macromolecole all'interno dell'involucro nucleare**.
- Il poro contiene **8 canali acquosi di $d = 9 \text{ nm}$** che creano barriere per molecole fino a 30.000 D. Sono **liberamente permeabili a piccole molecole** (es. nucleosidi trifosfato, substrato della DNA polimerasi)

- Vi sono poi delle **proteine fibrose** che si estendono dagli anelli del complesso sia verso il **citoplasma** sia verso il **nucleoplasma** (qui vi forma una struttura a cesto che ha la funzione di incanakkare le molecole)
- Per molecole che hanno $MM > 30\text{k D}$, vi sono delle proteine **importine** (dal **citoplasma** al **nucleoplasma**) oppure **esportine** (dal **nucleoplasma** al **citoplasma**), entrambe che hanno necessità di en.

→ **LAMINA NUCLEARE**: è una struttura che ha la funzione di sostenere la membrana interna del nucleo, costituita da una serie di proteine *lamine*, che fanno parte dei **filamenti intermedi** del citoscheletro. La lamina nucleare favorisce l'organizzazione del contenuto nucleare perché è in grado di reagire con la cromatina.

In particolare, il DNA si organizza intorno a ottameri, **8 proteine basiche (istoni)**, per formare i **nucleosomi**; questi si spiralizzano a sinusoide o a *collana di perle* e danno origine a filamenti di **cromatina**, condensata e superavvolta.

A sua volta la cromatina, si ripiega a formare delle **anse** che si spiralizzano ulteriormente a formare il **cromosoma**, il cui n° varia al variare della specie.

(DNA → istoni → cromatina → geni → genoma e cromosomi lineari)

Il livello di compattazione del DNA varia a seconda della fase del ciclo cellulare della cellula.

Infatti i cromosomi possono essere spiralizzati in:

- **euromatina**: i cromosomi sono dispersi, non compattati, liberi;
- **eterocromatina**: i cromosomi si compattano in vista della divisione cellulare, quando la cellula duplica il materiale genetico (**cromosomi metafasici**).

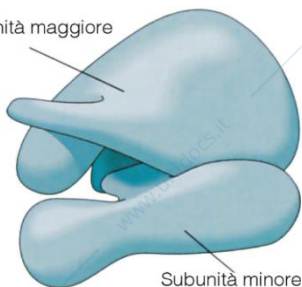
La quantità complessiva di DNA per cellula somatica nell'uomo è pari a **5,6 miliardi di coppie di basi**, circa **1,9 metri** ripartiti in **46 cromosomi**.

→ **NUCLEOLO**: è una zona più elettrondensa, è un corpuscolo tondeggianti non delimitato da membrana, sede della sintesi dei ribosomi e prende parte al processo di divisione cellulare (meiosi e mitosi). Il nucleolo contiene la **regione dell'organizzatore nucleolare (NOR)**, un blocco di DNA che contiene copie multiple di geni che codificano per l'rRNA divisa in:

- zone **fibrillari**, che contengono DNA che viene trascritto in rRNA
- zone **granulari**, che rappresentano molecole di rRNA associate con proteine ribosomiali tradotte e provenienti dal citoplasma e che serviranno per l'assemblaggio delle subunità del ribosoma (maggiore e minore).

Nell'uomo ci sono **10 NOR** per assetto diploide in un unico grande nucleolo che contiene anse di cromatina derivate da 10 cromosomi separati.

Nelle piante e negli animali il nucleolo scompare durante la mitosi.



➤ **RIBOSOMI**

- I **ribosomi** nelle c. eucariote sono più grandi di dimensioni rispetto ai procarioti, non sono delimitati da membrana e sono costituiti da proteine e rRNA (*particelle ribonucleoproteiche*)
- Sono la **sede della sintesi delle proteine**
- I ribosomi possono stare liberi nel citoplasma (sede della sintesi delle proteine citoplasmatiche) o associati alla membrana esterna del nucleo (s. d. s. delle p. nucleari) o al versante citoplasmatico del reticolo endoplasmatico ruvido (RER).

2a) **ORIGINE DELLE CELLULE EUCARIOTE**

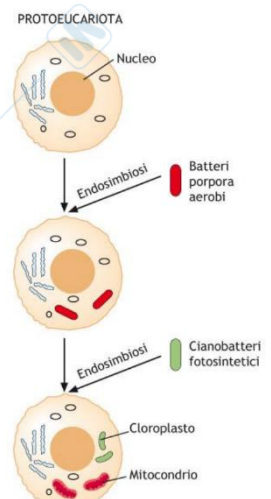
→ **TEORIA ENDOSIMBIONTICA** – **Lynn Margulis (1975)**

La cellula eucariote sembra essersi generata per invaginazione di batteri in grado di effettuare la respirazione cellulare o la fotosintesi clorofilliana o entrambe.

Questa teoria si basa sull'osservazione di caratteristiche specifiche di **MITOCONDRI** e **CLOROPLASTI**.

In particolare, si pensa che un PROTOEUCARIOTA (cellula precursore dell'eucariote) abbia fagocitato dei **batteri** capaci di effettuare la respirazione cellulare e dopo una **endosimbiosi** (che portava vantaggio a entrambe le cellule, al batterio la sopravvivenza), questa sia mantenuta con il passare del tempo, generando le c.e. animali.

Ci sarebbe stata una seconda endosimbiosi dopo la fagocitosi di **cianobatteri** fotosintetici in grado di effettuare la fotosintesi (per poi divenire **cloroplasti**) e la respirazione (**mitocondri**), ha generato la c. vegetale.



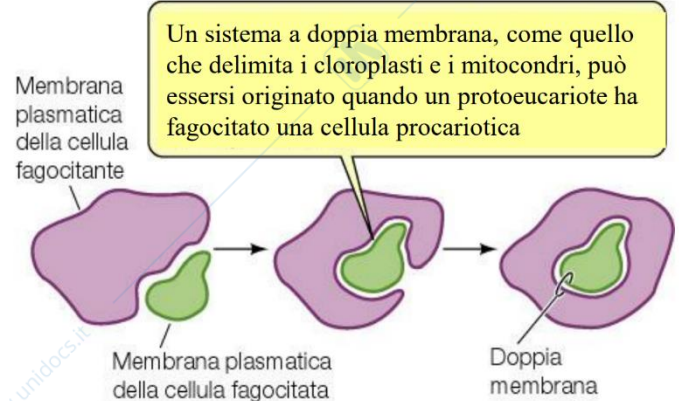
Si pensa quindi che **mitocondri** e **cloroplasti** siano stati dei batteri fagocitati da cellule protoecariotiche. **Lynn Margulis** è arrivato alla formulazione di questa teoria perché mitocondri e cloroplasti, come i batteri hanno:

- all'interno una molecola propria di **DNA circolare**
- **possono dividersi per scissione generando 2 m. e 2 c.**
- all'interno molecole di RNA trascritte all'interno e proprie dell'organulo stesso
- **ribosomi più piccoli della c. eucariotica** (la loro attività è inibita da farmaci che vengono utilizzati come antibiotici e che vanno ad agire contro la sintesi proteica)
- **sono rivestiti da una doppia membrana**

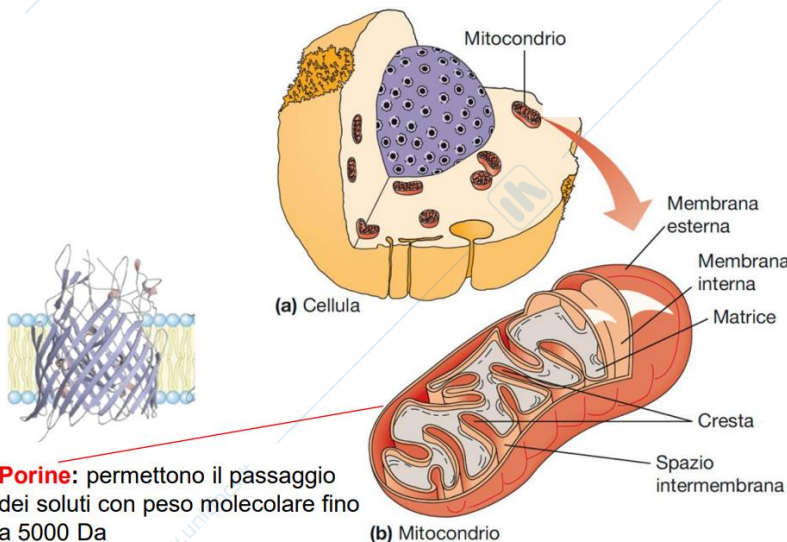
→ ORIGINE DELLA DOPPIA MEMBRANA

Lynn Margulis pensava che la **1° membrana** fosse del batterio, poi fagocitato, sarebbe rimasto incluso in una **2° vescicola**.

A conferma di ciò, **le due membrane hanno composizione diversa**: nel c. procarote non c'è il colesterolo e non c'è nemmeno nella membrana interna ma è presente la cardiolipina.



➤ MITOCONDRI



• I **mitocondri** sono rivestiti da **due membrane mitocondriali** che hanno composizione diversa:

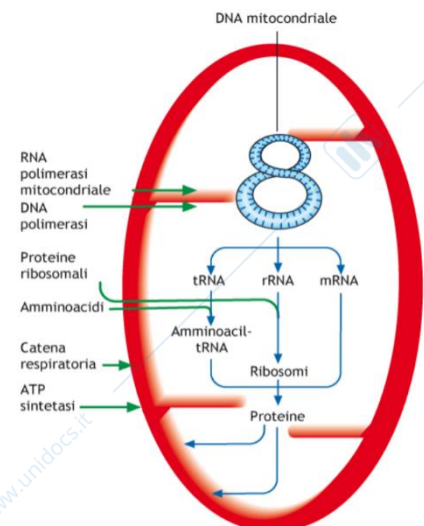
- **esterna**, che ha una **struttura regolare**;
- **interna**, che ha al suo interno delle **creste mitocondriali**, **invaginazioni continue**, contenenti cardiolipina e non colesterolo.

Lo spazio tra le due membrane è detto **spazio inter-membrana** o **matrice mitocondriale**, al cui interno vi sono degli enzimi.

• La membrana mitocondriale esterna è molto permeabile perché caratterizzata dalla presenza di **PORINE**, che hanno una forma a β -barile, sono costituite da β -foglietti che si organizzano per dare un cilindro cavo, un poro che **permette il passaggio dei soluti con MM fino a 5k Da** (es. molecole, ioni).

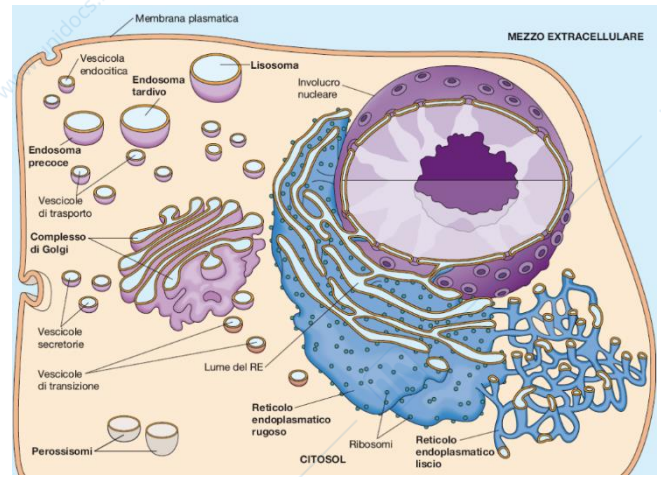
- I mitocondri hanno dimensioni di 2-8 μm e forme variabili, anche uniti tra loro a formare una sorta di rete.
- I mitocondri di accrescono e si riproducono da soli (**scissione**) ma sono organuli **semi-autonomi** perché **non possono sopravvivere in maniera indipendente** dalla cellula dove sono presenti.
- I mitocondri, inoltre, contengono al loro interno un'unica molecola di **DNA circolare** (che codifica per mRNA, rRNA e tRNA, che concorrono alla sintesi di proteine caratteristiche del mitocondrio) e **ribosomi** che, grazie alla sintesi delle proteine, regolano le specifiche funzioni dei mitocondri stessi.

• I **mitocondri** sono le **centrali energetiche**, le sedi del **metabolismo energetico** della cellula (**respirazione cellulare**). In particolare, nei mitocondri avvengono gli ultimi processi di ossidazione che consentono di ottenere energia dalle molecole nutritive.



2b) SISTEMA DI ENDOMEMBRANE

- Il **sistema di endomembrane** è un sistema interno alla cellula, implicato nella sintesi e nelle modificazioni chimiche (maturazione) delle **proteine** e dei **lipidi**.
- Il **RETICOLO ENDOPLASMATICO** è una struttura in continuità con l'involucro nucleare si divide in **RUVIDO/RUGOSO** e **LISCIO**, differenti a seconda del differente aspetto al microscopio elettronico. La loro grandezza varia a seconda del tipo, della funzione e della specializzazione della cellula.



➤ **RETICOLO ENDOPLASMATICO RUVIDO/RUGOSO (RER)**

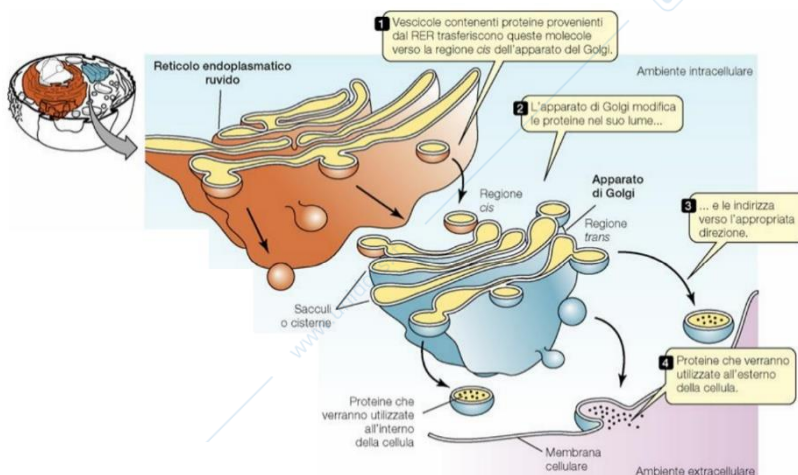
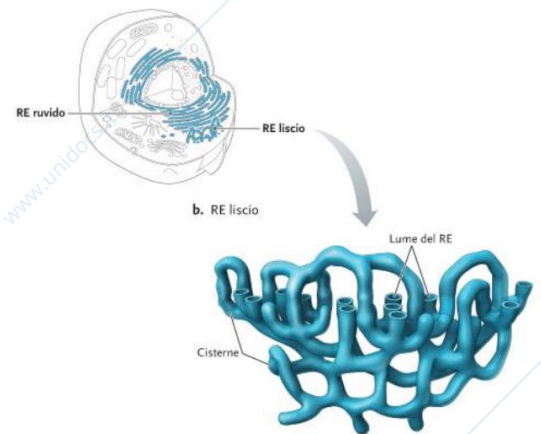
- Sul versante citoplasmatico delle membrane del **RER** sono associati i **ribosomi**. È costituito da sacche appiattite di membrane, cisterne, che delimitano il **lume**, il quale a sua volta è in continuità con lo spazio intermembrana delle membrane nucleari. Inoltre, la superficie citoplasmatica del RER è in continuità con la membrana nucleare esterna (infatti entrambe sono costellate dai **ribosomi**).

- I **ribosomi** associati al RER sono la sede della sintesi e modificazione (es. glicosilazione, idrossilazione di Lys o Pro) di **proteine** destinate alla membrana plasmatica, membrane degli organelli del Sistema di endomembrane o alla secrezione (es. ormoni proteici, insulina). Inoltre, nel RER avvengono i legami tra le proteine e i glicolipidi di membrana.

- In realtà la sintesi delle proteine avviene sempre nei ribosomi liberi nel citoplasma ma appena viene sintetizzato il segnale che indica che quella proteina è destinata a una membrana biologica o alla secrezione, il ribosoma si associa al RER e la catena polipeptidica viene trasportata nel lume, dove vi possono avvenire le modificazioni chimiche.

➤ **RETICOLO ENDOPLASMATICO R.E. LISCIO (REL)**

- Il **REL** non è associato a ribosomi e la sua struttura è più liscia ed è costituito da **membrane tubunifor**mi.
- Il REL è la sede della sintesi dei lipidi (es. fosfolipidi, steroidi, trigliceridi), della detossificazione di sostanze tossiche (modificazioni di sostanze attraverso l'aumento della loro solubilità in acqua in modo da espellere queste sostanze attraverso le vie urinarie, es. farmaci) e l'**omeostasi cellulare del Ca²⁺** (es. reticolo sarcoplasmatico, REL nelle cellule muscolari che è specializzato nell'accumulo del Ca²⁺ implicato nei processi di contrazione muscolare).



➤ **COMPLESSO DEL GOLGI**

- Il **complesso del Golgi** è un sistema di endomembrane costituito da **cisterne**, così chiamato perché è scoperto da **Camillo Golgi**, microscopista italiano, nel 1898, che per primo scoprì una metodica per colorare questo organello.
- Il c. del Golgi è la sede di origine dei **lisosomi**.

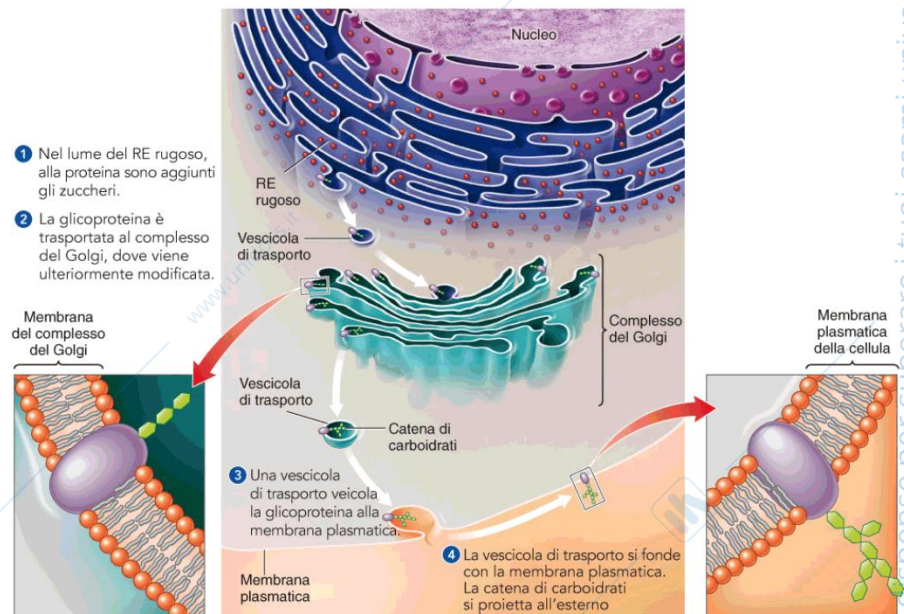
- **Riceve, modifica, scambia e smista** continuamente **proteine che riceve dal RE**, per poi **impacchettarle in vescicole di trasporto** destinate ai diversi componenti del sistema delle endomembrane/secrezione (es. glicoproteine ECM).

Le **proteine** le riceve attraverso degli **eventi di fusione delle membrane**: le membrane delle **vescicole** che provengono dal RER si fondono con le cisterne della regione *cis* dell'**apparato del Golgi**, più vicina al RER. A seguito della fusione delle membrane, le **proteine** che erano rivolte verso il lume del RER **saranno rivolte verso il lume dell'apparato del Golgi**, a livello del quale vengono ulteriormente **glicosilate**. Successivamente le **proteine** vengono smistate nelle varie membrane attraverso **vescicole** (le catene glucidiche saranno sul versante luminare della vescicola) che si creano nella regione *trans*, **vescicole** che si fonderanno con la **membrana** e riverseranno il contenuto all'esterno della cellula.

Una volta avvenuto tutto ciò, **il lume all'interno della vescicola costituirà il versante extracellulare della membrana plasmatica**, mentre **il versante citoplasmatico della vescicola andrà a costituire il versante citoplasmatico della membrana plasmatica**.

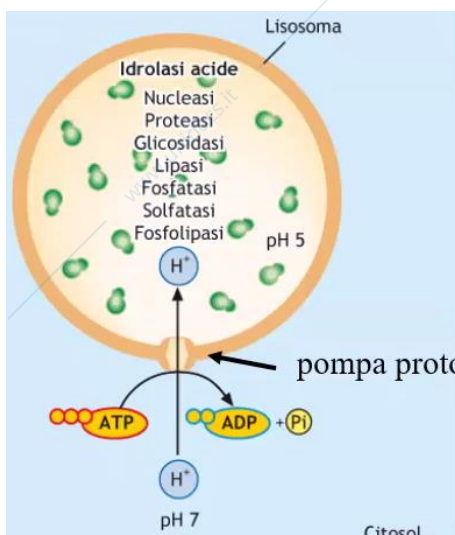
- **Perché le glicosilazioni delle proteine di membrana sono sempre rivolte verso l'esterno della cellula?**

Una volta che la membrana della vescicola si è fusa con la membrana plasmatica, **la catena glucidica sarà sempre rivolta sul foglietto extracellulare** (motivo di asimmetria della membrana in termini di contenuto di polisaccaridi).



➤ VESICOLE DI SECREZIONE

Le **vescicole di secrezione** sono vescicole che trasportano molecole tra i vari organuli provenienti dall'apparato del Golgi.



➤ LISOSOMI

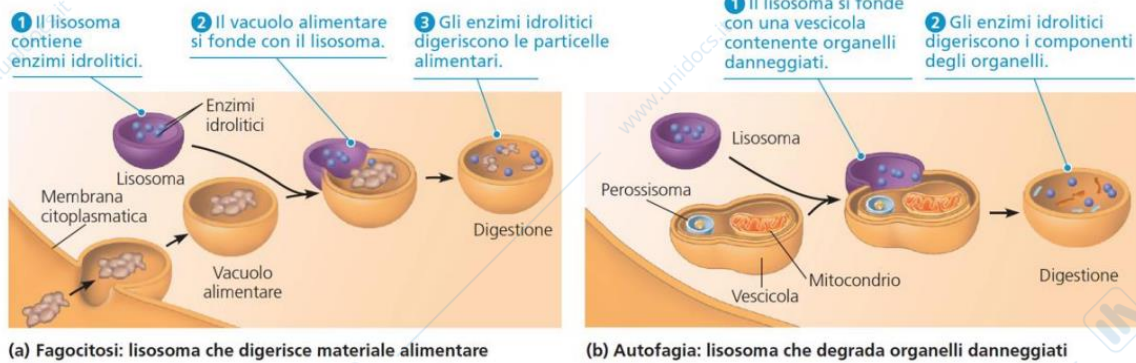
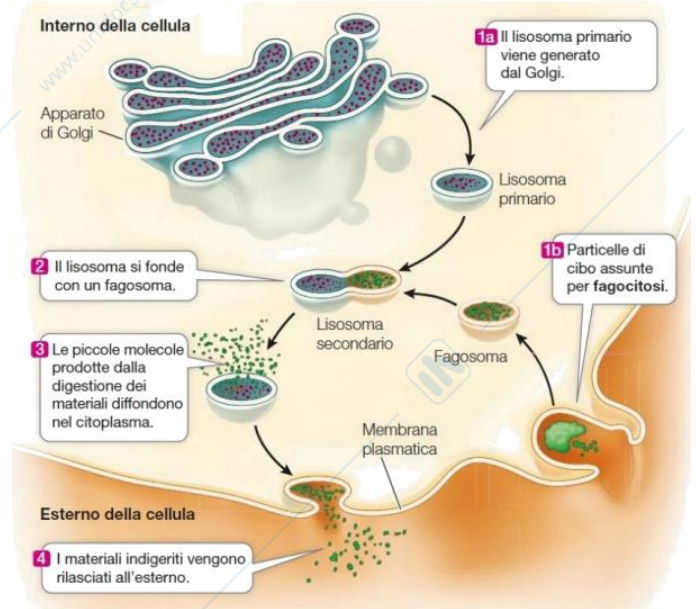
- I lisosomi hanno **dimensioni consistenti**, un $d \approx 0,5 \mu m$ e le loro principali funzioni sono **digestive** (degrada macromolecole a molecole più semplici come aminoacidi...) **riciclaggio cellulare** (se qualche organulo cellulare è invecchiato e malfunzionante, viene sostituito e degradato dal lisosoma nei suoi componenti) e **difesa cellulare**.
- I lisosomi **presenti nelle cellule degli animali ma assenti in quelle vegetali**.
- I **lisosomi** (dal greco *lisis*: scioglimento) sono **delimitati da una membrana** e al loro interno vi sono **enzimi idrolasi acide** che **consentono la degradazione delle macromolecole e g. funzionali**, lo "scioglimento".

- Importante è il fatto che **gli enzimi siano compartimentalizzati**, perché altrimenti verrebbero degradati tutti gli altri organuli, portando alla morte della cellula.

Un altro meccanismo "di sicurezza" è il fatto che le idrolasi **sono attive a pH=5**, perciò se si riversassero nel citoplasma (pH=7) non funzionerebbero.

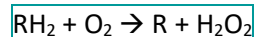
Il pH acido viene mantenuto così grazie alle **pompe protoniche**: attraverso un **trasporto attivo primario** utilizzano l'energia dell'idrolisi dell'ATP (ad ADP+Pi) per pompare **contro grad** di conc **H⁺** all'interno del lisosoma.

- Le idrolasi acide sono sintetizzate dal RER e modificati nel Golgi.
- Il lisosoma derivato dal Golgi è inattivo ed è detto **LISOSOMA PRIMARIO**. Quando questo si fonde con una vescicola contenente il materiale da digerire (**fagosoma**) si trasforma in **LISOSOMA SECONDARIO**, dove le idrolasi sono attive e degradano tutte le macromolecole all'interno. Queste cellule possono poi essere o esocitate o riciclate all'esterno della cellula. Questa funzione di digestione può essere sia nei confronti di un **vacuolo alimentare/fagocitico (FAGOCITOSI)** sia di **degrado di organelli danneggiati (AUTOFAGIA)**.



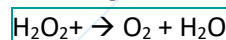
➤ PEROSSISOMI

- I **perossisomi** hanno dimensioni abbastanza piccole 0,2-2 μm e sono delimitati da una membrana.
- La biogenesi dei perossisomi è molto controversa perché fino a poco tempo fa si pensava che non appartenessero al sistema di endomembrane, perché non erano originati dal RE; infatti si è visto che si possono generare da perossisomi preesistenti (divisione cellulare) ma tuttavia è stato dimostrato che possono essere generati in parte per fusione di vescicole provenienti dal RE.
- All'interno dei perossisomi vi sono le **ossidasi**, enzimi che utilizzano O₂ per ossidare vari tipi di molecole per dare origine a H₂O₂:



la cui **decomposizione è nociva/tossica** per la cellula (è per questo che sono contenute al loro interno e non sono libere nel citoplasma).

Nei perossisomi vi è un altro enzima, **catalasi**, che degrada l'H₂O₂ che si forma in H₂O e O₂:



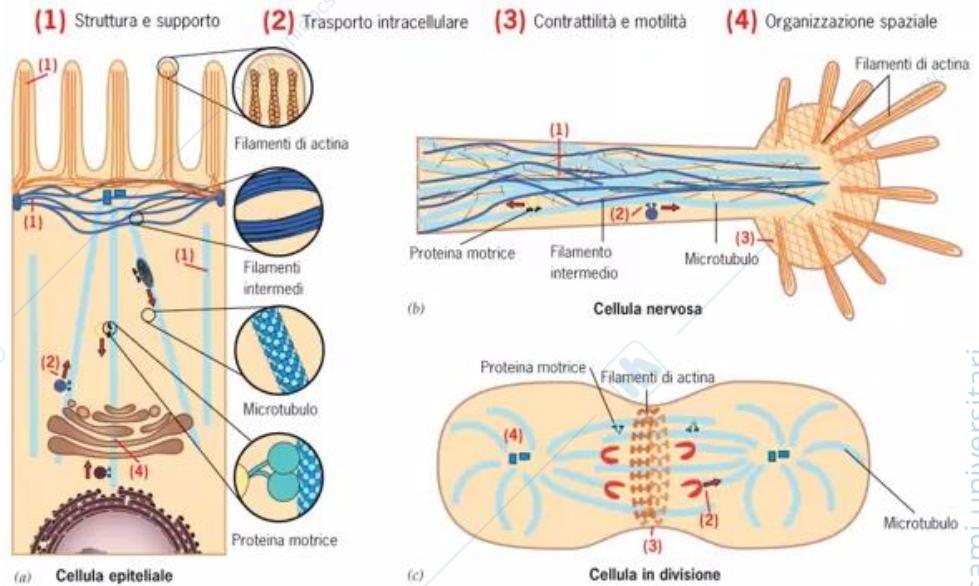
La catalasi è presente in grandi quantità tanto da avere dei **nuclei cristallini di catalasi** o **urato ossidasi** (enzimi che agiscono sull'urato che si forma dal catabolismo dei composti contenenti N, tra cui acidi nucleici e proteine).

- I perossisomi sono abbondanti nelle **cellule renali** e negli **epatociti** dei mammiferi.
- Le loro funzioni sono:
 - **Metabolismo del H₂O₂**
 - **Metabolismo dei composti contenenti N**
 - **Catabolismo di sostanze insolite** (sostanze per cui la cellula non contiene altre vie metaboliche)
 - **Detossificazione di composti nocivi**
 - **Ossidazione degli acidi grassi** (in particolare, la β-ossidazione ovvero una serie di reazioni in cui si ottiene in degradando gli acidi grassi; nelle cellule animali avviene nel mitocondrio e in parte nei perossisomi mentre nei lieviti e nelle piante completamente nei perossisomi)

2c) CITOSCHELETRO

• Il citoscheletro è una **struttura interconnessa e integrata**, è una **struttura dinamica** che implica il **movimento della cellula, degli organuli e delle macromolecole** (es. vescicole).

È una **struttura di sostegno** che **mantiene la forma** delle cellule, **dà un supporto fisico** alla cellula e **permette il trasporto** di materiali all'interno della cellula stessa. Inoltre, è implicato nella **divisione** (fuso mitotico), **adesione** (tra cellule) e **segnalazione** cellulare.

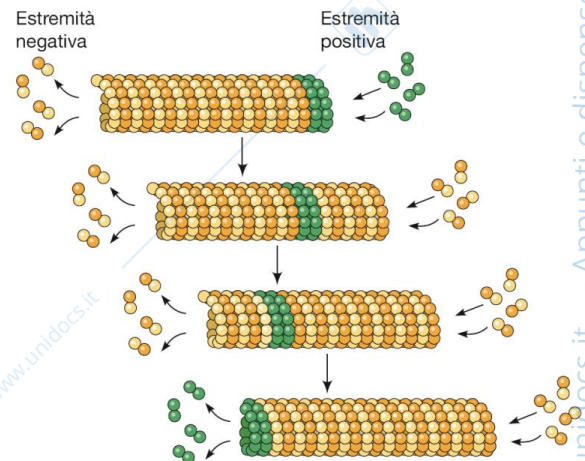


• Le cellule eucariotiche hanno tre tipi principali di **elementi citoscheletrici**:

➤ **MICROTUBULI** (resistono al piegamento da compressione)

- I microtubuli sono dimeri di grosse dimensioni costituiti da un cilindro cavo ($d = 25 \text{ nm}$), che si accresce per l'aggiunta di dimeri di **tubulina** costituiti da α e β -tubulina.
- I microtubuli sono implicati nel **movimento cellulare**, degli organuli, delle vescicole, **nella creazione del fuso mitotico e dei cromosomi**

- Le estremità dei microtubuli non sono identiche: sono **polarizzate**, una **+** (dove la polimerizzazione avviene più velocemente, quindi dove abbiamo l'accrescimento del microtubulo) e una **-** (dove avviene più facilmente la depolimerizzazione).



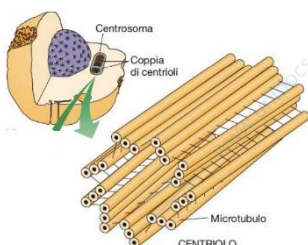
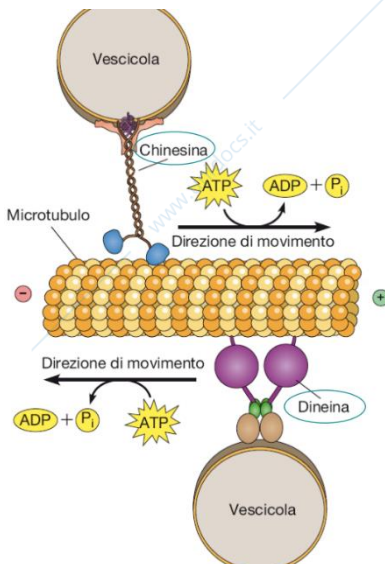
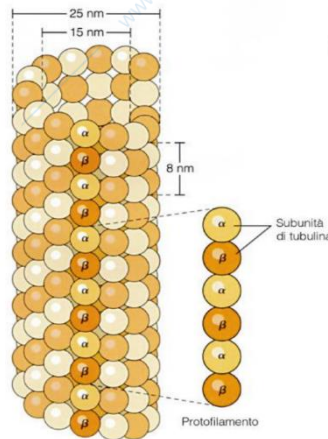
- I microtubuli, come gli altri elementi, sono connessi con altre strutture proteiche. In particolare, **il movimento delle vescicole avviene grazie ai meccanoenzimi** (*chinesina* e *dineina*)

che si spostano sul microtubulo come se questo fosse un binario, **in modo da trasformare l'en. chimica** (contenuta nell'ATP) in en. meccanica: **idrolizzano l'ATP e compiono delle modificazioni conformazionali** tali che la **chinesina** ($- \rightarrow +$) e la **dineina** ($+ \rightarrow -$) **"camminano"** sul binario rappresentato dal microtubulo.

- I microtubuli si originano dall'estremità negativa di una zona chiamata **MTOC** (*centro organizzatore dei microtubuli*).

Nella c. eucariotica ci possono essere diversi MTOC tra cui l'MTCO della divisione cellulare, il **centrosoma**, a livello del quale si generano i microtubuli del fuso mitotico. Il centrosoma nelle c. animali è associato con due **centrioli**, strutture molto simmetriche costituite da microtubuli e orientati perpendicolarmente l'uno rispetto all'altro; in particolare, 9 triplete di microtubuli, che si organizzano a formare il centriolo cavo.

Durante la prometafase della divisione cellulare si ha la formazione del fuso mitotico, costituito da microtubuli che si originano a livello dei centrosomi, dove sono presenti i due centrioli.



• I microtubuli sono componenti strutturali di proiezioni:

- **flagelli**: lunghe, circa 200 μm , solitamente vi è 1 solo, sono implicati nella **locomozione** (es. cellula spermatica)
- **ciglia**: corte, circa 2-10 μm , presenti in un n° maggiore di 1, sono implicate nel **movimento dei liquidi, muco e delle particelle sulla superficie delle cellule stesse** (es. rivestono il tratto respiratorio e si occupano di far muovere il muco in modo che non arrivino ai polmoni)

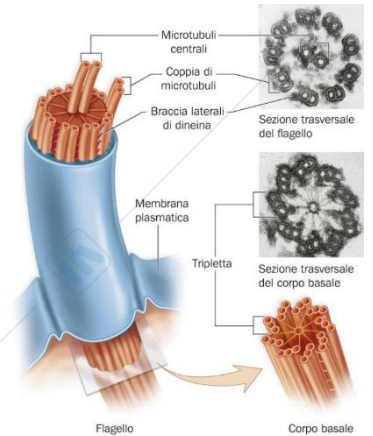
Entrambi sono rivestiti da membrana plasmatica e sono **estroflessioni a forma di frusta** che si trovano in alcune c. eucariotiche, caratterizzati da una struttura dei microtubuli ad **assonema 9+2**: 9 doppiette di microtubuli che si organizzano in modo circolare intorno a una coppia di microtubuli centrali.

Sono, inoltre, ancorati al citoplasma da un **corpo basale** che ha una struttura costituita da 9 triplette di microtubuli che si organizzano in modo circolare.

Per quanto riguarda il movimento, a ogni coppia di microtubuli è associata una

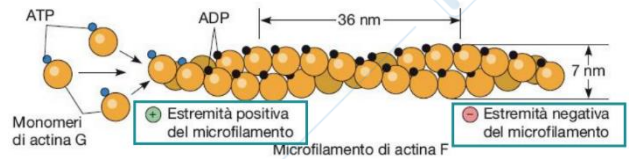
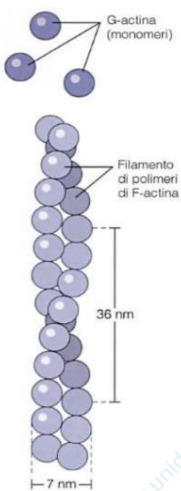
dineina che, durante ogni ciclo di idrolisi dell'ATP, si attacca alla coppia adiacente tirandola.

Siccome le coppie di microtubuli sono strettamente mantenute in posizione da una serie di proteine che le uniscono alla coppia centrale e tra loro, il movimento di trazione provoca un **movimento a frusta**.



➤ **MICROFILAMENTI o FILAMENTI DI ACTINA** (fungono da elementi contrattili e generano tensione)

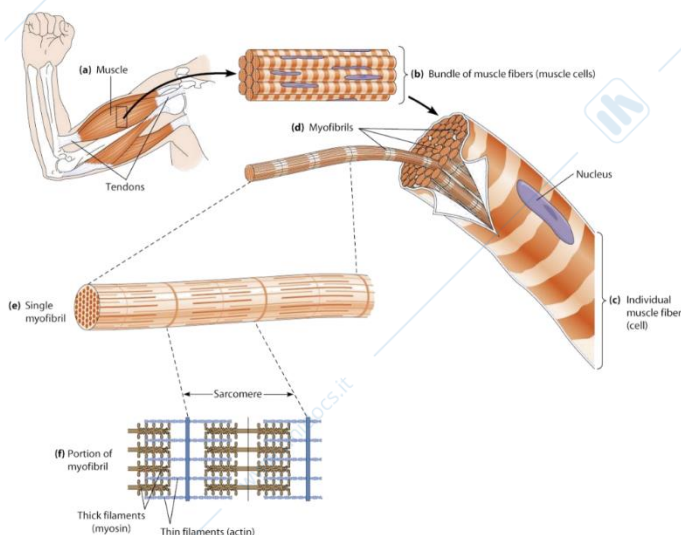
- I microfilamenti sono gli elementi più piccolo del citoscheletro e sono costituiti da **filamenti di actina** che può essere **actina G** (globulare, monomero di actina libero) o **actina F** (fibrillare, legata ad ADP), filamenti che si avvolgono, si intrecciano tra loro ($d = 7 \text{ nm}$).
- I microfilamenti sono **polari**, in particolare vi è un'estremità **+** (dove la polimerizzazione avviene più velocemente, quindi dove abbiamo l'accrescimento del microfilamento) e una **-** (dove avviene più facilmente la depolimerizzazione).

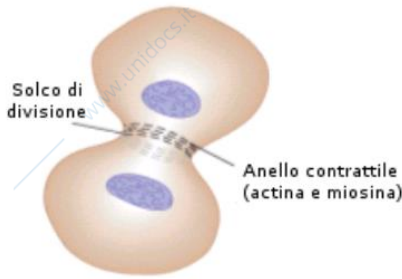


• I microfilamenti sono coinvolti in:

- **movimento e migrazione direzionale delle cellule** verso uno stimolo attraverso la formazione di **lamellipodi** e **filopodi** grazie ai filamenti di actina (es. nelle amebe si formano degli pseudopodi "simile a un piede", appendici attraverso le quali la cellula riesce a muoversi, in particolare viene trascinato dall'actina nella direzione in cui l'ameba si muove)
- **mantenimento delle variazioni della forma delle cellule**
- **microvilli**
- nelle **giunzioni cellulari**

- nella **contrazione**, es. contrazione delle cellule muscolari, si basa sulla **contrazione dei microfilamenti che nel muscolo interagiscono con filamenti di miosina (filamenti spessi)**.
- La struttura delle cellule del muscolo scheletrico è costituita da miotubi multinucleati, la cui unità contrattile è il sarcomero. Al suo interno, per quanto riguarda la contrazione, vi sono delle interazioni tra **filamenti sottili** e **spessi**. Questi ultimi hanno delle teste che interagiscono con l'ATP: in particolare quando l'ATP, legato alla miosina, viene idrolizzato ad ADP, libera energia e questa fa sì che le teste di miosina si leghino all'actina determinando uno scivolamento che determina a sua volta l'accorciamento e la contrazione della struttura muscolare.

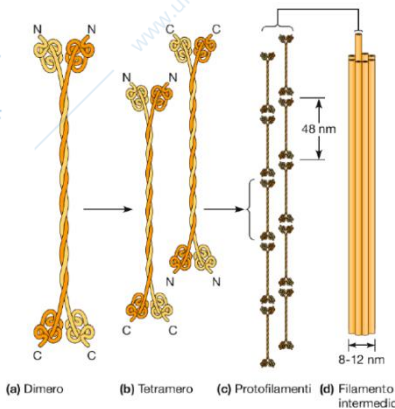




- divisione cellulare, in particolare durante la citodieresi (suddivisione del citoplasma), avviene la formazione di un **anello contrattile** costituito dal sistema actina-miosina; l'anello si forma perpendicolarmente alla direzione in cui il materiale genetico è stato diviso e prende contatto con la membrana plasmatica. A seguito delle contrazioni dovute allo scivolamento dei filamenti leggeri su quelli di miosina, l'anello contrattile si contrae sempre di più (grazie all'idrolisi dell'ATP ecc) arrivando a formare un **solco di divisione**, questo finché i due lembi della membrana plasmatica vengono sempre di più a contatto e si hanno eventi di fusione della membrana che determinano la divisione cellulare.

➤ **FILAMENTI INTERMEDI** (sono elastici e resistono alle forze di tensione, non ci sono nelle c. vegetali)

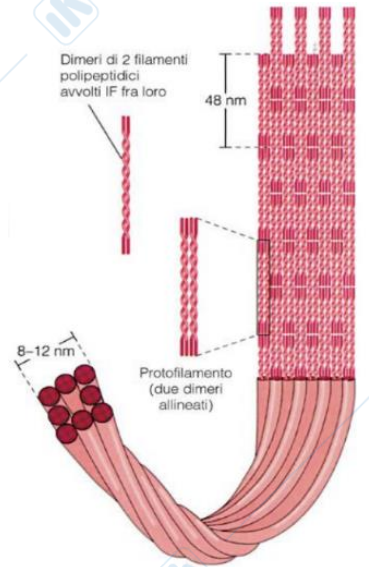
- I filamenti intermedi hanno un $d = 8 - 12$ nm, sono i più stabili e meno solubili.
- Non sembrano essere polarizzati.
- Sono implicati nell'architettura, struttura, sostegno e forma della cellula, nelle connessioni tra cellule e nelle giunzioni cellulari.
- Sono assenti nelle cellule vegetali.



- Sono costituiti da **proteine tessuto specifiche** (es. nelle cellule di origine mesenchimale sono costituiti da **dimentina**, nelle cellule neuronali da **neurofilamenti**...). Unica eccezione la fanno le **lamine**, proteine che si ritrovano in tutti i tipi cellulari e che costituiscono la lamina nucleare.

- Le proteine si organizzano in **dimeri** (*coiled coil*) in cui sono orientate testa-testa (N-N terminale, C-C terminale); i dimeri si dispongono in **tetrameri** sfalsati orientati testa-coda per poi associarsi a dare i **protofilamenti**.

8 protofilamenti danno origine a un cilindro cavo e a sua volta al filamento intermedio.

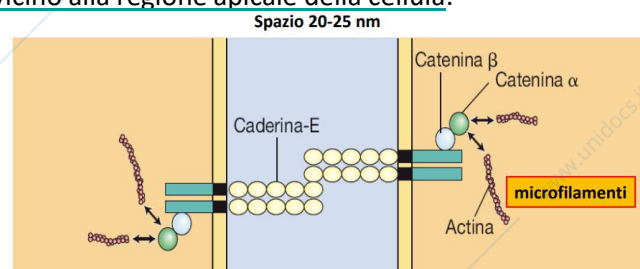


➤ **GIUNZIONI CELLULARI**

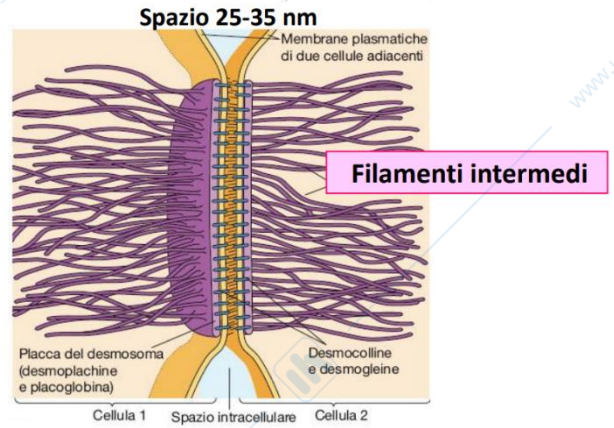
Le cellule animali sono connesse tra loro tramite 3 tipi di **giunzioni cellula-cellula**, ovvero porzioni specializzate della membrana che definiscono il tipo di giunzione tra due cellule adiacenti:

→ **GIUNZIONI DI ANCORAGGIO** (*Adhesion Junction*):

- **g. aderenti**: consistono in proteine transmembrana (**caderine**), che presentano un ampio dominio extracellulare, uno transmembrana e uno intracellulare. Il legame tra le due cellule avviene per interazione tra caderine appartenenti ai domini extracellulari di cellule adiacenti, creando la giunzione cellulare (non completamente adese, hanno uno spazio di 20-25 nm, che consente il passaggio di materiale tra le due cellule) Questa giunzione, continua nel dominio intracellulare ed in particolare le caderine interagiscono con altre proteine (catenina α e β) appartenenti ai **microfilamenti** del citroscheletro delle cellule. Questo garantisce l'integrità del tessuto e la resistenza agli insulti meccanici: si forma infatti uno strato resistente che distribuisce gli stress meccanici su tutto il tessuto. Sono, inoltre, abbondanti nelle cellule epiteliali dove formano una cintura che circonda le cellule vicino alla regione apicale della cellula.

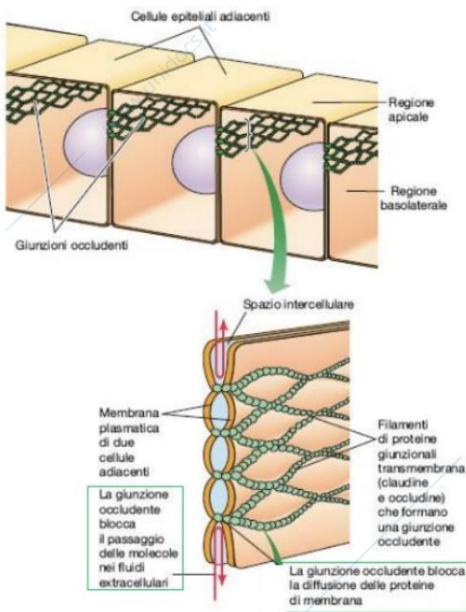


- **desmosomi** (o **bottoni adesivi**): sul versante citoplasmatico di entrambe le cellule vi è una zona proteica chiamata **placca del desmosoma** che si ancora ai **filamenti intermedi**. Vi sono **desmopline** e **desmogleine**, proteine di transmembrana che ancorano le due placche del desmosoma attraverso interazioni nel versante extracellulare. Si forma così uno strato resistente che distribuisce gli stress meccanici su tutto il tessuto.



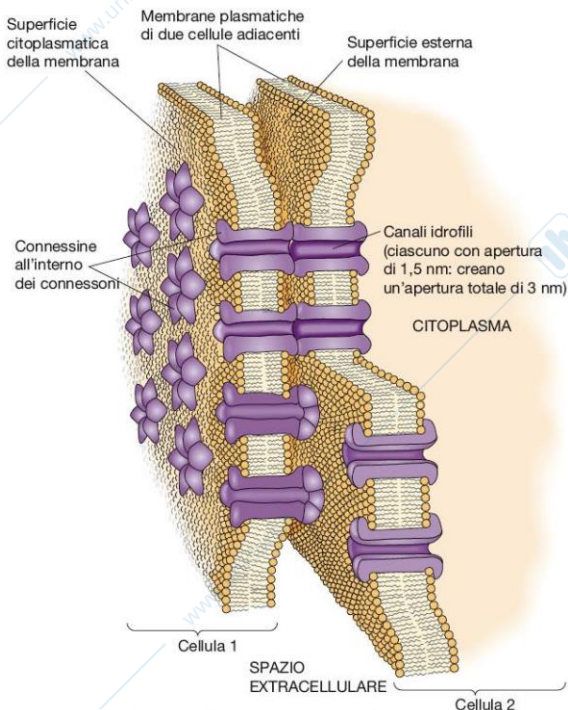
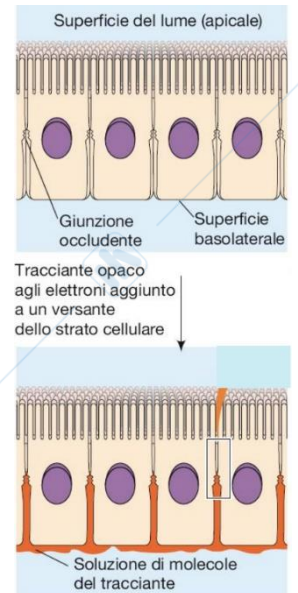
I desmosomi sono abbondanti nella pelle, nel collo dell'utero e nel muscolo cardiaco.

→ **GIUNZIONI SERRATE o OCCLUDENTI** (*Tight Junction*): sono **distribuite in maniera discontinua**,



rappresentano delle **barriere formidabili** che impediscono il passaggio di materiale tra le due cellule legate, grazie alla presenza di **filamenti di proteine di transmembrana**.

Sono caratteristiche dei **dotti ghiandolari**, della **vescica urinaria** e delle **cellule epiteliali** (dove contribuiscono a mantenere la polarità dell'epitelio). *es. a dx* cellule dell'intestino tenue dove vi sono i microvilli (estroflessioni della membrana plasmatica deputati all'assorbimento dei nutrienti), nella porzione apicale vi sono le giunzioni occludenti, che impediscono il passaggio di **materiale extracellulare**. In particolare in foto vi è un **tracciante elettrondenso** che diffonde anche nello spazio intracellulare ma fino alle giunzioni, dopo le quali abbiamo la separazione dal lume intestinale. Quindi le giunzioni fanno sì che non si sia uno scambio diretto tra circolo sanguigno e il lume dell'intestino e che gli epitelii rappresentino una barriera.



→ **GIUNZIONI COMUNICANTI o GIUNZIONI GAP** (*Gap Junction*): le cellule sono in contatto molto intimo tra loro, sono costituite da **6 connesine**, proteine transmembrana che si organizzano a dare origine a un canale, **connessione** il cui $d=1,5-3$ nm. Connessioni di cellule adiacenti, si allineano a creare un unico canale che mette in comunicazione i due citoplasmi delle cellule adiacenti, che consente il passaggio di soluto con **MM max = 1200 Da** (es. ioni, piccole molecole segnale...). Le giunzioni comunicanti hanno un ruolo fondamentale nella **sincronizzazione dell'accoppiamento elettrico delle cellule muscolari cardiache del miocardio**, regolato dall'apertura o chiusura dei connessioni.

3) CELLULA EUCARIOTICA VEGETALE

- Le cellule eucariotica vegetale ha tutti gli organuli precedenti ma ha delle strutture caratteristiche.

PLASTIDI

- I **plastidi** sono organuli tipici delle cellule vegetali.
- Derivano tutti da un **proplastide**, un organulo precursori che si trovano in cellule vegetali non specializzate, nei tessuti in fase di crescita.
- Dal proplastide si differenziano varie tipologie di plastidi, in base alla **LUCE**: la sua presenza induce la presenza di cloroplasti.
- Nonostante il differenziamento, i plastidi hanno una enorme **plasticità**, possono interconvertirsi: se si pensa a una pianta tenuta al buio, le sue piante ingialliscono a causa dei **cloroplasti** che si trasformano in **cromoplasti**.
- In un organo dove devono formarsi in assenza di luce si hanno **EZIOPLASTI** (protoclorofilla, precursore giallo)

→ **LEUCOPLASTI**: (*leuco*: assenza di colore) non sono pigmentati, funzione di riserva caratteristici di radici e semi, immagazzino molti composti e si dividono in **AMILOPLASTI** (immagazzinano amido, in modo simmetrico o meno, deposto in uno o più punti dello **ILO**), **ELAIOPLASTI** (i. lipidi) e **PROTEINOPLASTI** (i. proteine).

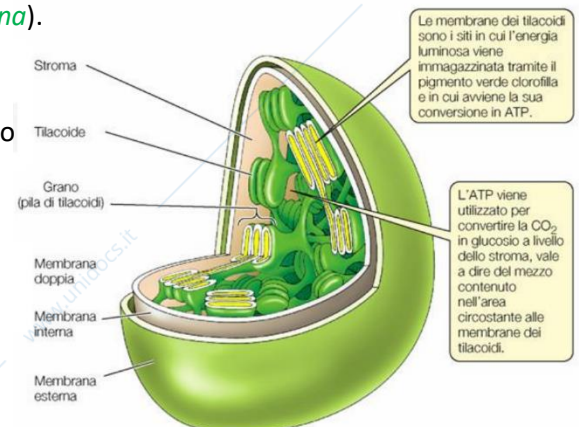
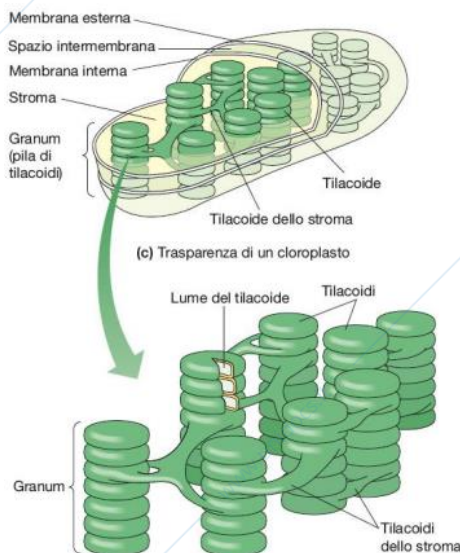
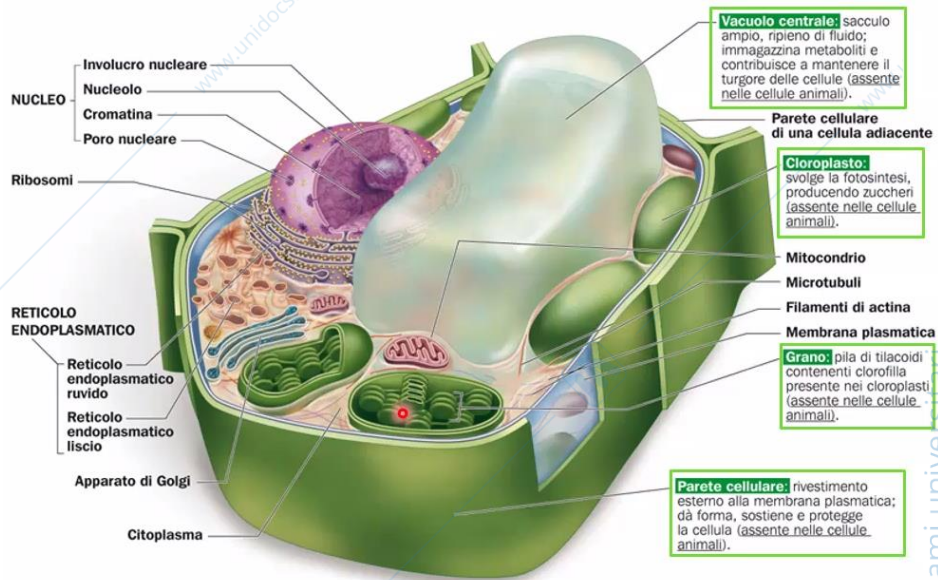
→ **CROMOPLASTI**: sono forme di senescenza, infatti hanno una colorazione sull'**arancio/rosso** per la presenza di pigmenti **carotenoidi**, che dà il colore fiore e frutti maturi e dell'ingiallimento delle foglie e mancano di clorofilla.

CLOROPLASTI

- I **cloroplasti** sono un tipo di plastidi la sede della fotosintesi, presenti nelle cellule vegetali e sono organuli semiautonoma contenenti clorofilla, DNA circolare, RNA ribosomi.
- I cloroplasti sono più grandi dei cromoplasti e hanno 1-5 μm di larghezza e 1-10 μm di lunghezza.
- Nelle piante i cloroplasti sono localizzati principalmente nelle **cellule del mesofillo** (da 20 a 100 cloroplasti per cellula) delle foglie, un tessuto con numerosi spazi intercellulari ed una elevatissima conc di vapore acqueo. Si trovano anche nelle **cellule di alghe azzurre** e verdi (1 cloroplasto per cellula).

- Il cloroplasto è delimitato da una doppia membrana, separate da uno **spazio intermembrana**; la membrana interna delimita lo **stroma**.
- Il cloroplasto è caratterizzato da un terzo sistema di membrane costituita dai **tilacoidi**, sacche appiattite unite a sua volta per dare origine al **granum** (plurale **grana**).

I tilacoidi sono la sede dei pigmenti (**clorofilla**) che assorbe nel **verde** (colore tipico delle foglie) e che catturano l'energia luminosa per trasformarla in energia chimica, in ATP (**fase luminosa**); a livello dello **stroma** l'ATP viene utilizzato per trasformare la CO₂ in zuccheri (**fase oscura**).

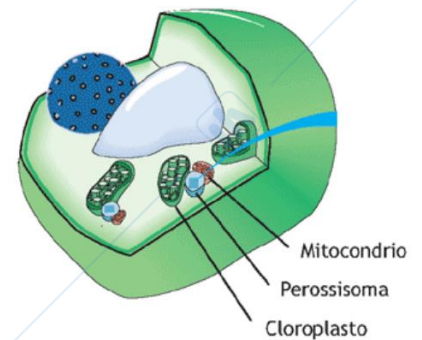


➤ VACUOLO

- Il **vacuolo** è un compartimento debolmente acido delimitato da membrana (tonoplasto), al cui interno vi è un **succo vascolare** che a sua volta contiene: **acqua, enzimi idrolitici** (effettuano la digestione cellulare e funzionano a pH acido), **ioni inorganici** (Cl⁻, K⁺, Na⁺, Ca²⁺...), **acidi organici** (a. malico, a. ossalico, a. citrico, precipitati di ossalati di Ca), **pigmenti** (flavonoidi idrosolubili), **zuccheri** (fruttosio, saccarosio), **proteine** (granuli di aleurone).
- Il vacuolo è caratteristico della c. vegetale ma può essere presente anche nelle c. animali (es. alcuni protisti hanno dei vacuoli contrattili diversi da quelli vegetali e volti a espellere l'acqua in eccesso)
- Il vacuolo sposta cloroplasti in periferia in posizioni favorevole
- Le sue funzioni ricordano i **lisosomi**, la cui biogenesi è molto simile, e sono:
 - **compartmentalizzazione degli enzimi idrolitici**
 - **accumulo di soluti**, in ambiente ipotonico, e mantenimento del **P di turgore**, responsabile del tono delle piante non legnose
 - **regolazione del pH citosolico (acido)**
 - **compartimento di deposito** nel succo vacuolare: es. **proteine** (come fonte di aminoacidi rilasciati da proteasi al momento della germinazione) **sostanze organiche** tra cui **malato** (nelle piante CAM), **pigmenti** tra cui **antocianine**, **scorie residue** (ingerite, le piante non hanno l'apparato escretore), **sali inorganici**, **zuccheri** e **polisaccaridi**.
- Il vacuolo deriva da un endosoma, il **provacuolo**, dall'apparato del Golgi il quale matura in un vacuolo funzionante che può occupare fino al 90% del volume cellulare. Nelle cellule embrionali sono piccoli.

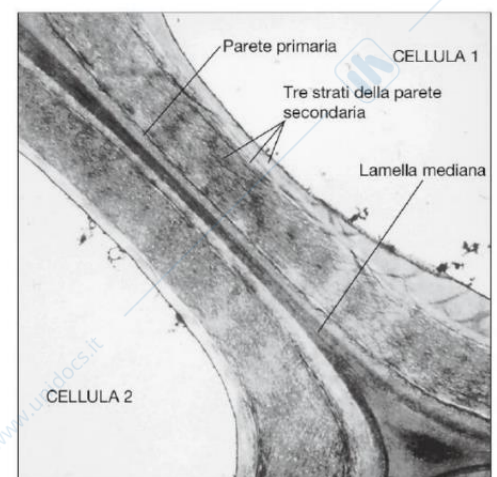
➤ PEROSSISOMI

- Nelle cellule vegetali, i **perossisomi** sono abbondanti nelle **cellule fotosintetiche** e nelle **pianticelle germoglianti** che accumulano grasso dei semi.
- Le cellule vegetali contengono tipi di perossisomi non presenti nelle cellule animali:
 - **PEROSSISOMI FOGLIARI**: si trovano associati sia a un cloroplasto che a un mitocondrio, tra i quali avviene la **via del glicolato (fotorespirazione)** e i quali collaborano in un processo luce-dipendente di assorbimento di O₂ e produzione di CO₂.
 - **GLIOSSISOMI**: sono presenti nei semi delle piante che intervengono nel **ciclo del gliossilato**, che **converte i grassi in zuccheri**, fonte energetica della pianta nella germinazione.



➤ PARATE CELLULARE

- La **parete cellulare** conferisce rigidità e robustezza alla cellula, impedisce il movimento della cellula, permette di sopportare la P di turgore ed è una barriera di permeabilità (anche se solo per molecole di grosse dimensioni) e di protezione (da organismi patogeni).
- La parete cellulare si sviluppa accrescendosi in direzione centripeta, cioè dall'esterno verso la membrana plasmatica: i primi strati della parete sono posti più lontani dalla membrana plasmatica, via via che la cellula depone gli strati successivi questi si interporranno tra gli strati precedenti e la membrana plasmatica.
- In foto vi sono due cellule 1 e 2 in contatto tra loro e separate dalla parete cellulare, costituita da tre stati:
 1. **LAMELLA MEDIANA (LM)**: costituita da polisaccaridi amorfi, polimeri del galattosio, pectati e pectine (**sostanze pectiche**), non vi è la cellulosa e separa le due pareti ma fa sì che rimangano tra loro in contatto.

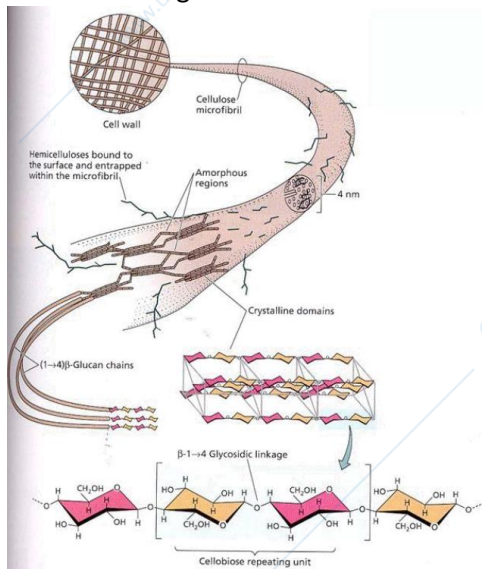
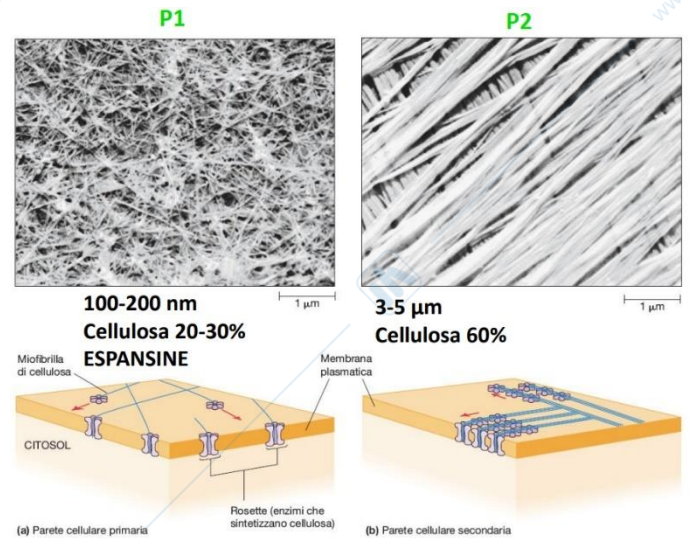


1 μm

2. **PARETE PRIMARIA (P1)**: si forma quando la cellula non ha finito di accrescersi, è formata da fibre di **cellulosa (20-30%**, sintetizzate da enzimi dette **celluloso sintasi** che sono proteine transmembrana disposte a rosette, il cui movimento è associato ai **microtuboli**) in una matrice di sostanze pectiche e acqua (sintetizzate a livello dell'apparato del Golgi) e, in particolare, si parla di una **tessitura dispersa**.

Siccome la P1 si forma quando la cellula non è del tutto cresciuta, avrà bisogno di espandersi e per farlo vi sono degli enzimi **glicosilasi** che rompono i legami permettendo l'accrescimento per poi essere riformati.

3. **PARETE SECONDARIA (P2)**: è la più interna, costituita a sua volta da tre strati (**S1, S2, S3**) in cui la **cellulosa (60%)** è molto abbondante e si parla di **tessitura parallela**, orientata secondo precise angolazioni tra i 3 strati.



- In generale quindi, la parete cellulare consiste di **lunghe molecole fibrose immerse in un reticolo di molecole ramificate**: microfibrille di cellulosa immerse in un complesso reticolo di polisaccaridi ramificati (**emicellulose** e **pectine**) e glicoproteine (**estensine**).

- **Cellulosa**: polimero di β-D-glucosio con legami β-1,4-glicosidici, la cui unità strutturale è il **CELLOBIOSIO**, dimero del glucosio. 50-60 polimeri di cellulosa: microfibrille spessore 5-10 nm
- **Emicellulose**: gruppo eterogeneo di polisaccaridi costituiti da un lungo polimero con corte catene laterali associate in un reticolo rigido, sintetizzato a livello dell'apparato del Golgi.
- **Sostanze pectiche**: sono una matrice gelatinosa in cui sono immerse le microfibrille di cellulosa, sintetizzate nel Golgi, sono costituite da polisaccaridi ramificati il cui scheletro è costituito da **α-galatturonico** (derivato del galattosio).

- La parete cellulare può subire delle modificazioni che la rendano più resistente e più permeabile

→ **LIGNIFICAZIONE**: deposizione di **LIGNINA** (polimero del fenilpropano, composto aromatico con anelli fenolici) tra le microfibrille di cellulosa con eliminazione di molecole d'H₂O; la lignina è una sostanza dura che conferisce rigidità e resistenza alla compressione alla parete cellulare e la lignificazione è presente nella P2 (es. negli elementi vasali del tessuto conduttore delle piante)

→ **CUTINIZZAZIONE**: deposizione di **CUTINA** (sostanza idrofobica nelle pareti cellulari delle cellule epidermiche), contribuisce a impermeabilizzare, ridurre la perdita di H₂O e proteggere la pianta da patogeni, danni meccanici o radiazioni pericolose.

La cutina può, inoltre, ricoprire la parte esterna formando la CUTICOLA che a sua volta può subire CERIFICAZIONE (deposito di **cere** sopra la cuticola, derivanti dall'esterificazione di alcoli con acidi grassi, entrambi a MM elevata) contribuendo all'impermeabilizzazione.

→ **SUBERIFICAZIONE**: deposizione di **SUBERINA**, (sostanza idrofobica, polimero di a. grassi esterificati), in particolare si formano lamelle di suberina che si appongono internamente alla parete in senso centripeto e che portano all'impermeabilizzazione, isolamento termico e resistenza agli agenti chimici.

→ **MINERALIZZAZIONE**: impregnazione di **SALI MINERALI** (silice, cellule epidermiche degli equiseti) o **CaCO₃**

➤ **GIUNZIONI CELLULARI - PLASMODESMI**

- Le cellule vegetali sono connesse tra loro, ovvero sono in comunicazione i propri citoplasmi, le membrane e le pareti cellulari tramite sottili canali, i **plasmodesmi** (30-60 nm).
In questi punti quindi vi è l'interruzione della parete.
- Essi consentono lo scambio di materiali (ioni e molecole) tra cellule adiacenti e, di conseguenza, tra tutte le cellule della pianta. Inoltre sopperiscono la mancanza del sistema nervoso nelle piante.
- In particolare, nei plasmodesmi è presente il **desmotubulo**, una struttura tubulare derivante dal REL.

