

**La cellula vegetale
struttura e funzioni**

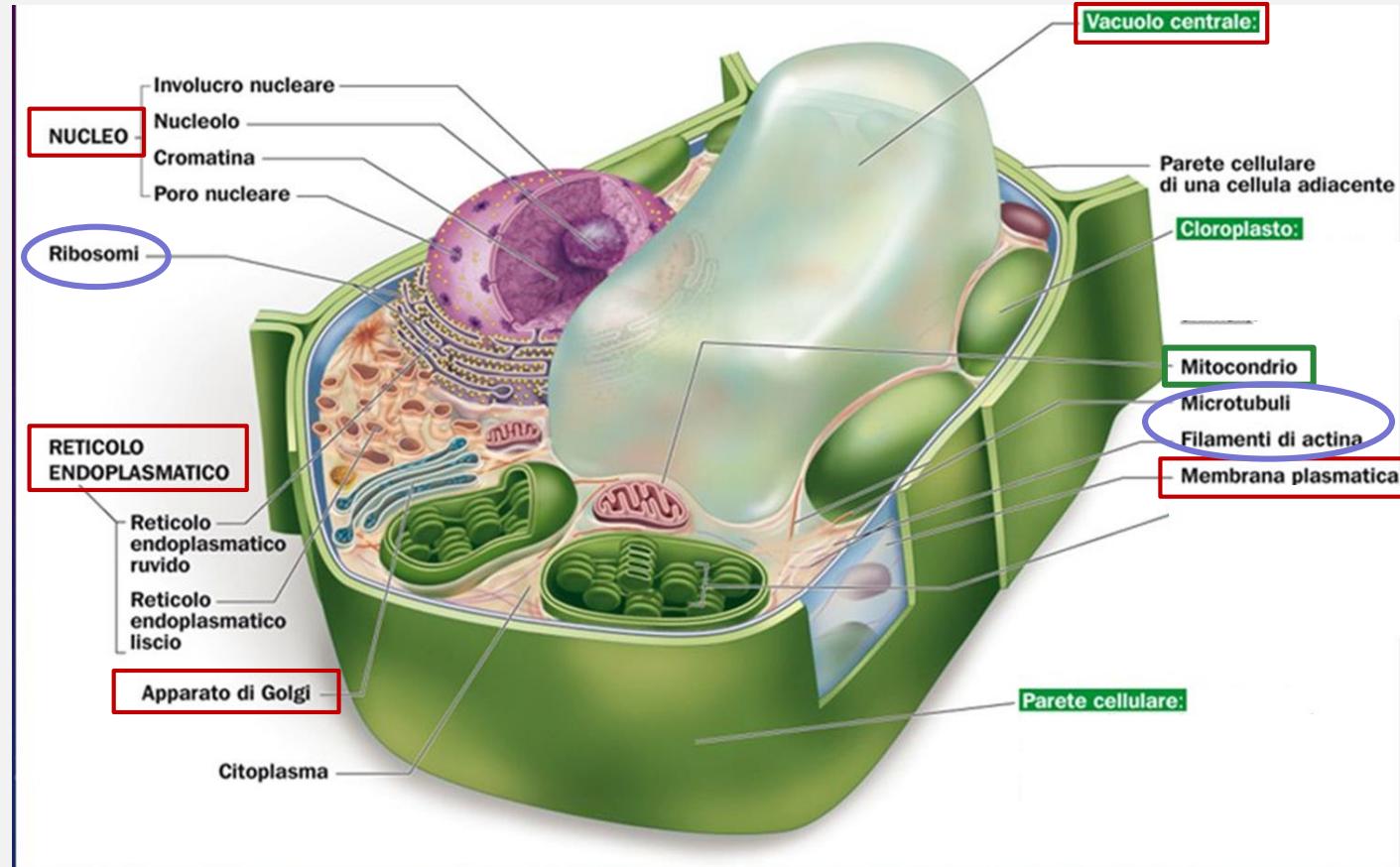
Le cellule eucariotiche

Sono più grandi delle cellule procariotiche

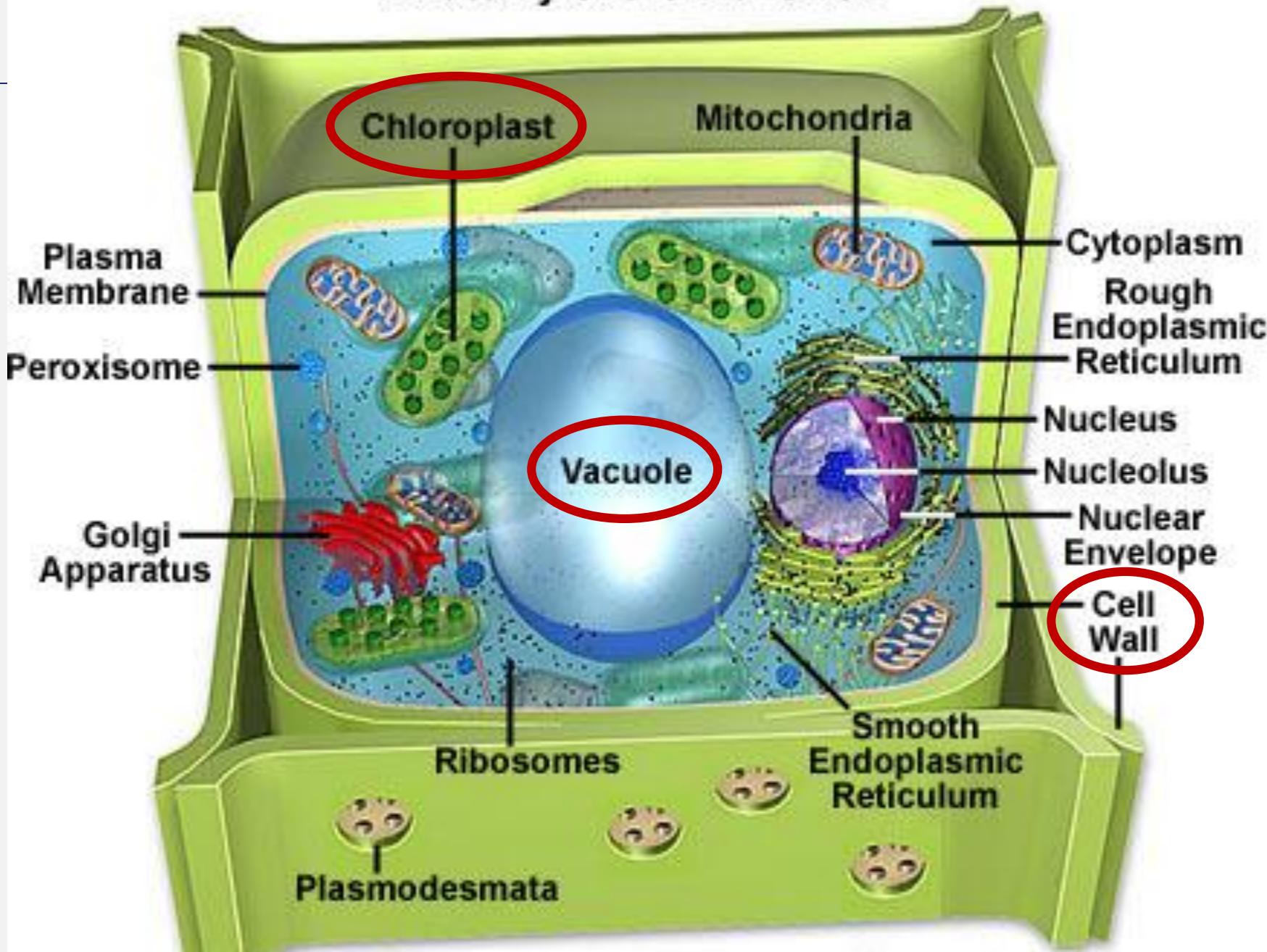
Hanno organuli rivestiti da membrane, un nucleo ed un sistema di endomembrane.

Il protoplasma si divide in nucleoplasma (all'interno del nucleo) e citoplasma (al di fuori del nucleo)

Il citoplasma è costituito da una componente fluida (citosol) e dagli organuli



Anatomy of the Plant Cell





Le cellule eucariotiche sono più grandi delle cellule procariotiche

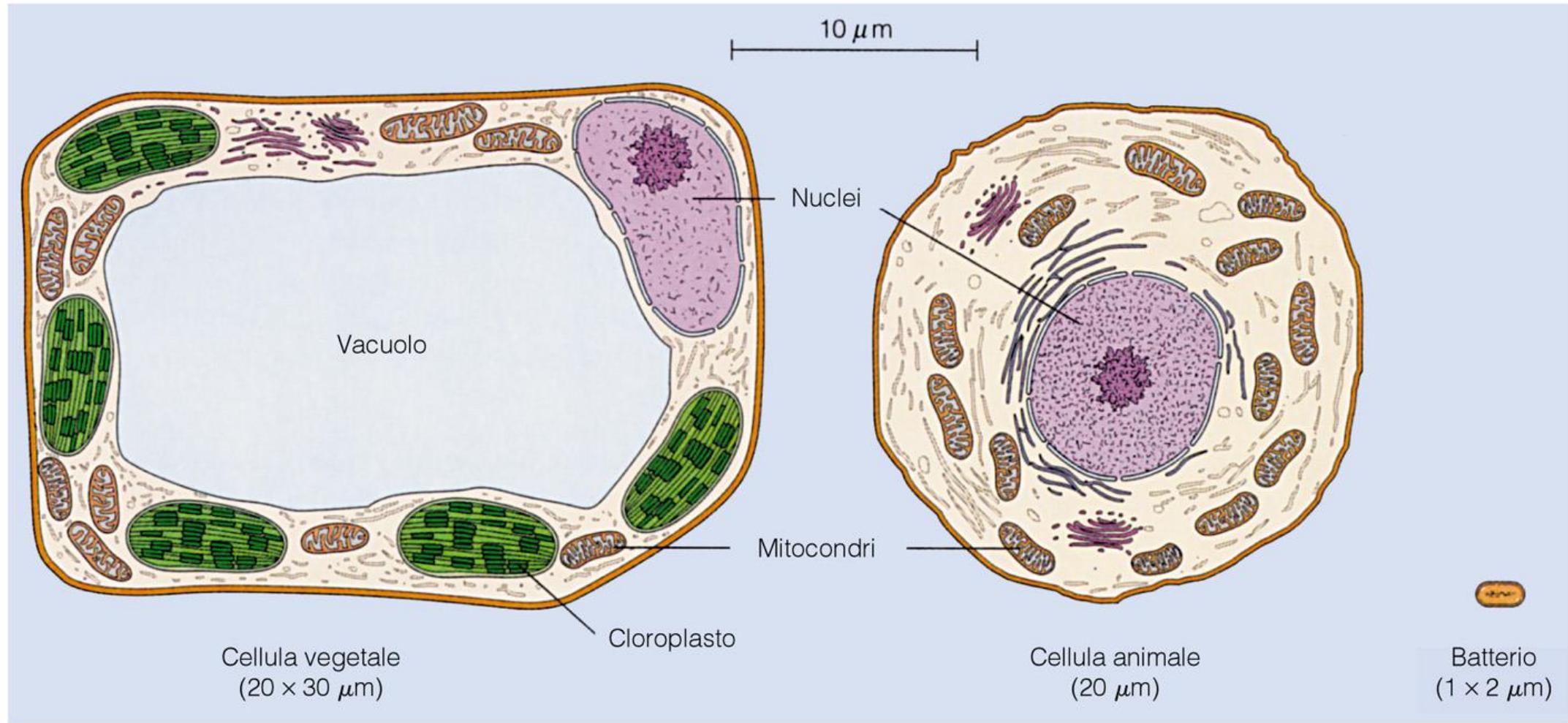


Figura 1A-1





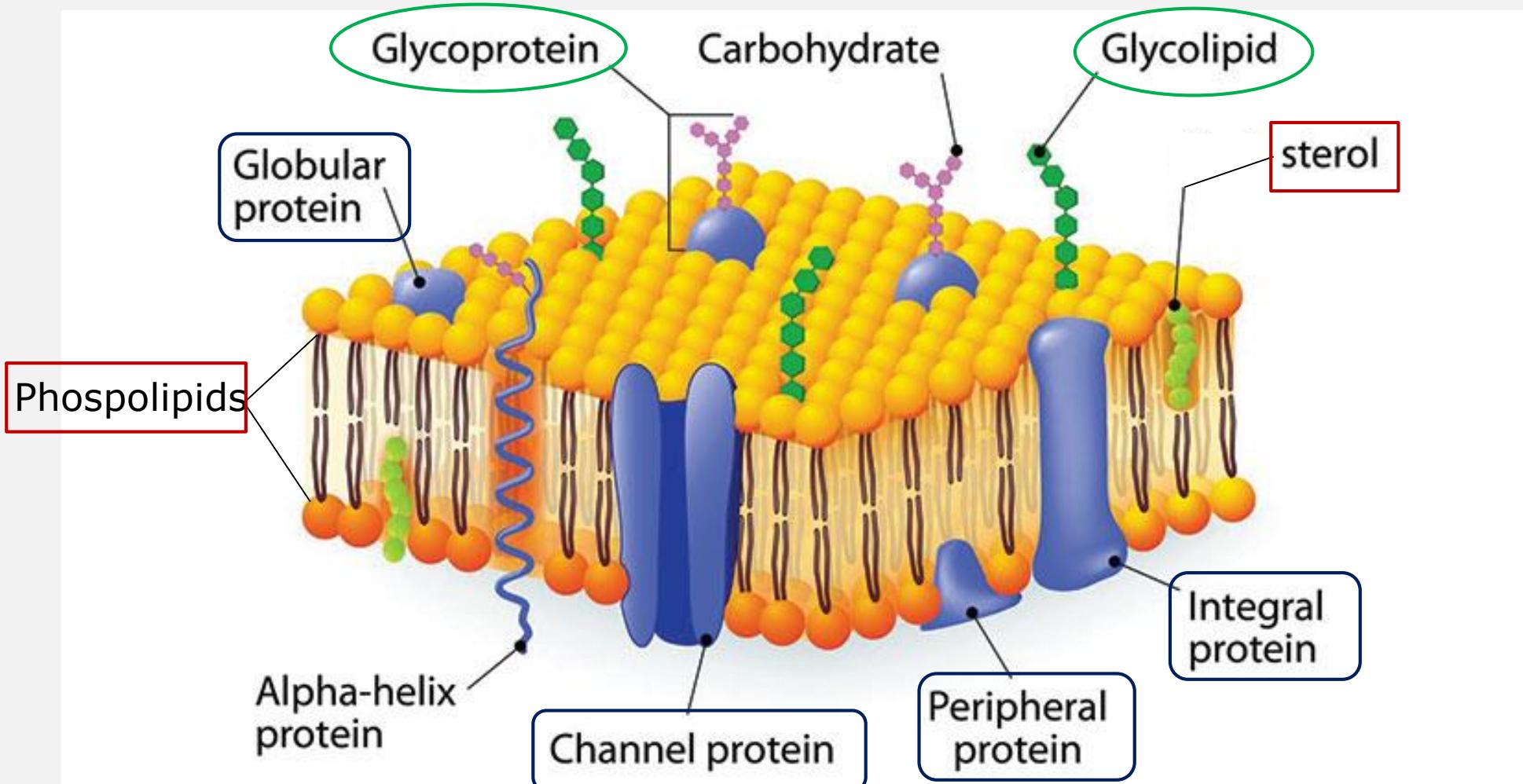
Le membrane biologiche

- Membrana plasmatica.
- Sistema di endomembrane: Membrana plasmatica, compartimento nucleare, Reticolo Endoplasmatico (ER), Apparato del Golgi, Vacuoli.
- Le vescicole gemmano da alcuni organuli e si fondono con altri, trasportando materiale da un compartimento all' altro.
- Mitocondri, Plastidi... funzionano indipendentemente e non appartengono al sistema di endomembrane



Le membrane cellulari

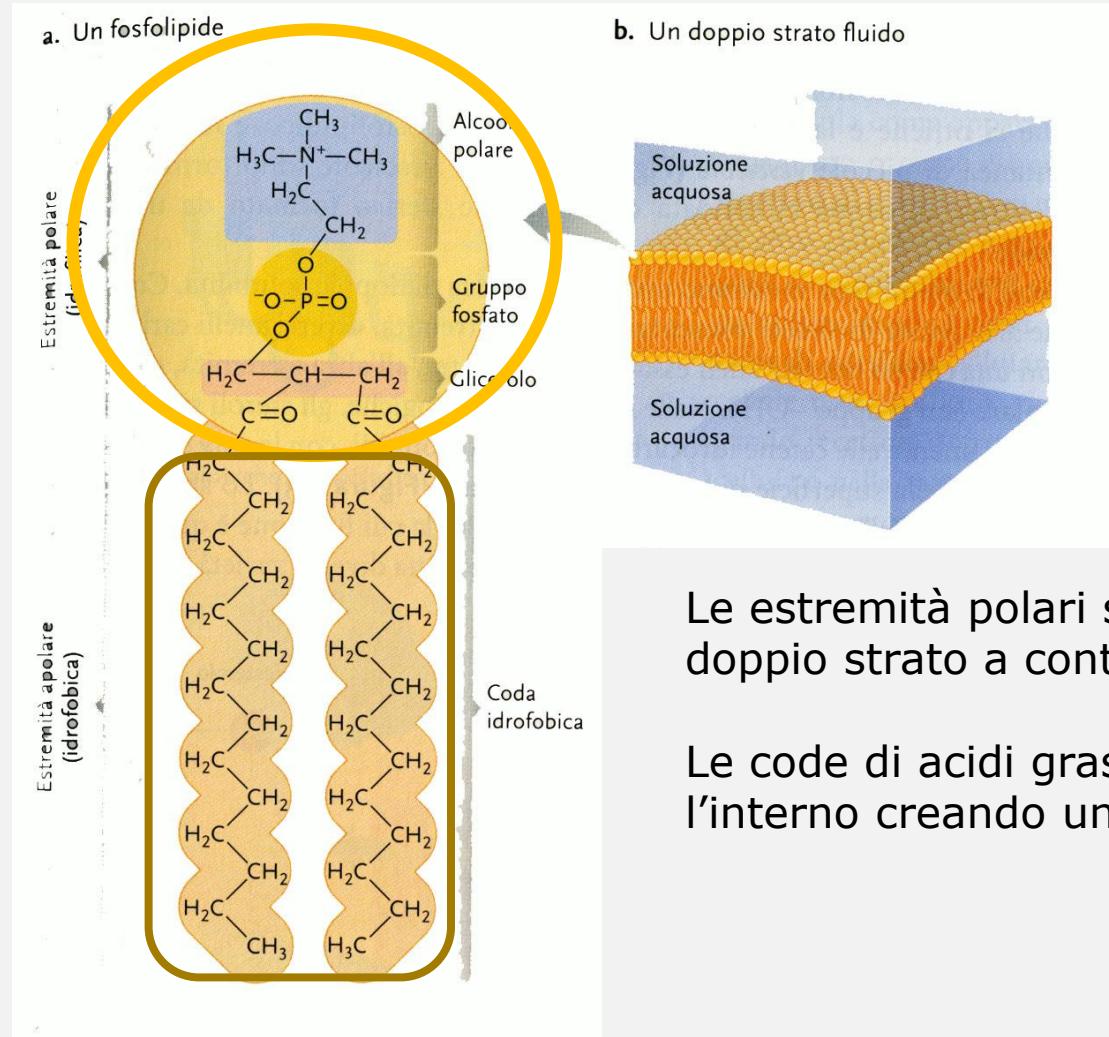
Le membrane cellulari sono costituite da un doppio strato di fosfolipidi e altri lipidi in cui sono immerse proteine. Entrambi possono legare catene di carboidrati (glicolipidi o glicoproteine)



Struttura

I principali costituenti lipidici della membrana sono fosfolipidi, sfingolipidi, steroli e glicolipidi.

I fosfolipidi presentano una **testa polare** e **code apolari** di acidi grassi.

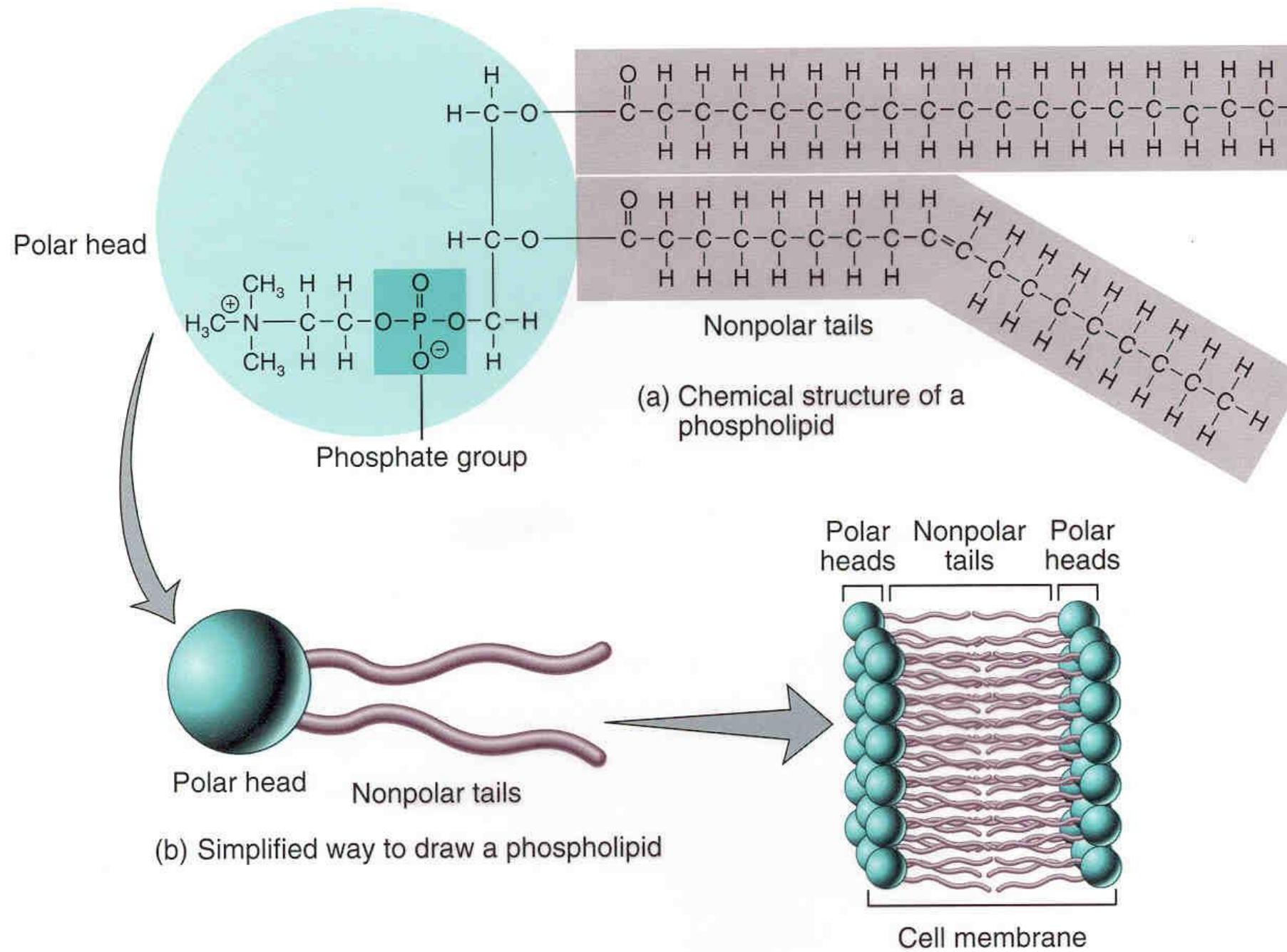


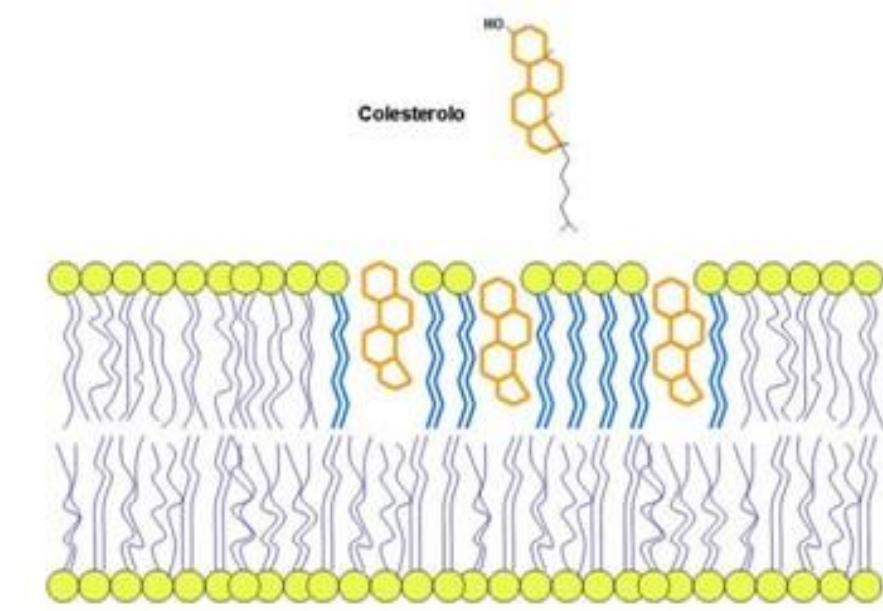
Questo fa sì che in ambiente idrofilo come quello cellulare, si crei un doppio strato di fosfolipidi.

Le estremità polari si posizionano all'esterno del doppio strato a contatto con l'ambiente idrofilo.

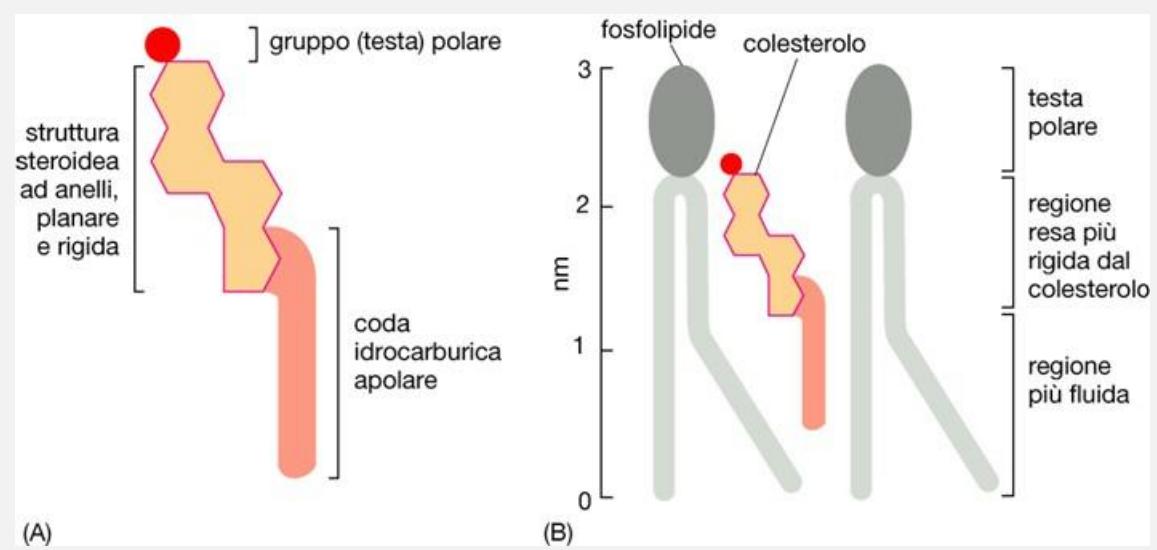
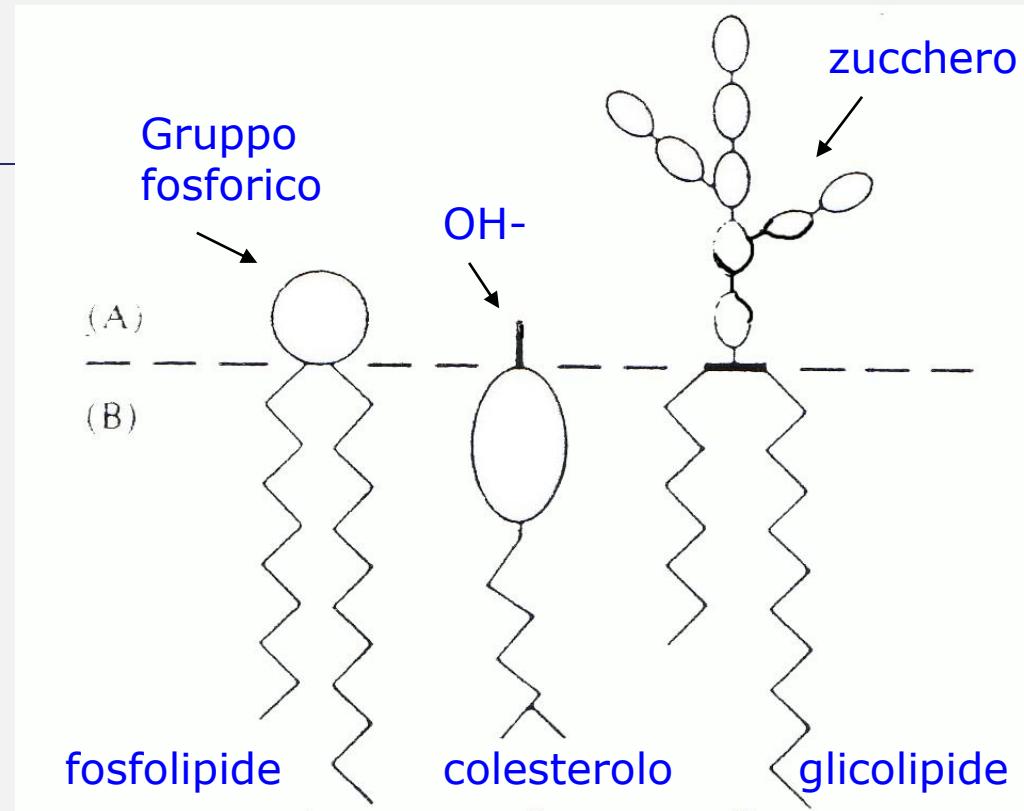
Le code di acidi grassi si organizzano verso l'interno creando una zona apolare







Anche steroli, glicolipidi e sfingolipidi si posizionano tenendo conto della presenza di porzioni idrofile e idrofobe all'interno della molecola.





Le proteine possono presentare anch'esse porzioni idrofile e idrofobe che consentono di interagire diversamente col doppio strato lipidico.

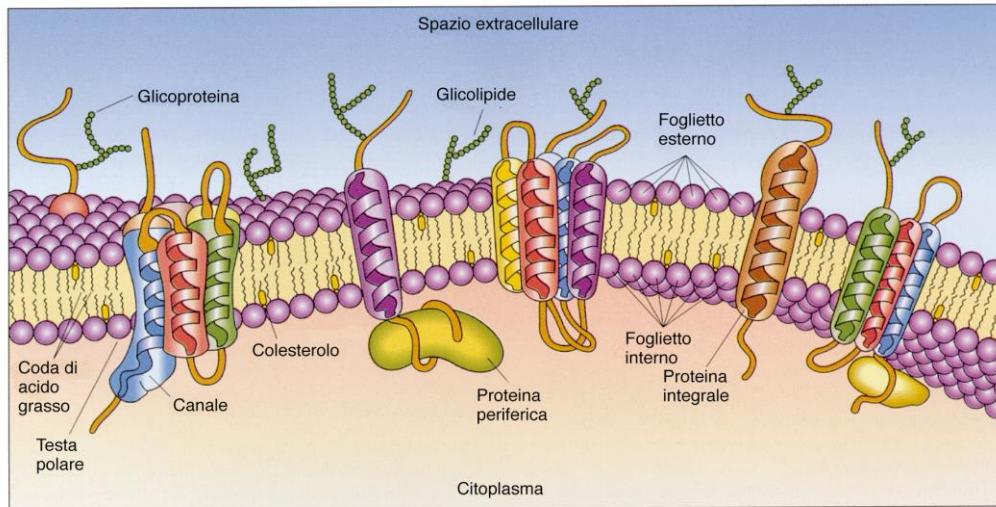
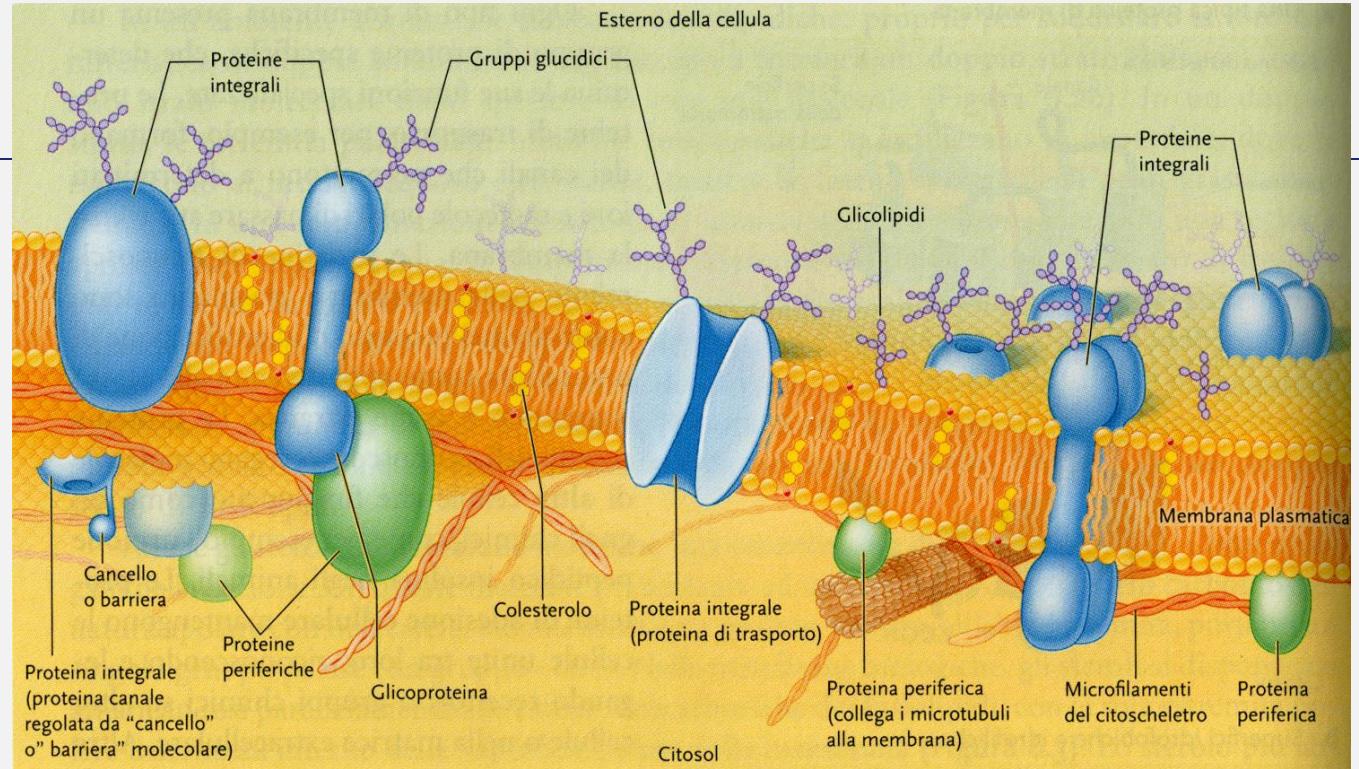
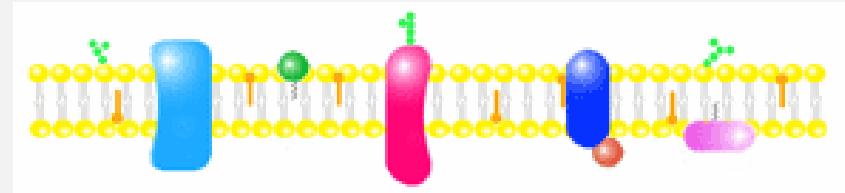


Figura 2-8

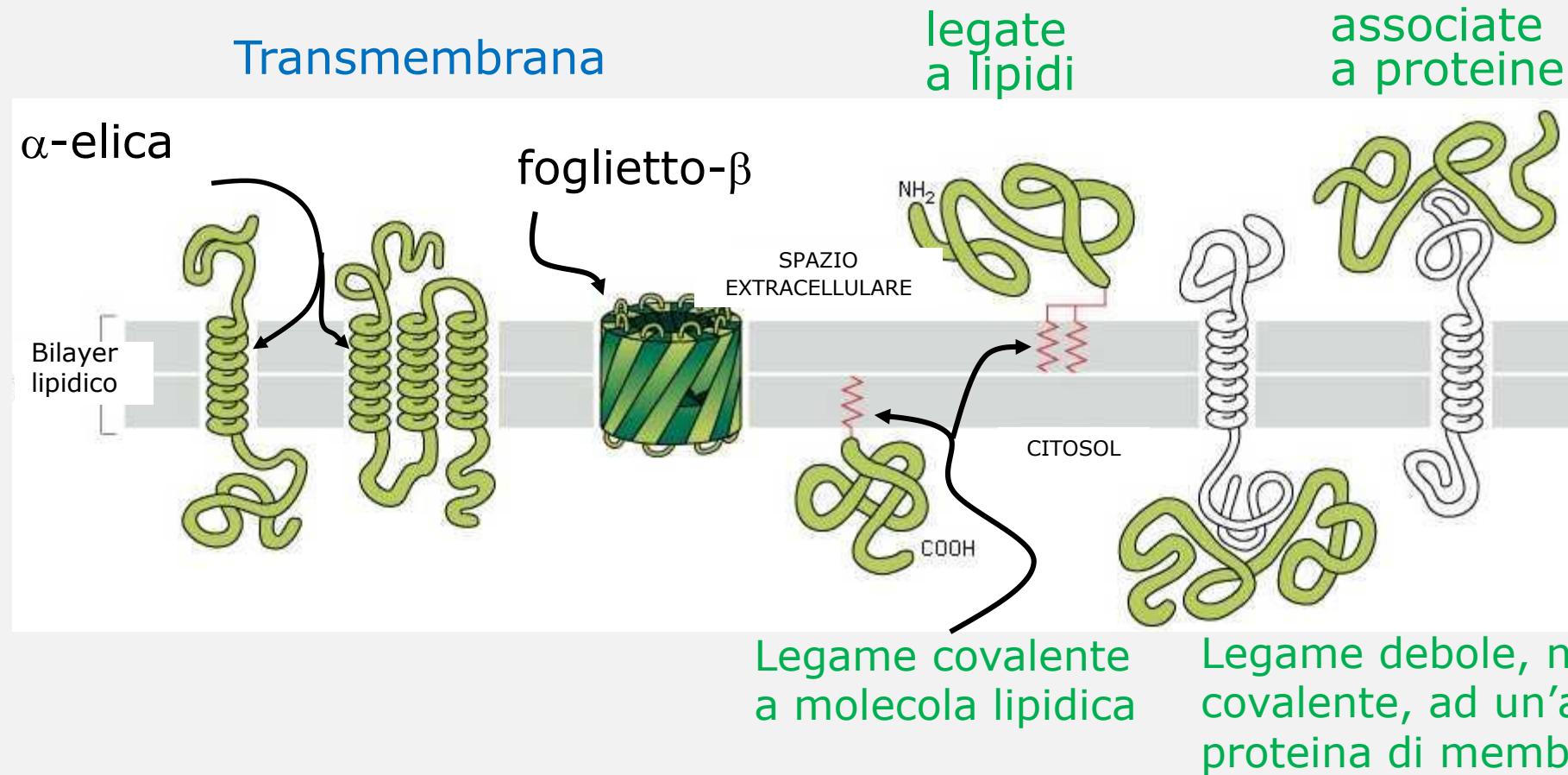


Le proteine possono attraversare tutto il doppio strato fosfolipidico e sporgere su entrambe le superfici (intrinseche**) oppure possono sporgere solo da una delle due superfici (**periferiche**).**



Proteine integrali

Proteine periferiche

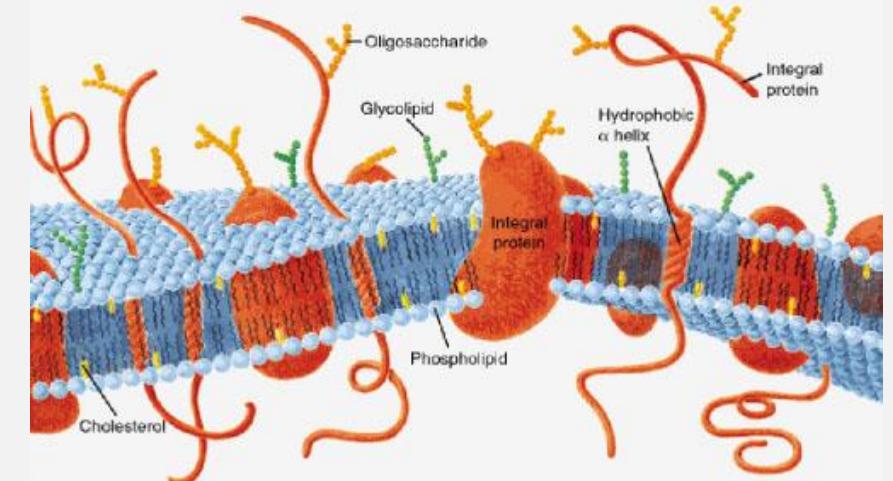


Esse, inoltre, non occupano posizioni fisse, ma possono muoversi più o meno liberamente all'interno e sulle superfici del doppio strato fosfolipidico così da costituire un mosaico di molecole (**MODELLO A MOSAICO FLUIDO -1972**).



Il modello a mosaico fluido, proposto da **Singer e Nicolson nel 1972**, assume che i vari tipi di lipidi formino un'omogenea fase fluida che porta alla libera diffusione laterale di singole molecole e proteine residenti.

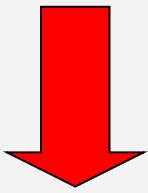
Le proteine di membrana diffonderebbero liberamente come degli iceberg in un mare di lipidi.



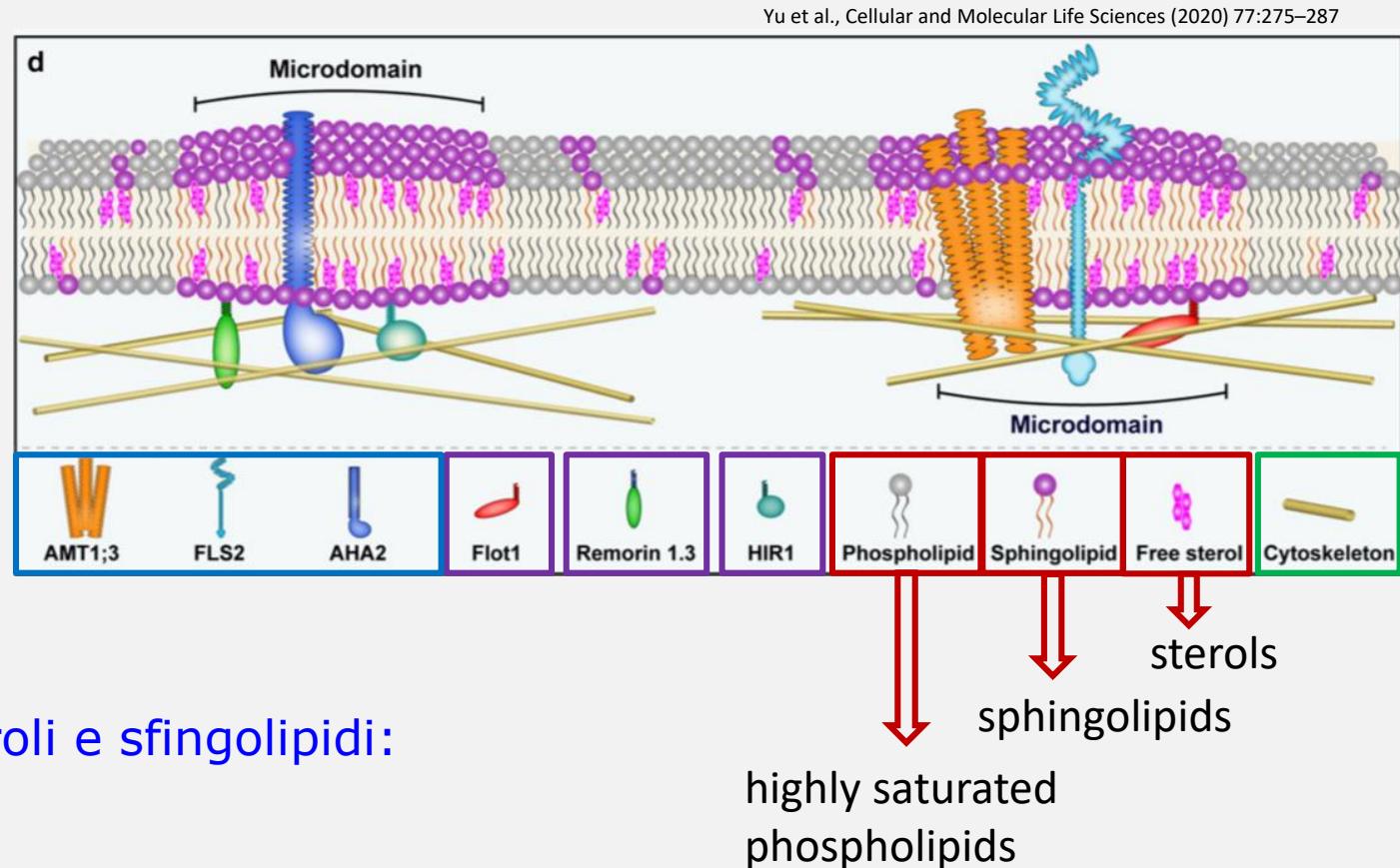
Recenti studi hanno però dimostrato all'interno del mare di lipidi l'esistenza di alcune strutture che imporrebbro una certa organizzazione nella distribuzione delle proteine all'interno della membrana.

Queste strutture rappresenterebbero una sorta di zattere lipidiche rigide nell'oceano membrana.

Il concetto iniziale del modello a mosaico fluido, che prevedeva una distribuzione casuale delle proteine con ampia libertà di movimento laterale e di rotazione, deve essere rivisto in favore di un modello di membrana in cui all'interno del doppio strato lipidico fluido esistono **domini lipidici e aggregati proteici**, **la cui mobilità è ristretta** sia da legami lipidi-lipidi, proteina-proteina o proteina-lipidi, sia dalle interazioni delle proteine con il citoscheletro e con la parete cellulare.



Questi domini altamente strutturati prendono il nome di lipid rafts



I lipid raft risultano arricchiti in steroli e sfingolipidi:

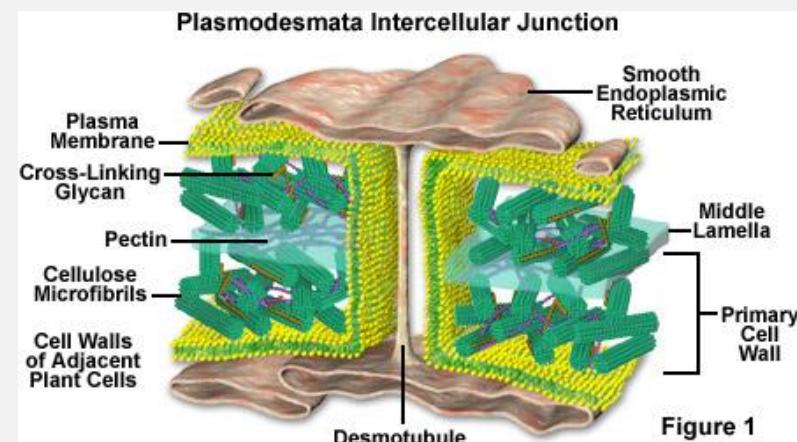
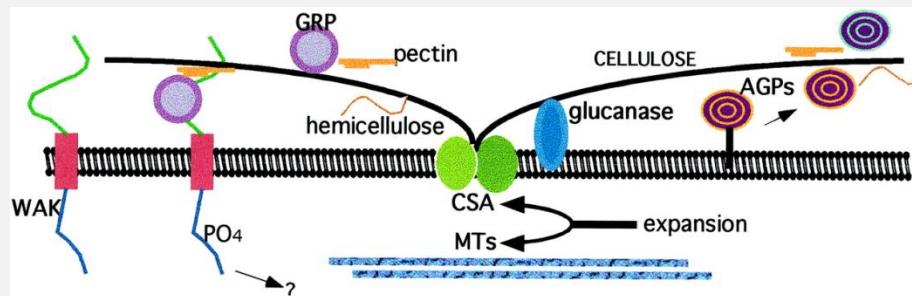
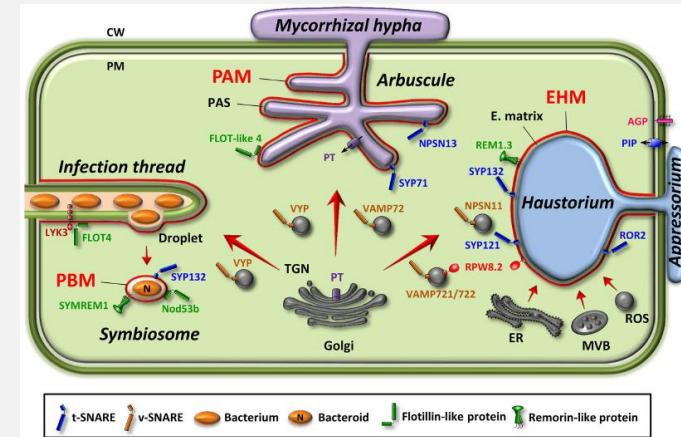
L'associazione tra la rigida molecola degli steroli e le lunghe e sature catene aciliche degli sfingolipidi porta alla formazione di una fase più organizzata e ordinata ma meno fluida che li separa dal resto dei fosfolipidi a formare microdomini che diffondono nella fase fosfolipidica fluida.

La membrana plasmatica nelle cellule vegetali

La membrana plasmatica interagisce con la parete cellulare formando legami fisici tra le molecole della parete e gli elementi del citoscheletro.

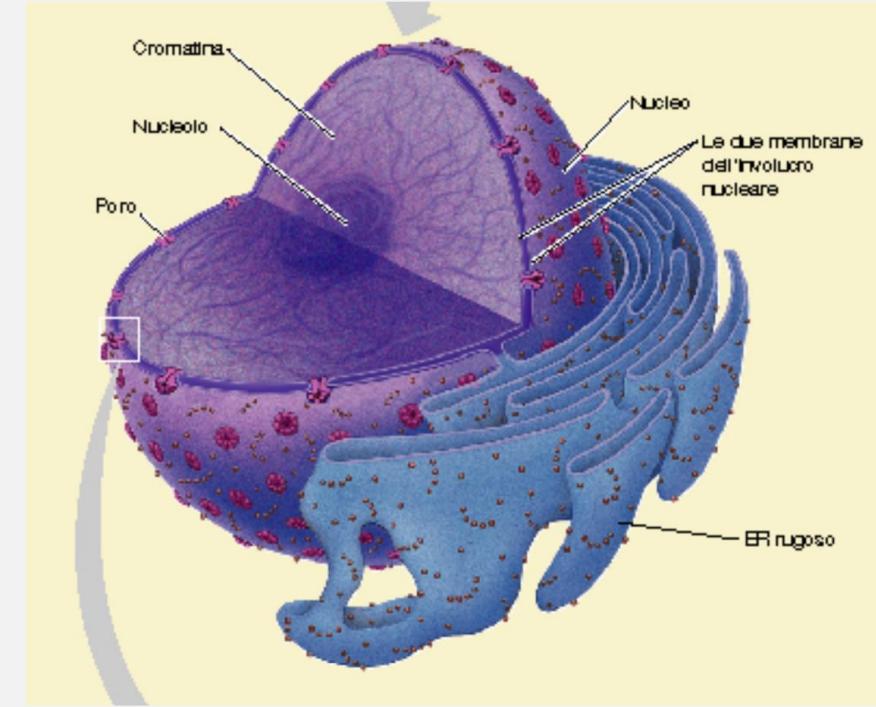
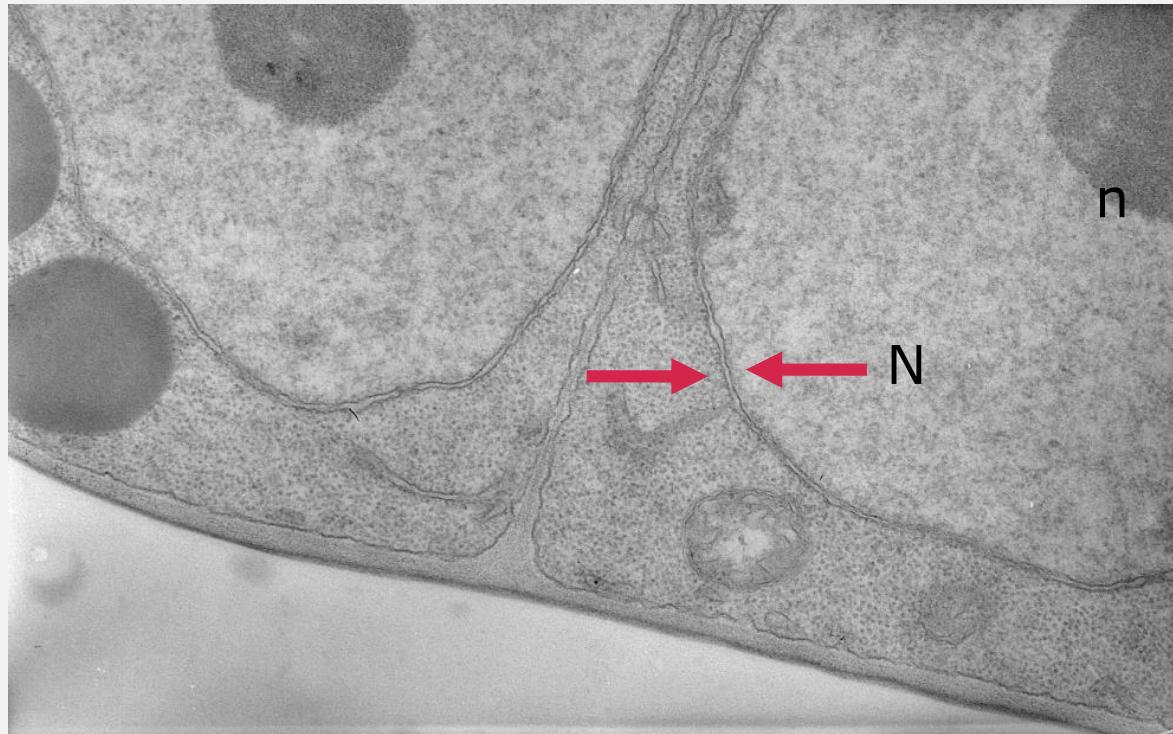
FUNZIONI

- Regola gli scambi tra ambiente interno ed esterno (parete) della cellula e partecipa alla costruzione dell'interfaccia nelle interazioni con altri organismi (symbiosi o parassitismo).
- Partecipa alla sintesi e all'assemblaggio dei polimeri della parete
- Sul plasmalemma sono localizzati diversi recettori che mediano segnali per il controllo della crescita e del differenziamento cellulare
- Con il reticolo endoplasmatico forma i plasmodesmi

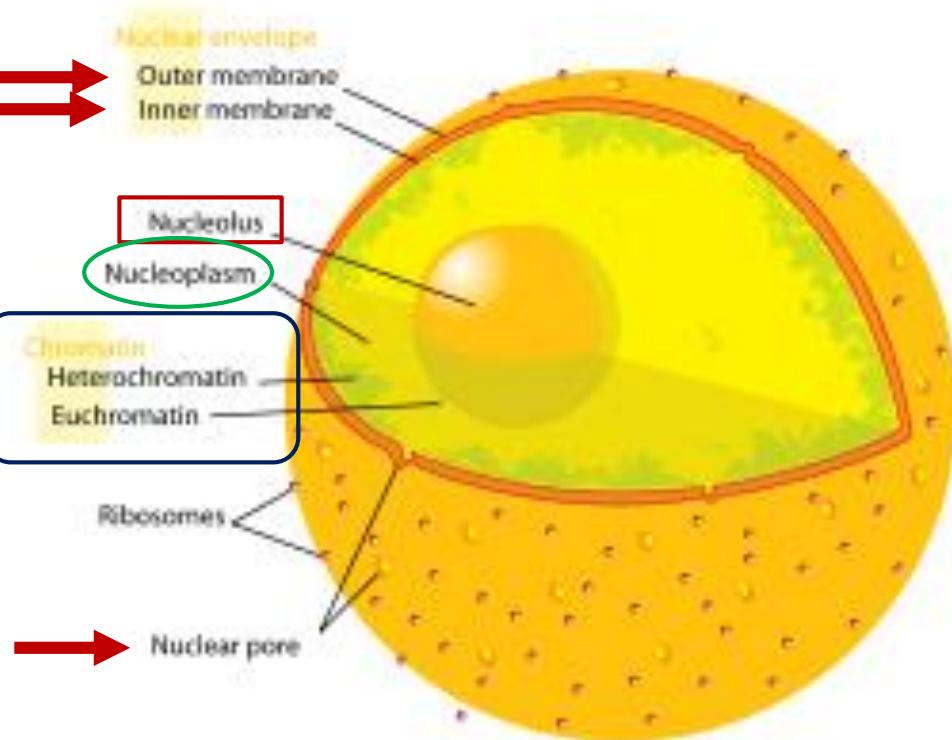


Il Nucleo: centro di controllo della cellula

- **Quasi tutte le cellule hanno un nucleo (N);**
- **L' involucro nucleare è costituito da due membrane (esterna ed interna)**



All'interno del nucleo è presente un liquido viscoso chiamato **nucleoplasma** e in esso alloggiano DNA e RNA.

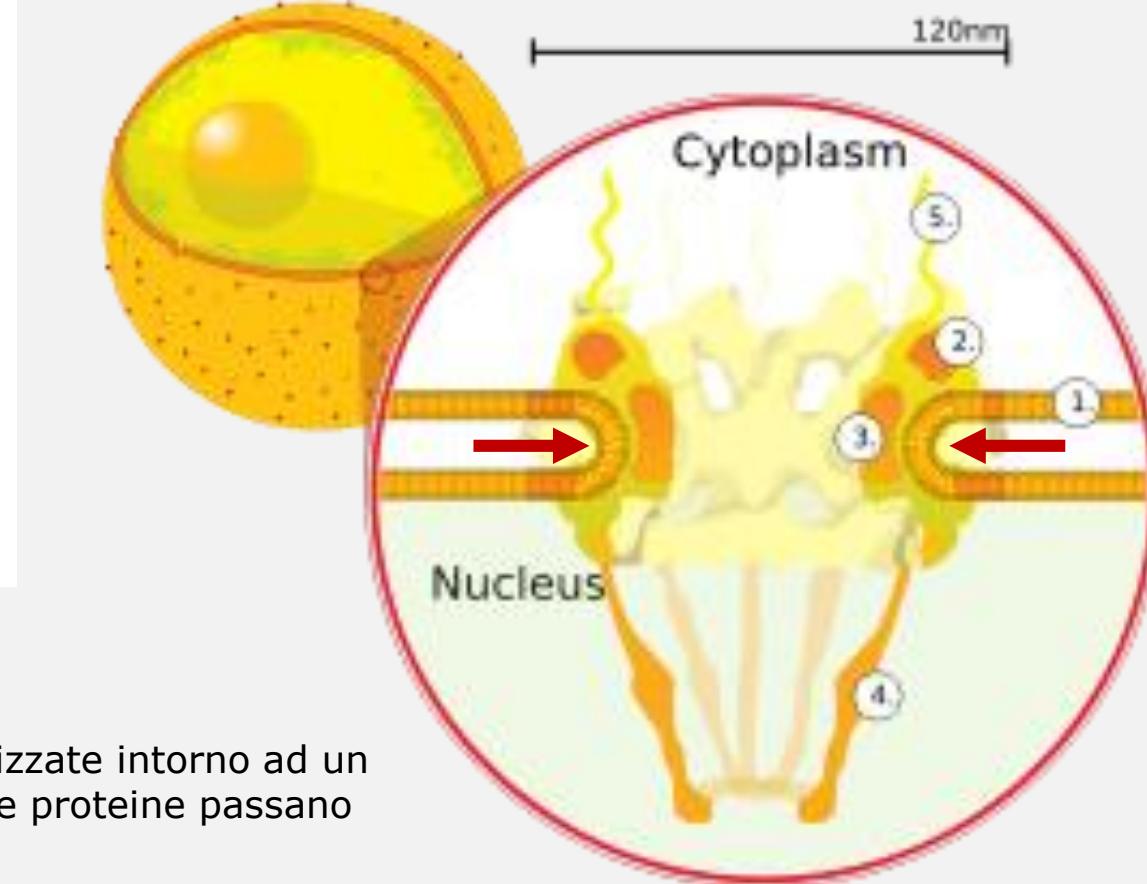


E' presente una doppia membrana punteggiata da pori, il DNA (complessato in cromatina) e il nucleolo (n).

I pori sono formati da un complesso di proteine organizzate intorno ad un ampio canale centrale che è la via attraverso cui RNA e proteine passano l'involucro nucleare.

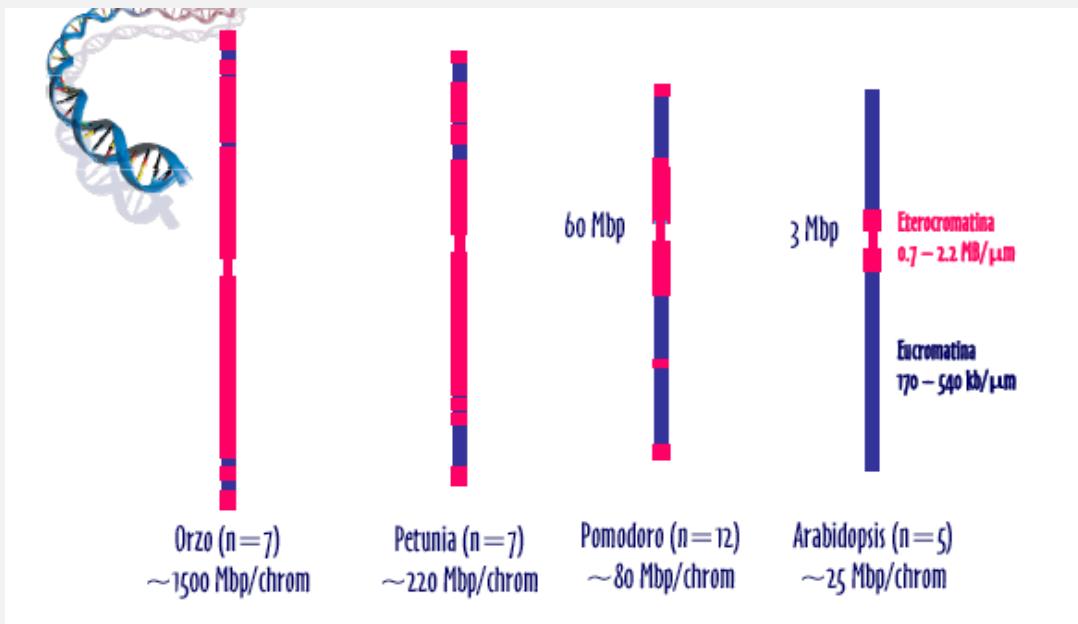
Per poter attraversare il complesso del poro, una molecola deve associarsi ad un recettore che agisce come shuttle per il passaggio attraverso il poro: una volta che il recettore di trasporto identifica e lega il cargo (riconosce una sequenza segnale specifica di importo/esporto nel nucleo), il complesso può essere importato od esportato dal nucleo

La doppia membrana nucleare si fonde a livello dei pori nucleari. Attraverso il poro possono diffondere sostanze di piccole dimensioni mentre molecole di maggiori dimensioni possono essere trasportate attivamente.

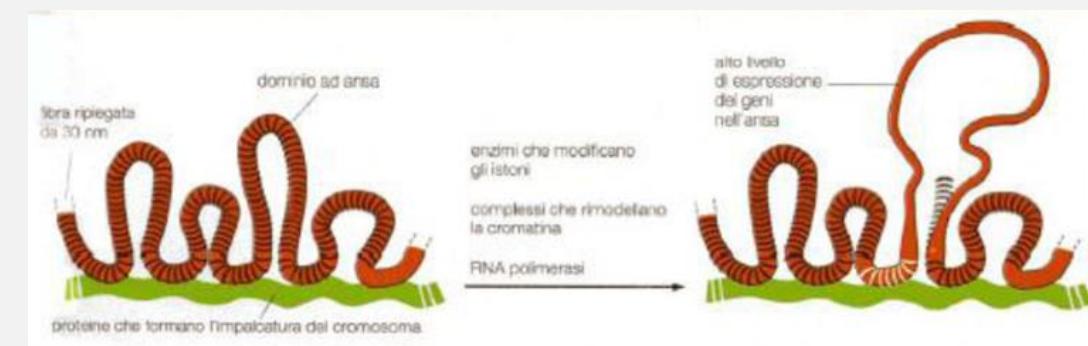
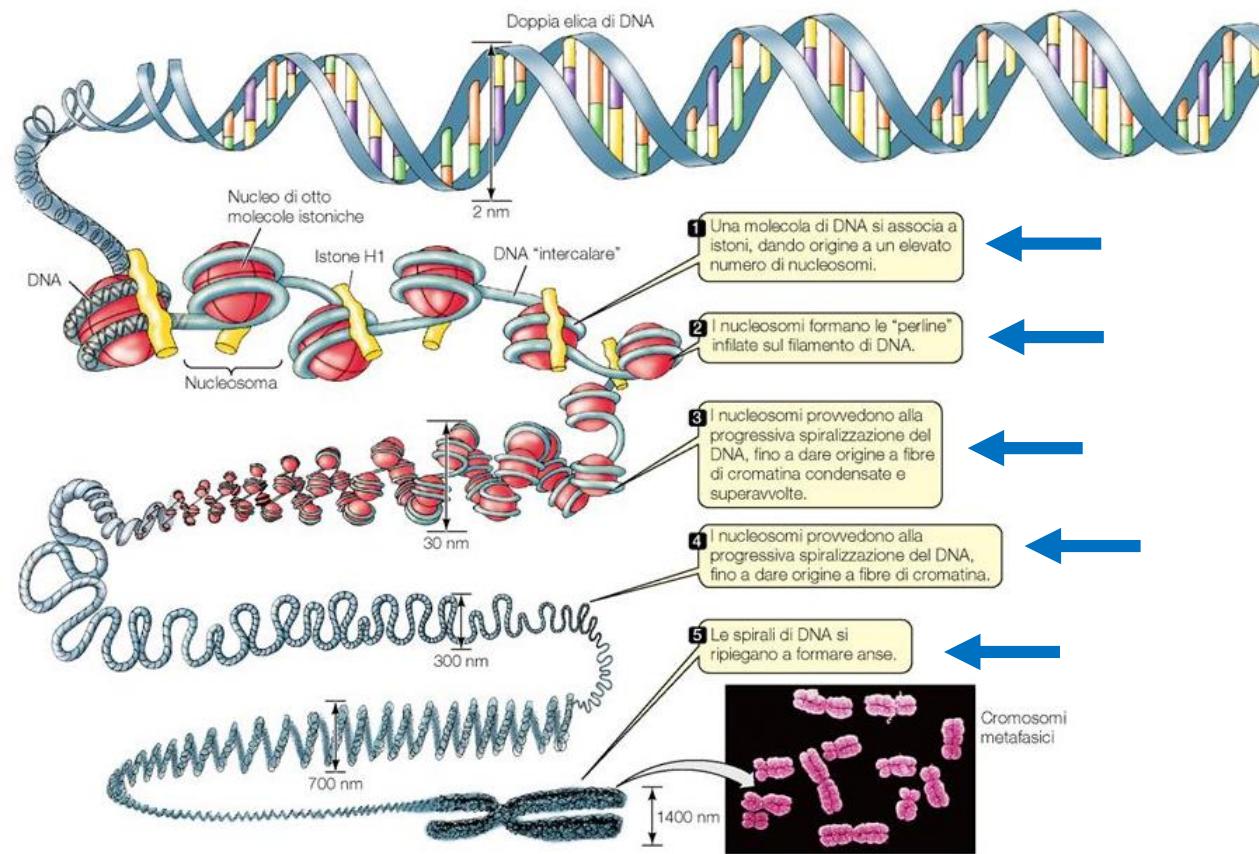


- Il DNA con le proteine istoniche forma la **Cromatina**

La cromatina durante la divisione cellulare si condensa in **Cromosomi**, in numero caratteristico a seconda della specie (uomo: $n = 23$; $2n=46$)



Il **DNA**, costituente dei **geni**, viene **trascritto** in **mRNA** che migra nel citoplasma dove viene **tradotto** in proteine. **rRNAs** e **tRNAs**, insieme agli mRNAs, prendono parte al processo di sintesi proteica



Nel nucleo si trovano uno o più **Nucleoli**

Appaiono come granuli rotondeggianti, non delimitato da membrana e circondato da uno strato di cromatina condensata.

Il nucleolo è costituito da tratti di DNA che codificano per l'RNA ribosomiale, da filamenti di rRNA nascenti e da proteine.

Partecipa alla sintesi di rRNA e all'assemblaggio dei ribosomi

Il nucleolo è presente durante quasi tutte le fasi del ciclo cellulare e scompare durante la mitosi, momento in cui la cellula interrompe la sintesi proteica e non necessita quindi di ribosomi.

Ricompare poi quando la cellula ha completato la divisione cellulare e riprende la sua attività di sintesi.

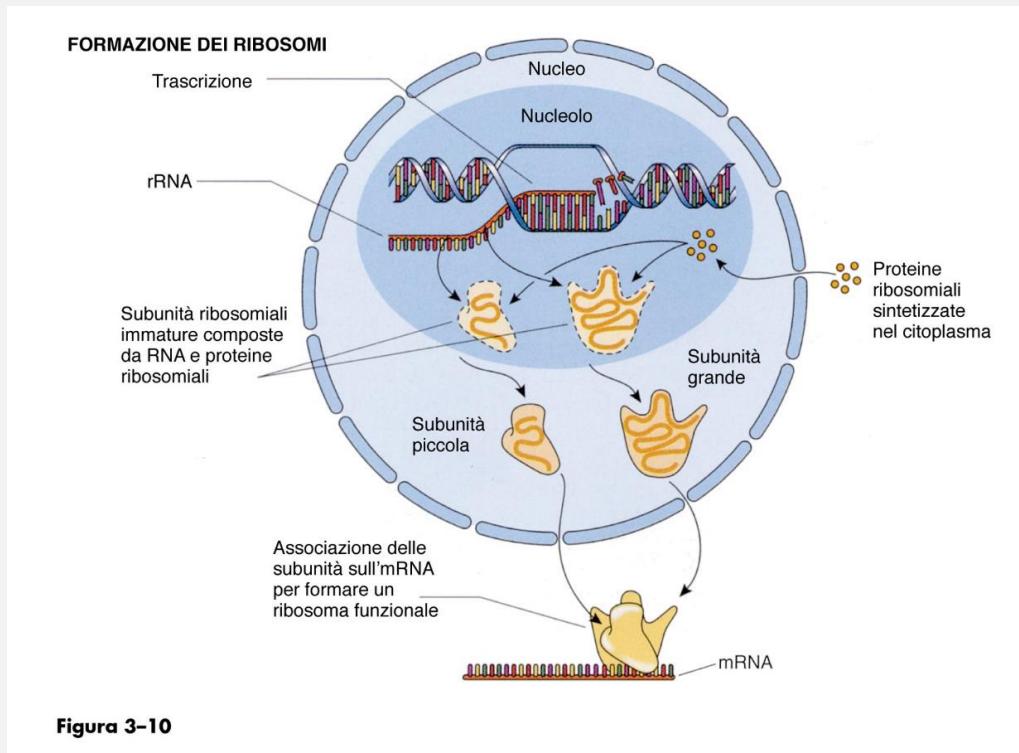
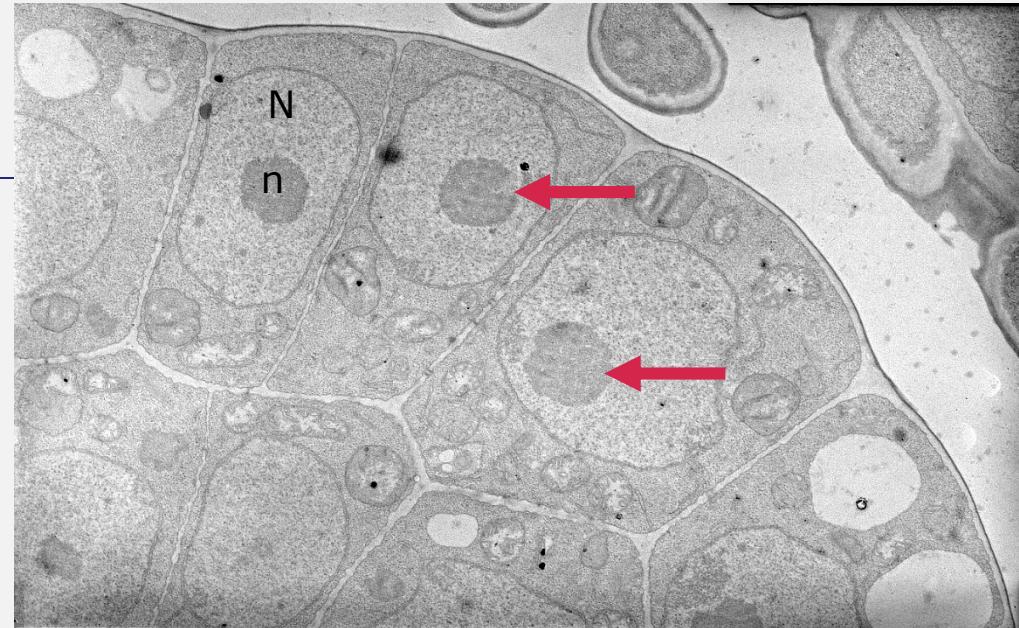
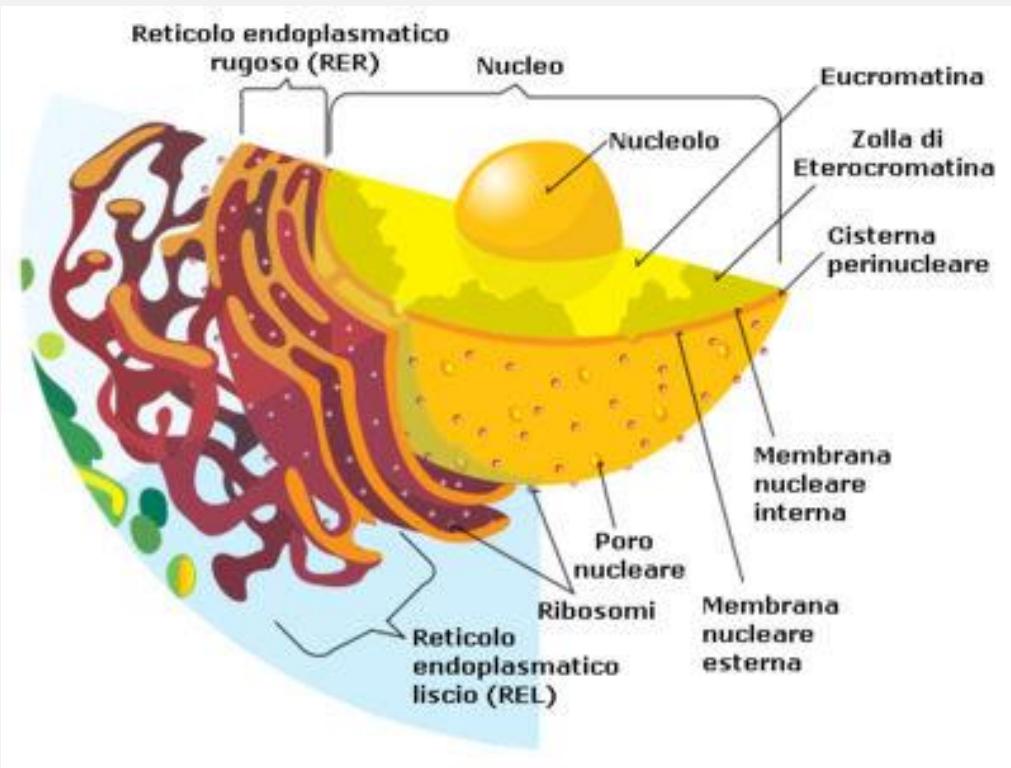


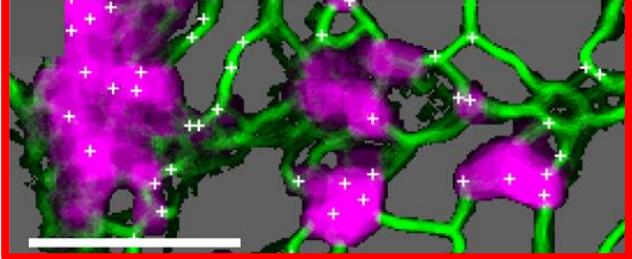
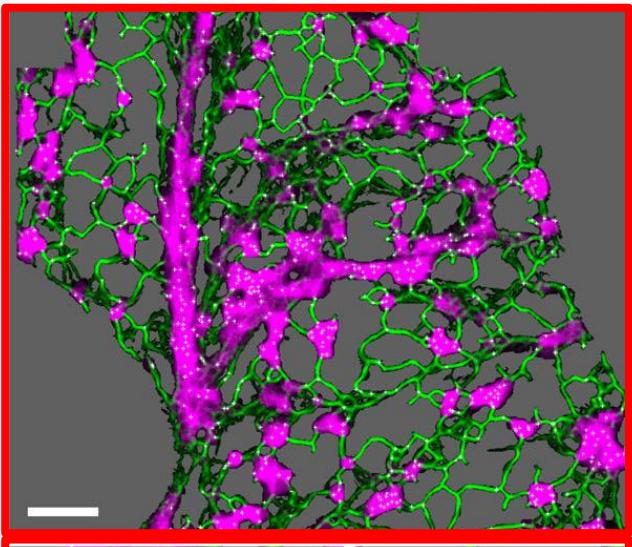
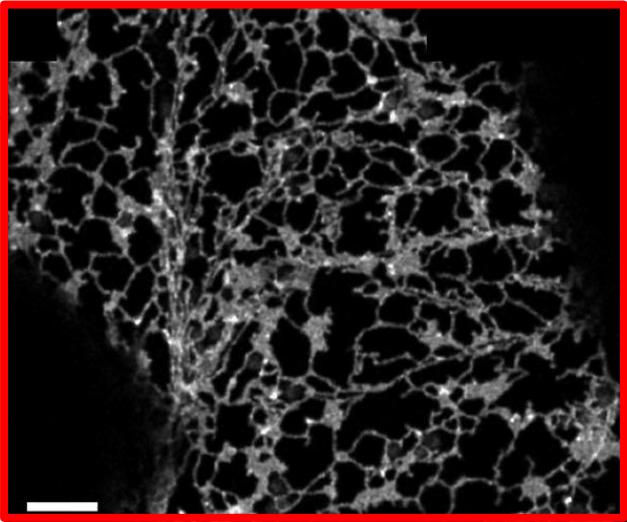
Figura 3-10

Il Reticolo Endoplasmatico

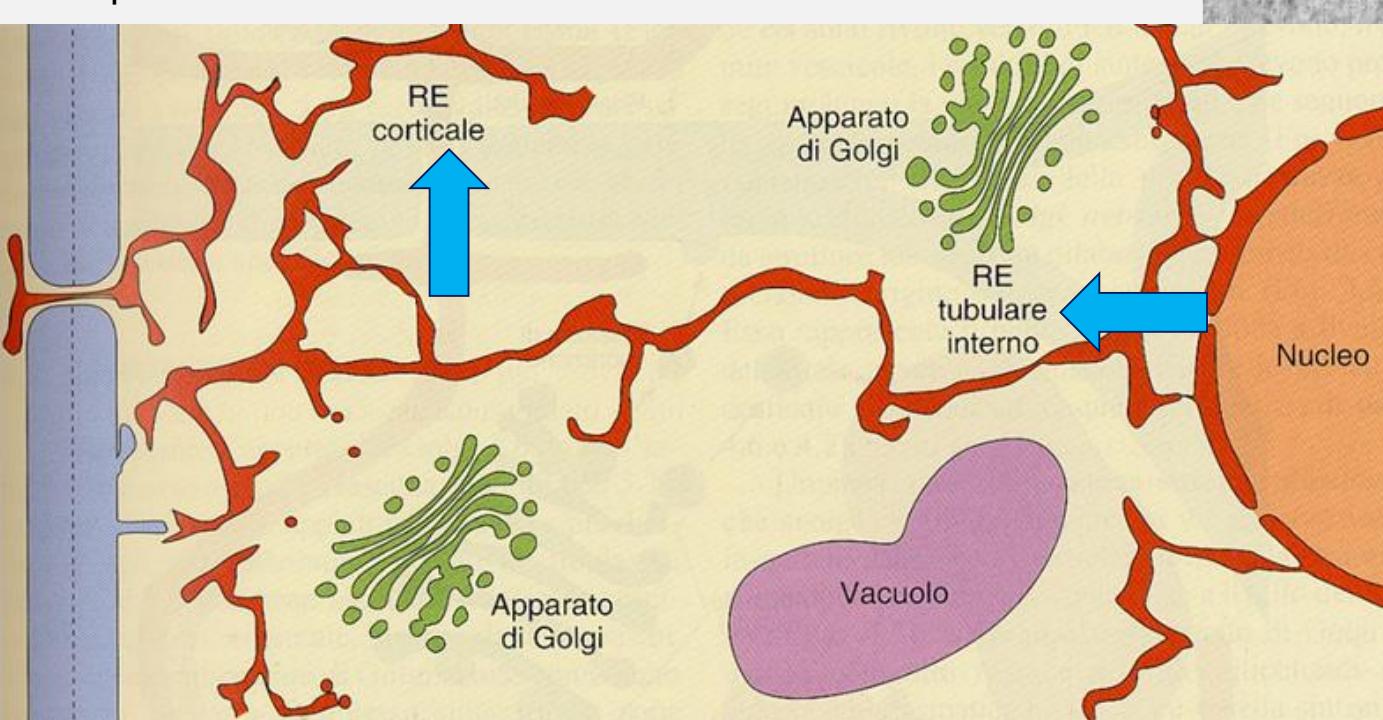
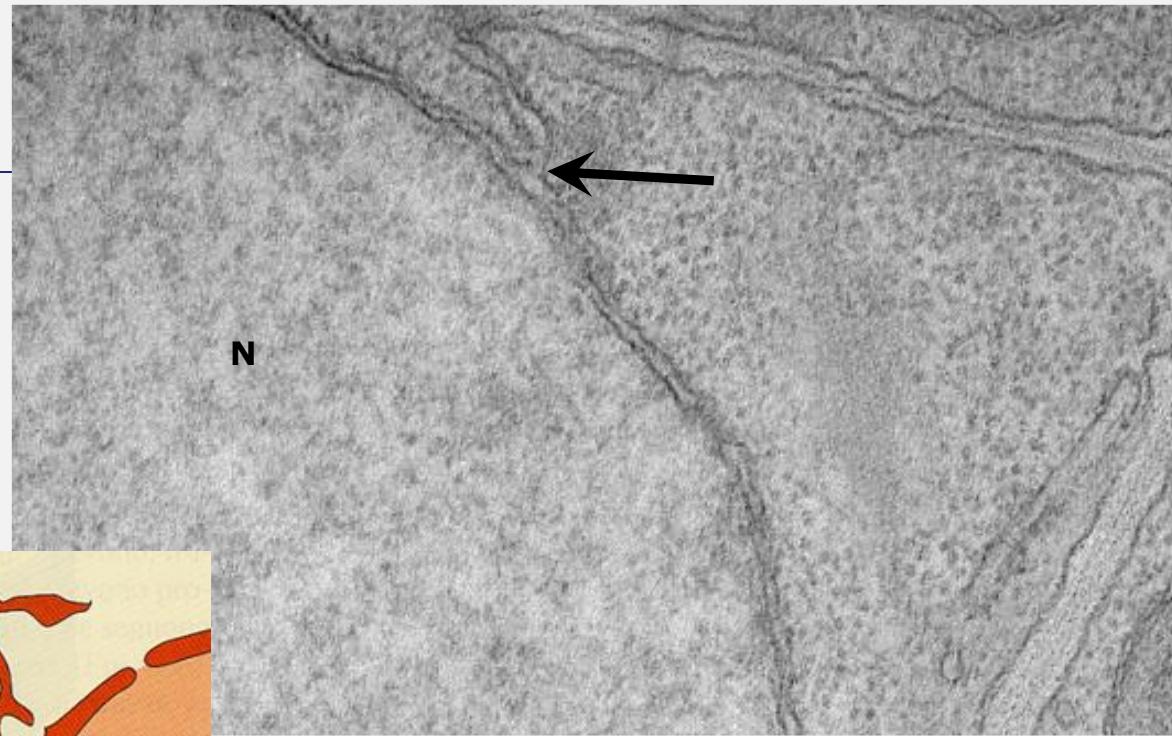


Il reticolo endoplasmatico (RE) è una struttura **cellulare** costituita da regioni citoplasmatiche delimitate da membrana che possono avere la forma di cisterne o tubuli.

Lo spazio interno che si identifica tra le pieghe del reticolo è detto *lume* e presenta una serie di **enzimi** che catalizzano diverse **reazioni chimiche**.



I tubuli e le cisterne dell'ER costituiscono una rete tridimensionale che decorre in tutta la cellula e si connette con la doppia membrana nucleare.

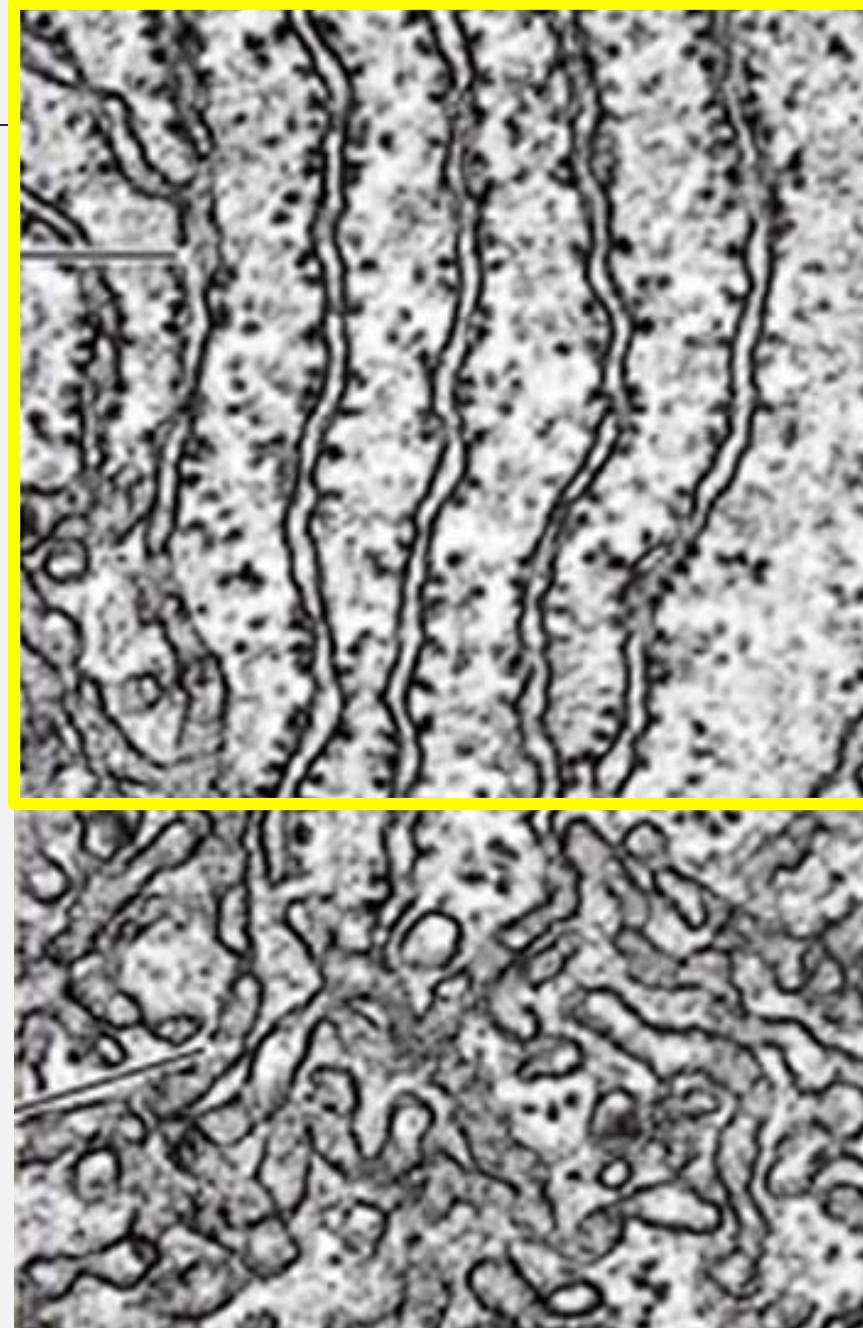
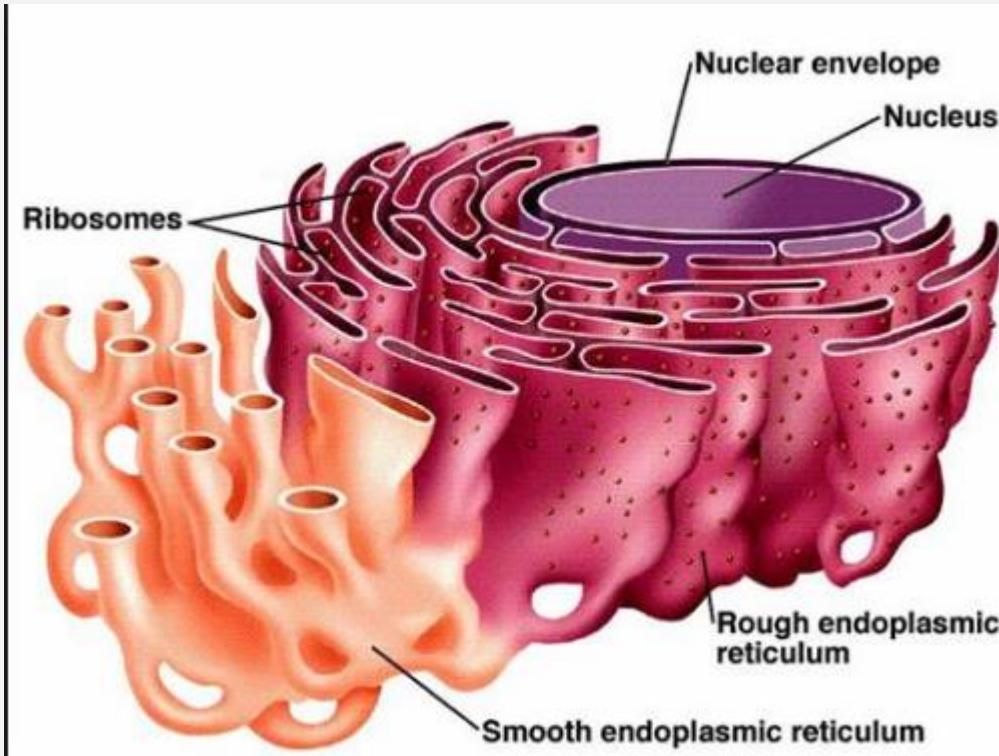


Il RE che si estende nel resto della cellula è detto **interno** è molto più mobile e costituisce una vasta superficie di membrana disponibile per l'incorporazione delle proteine.

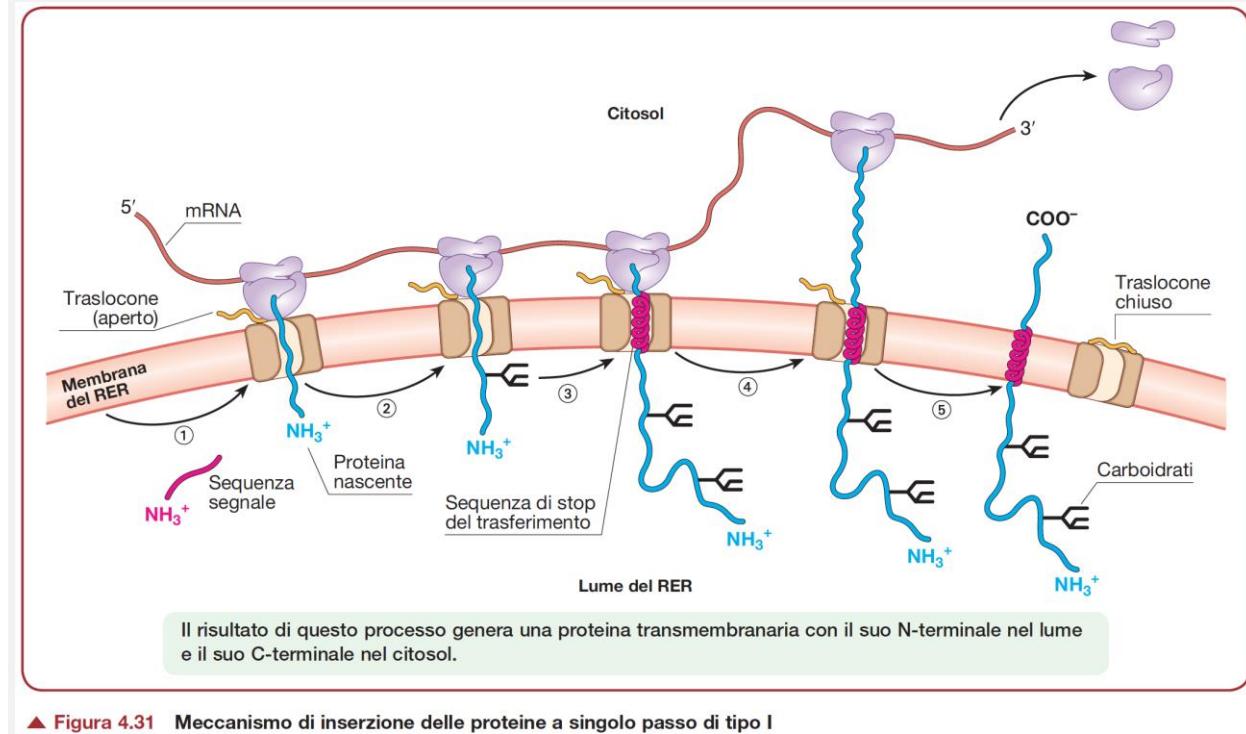
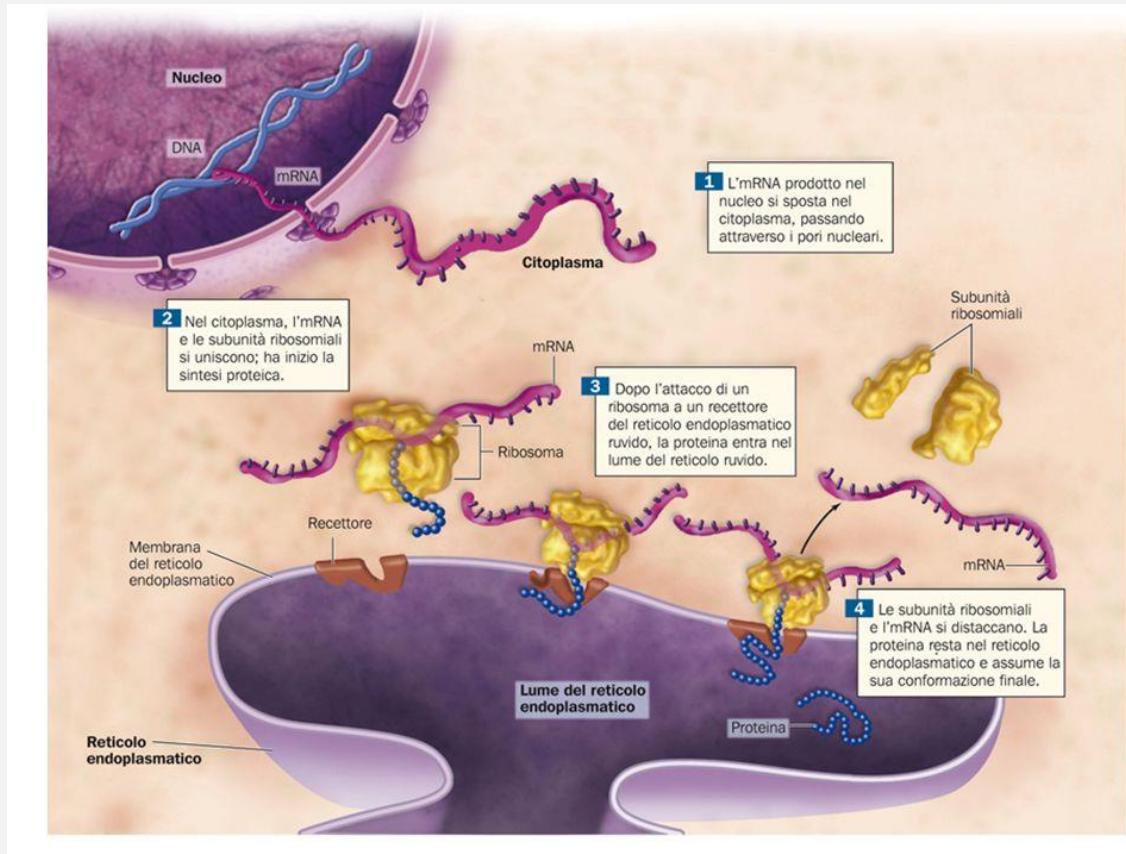
Vi sono due tipologie di RE differenti per morfologia e funzione e il cui prevalere dell'uno sull'altro dipende dalla tipologia cellulare di cui fa parte: il **reticolo endoplasmatico rugoso** (RER) e **liscio** (REL).

Reticolo endoplasmatico rugoso

Il reticolo endoplasmatico rugoso è un **organello** della cellula eucariote sia vegetale che animale; è costituito da una serie di membrane piegate una sull'altra a formare cisterne, mentre il termine rugoso si riferisce al fatto che il versante citoplasmatico delle sue membrane sia punteggiato di **ribosomi**.



Compito del ribosoma è quello di sintetizzare **proteine** che saranno contenute nel lume o inserite nella membrana dell'organello.



▲ Figura 4.31 Meccanismo di inserzione delle proteine a singolo passo di tipo I sulla membrana del RER.

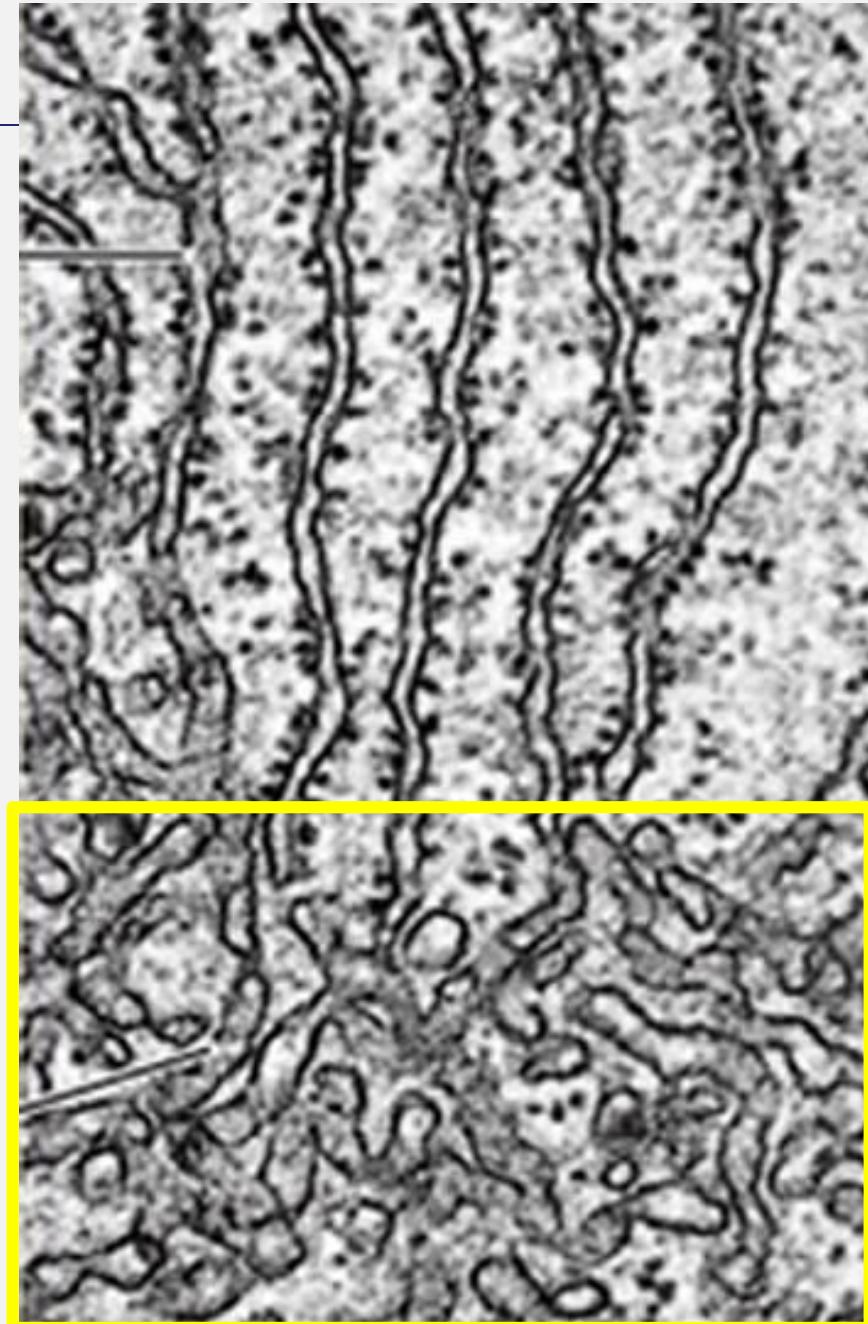
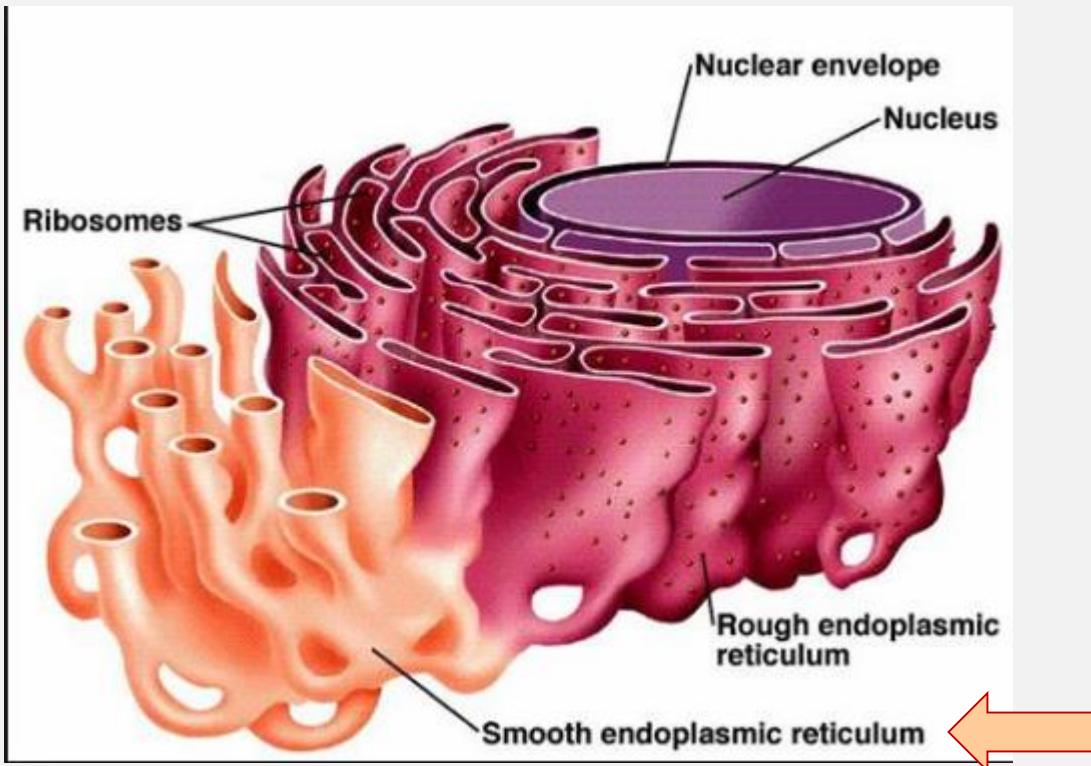
Una volta ottenuta la proteina, questa viene inviata, attraverso vescicole, all'**Apparato di Golgi**, dove verrà modificata.

Tutti i movimenti delle vescicole possono essere compiuti grazie al coordinamento con il citoscheletro.

Reticolo endoplasmatico liscio

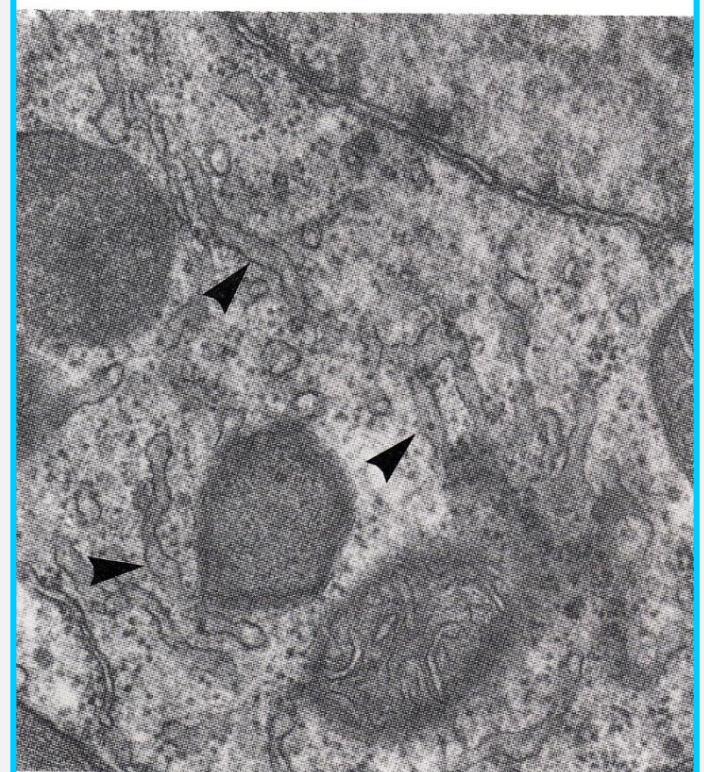
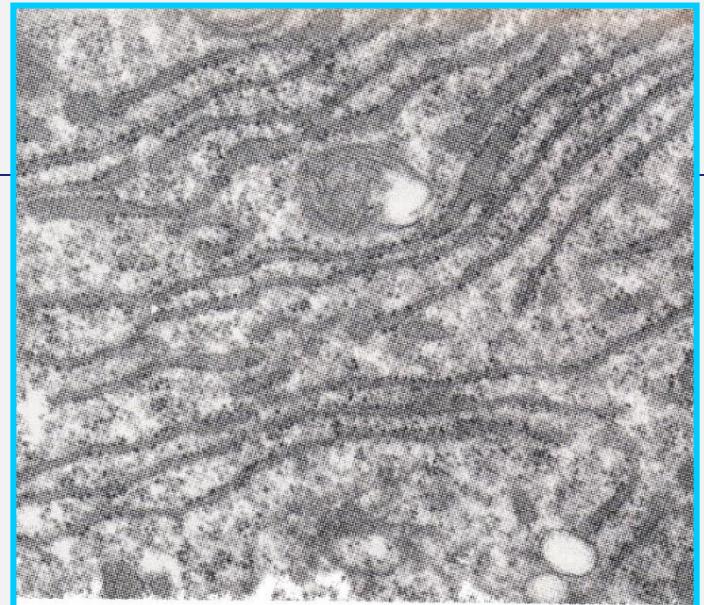
E' privo di ribosomi.

Il REL è costituito da un sistema di sacche tubolari. E' il maggior responsabile della **sintesi dei lipidi** che servono per costruire e riparare tutte le membrane della cellula.



Funzioni dell'ER:

- Sintesi, assemblaggio e smistamento di proteine di membrana e di secrezione (**RER**);
- sintesi di proteine di riserva (semi) (**RER**);
- Biosintesi dei lipidi (**REL**);
- Biogenesi dei vacuoli (**REL**);
- regolazione della concentrazione del calcio citosolico (**REL**)

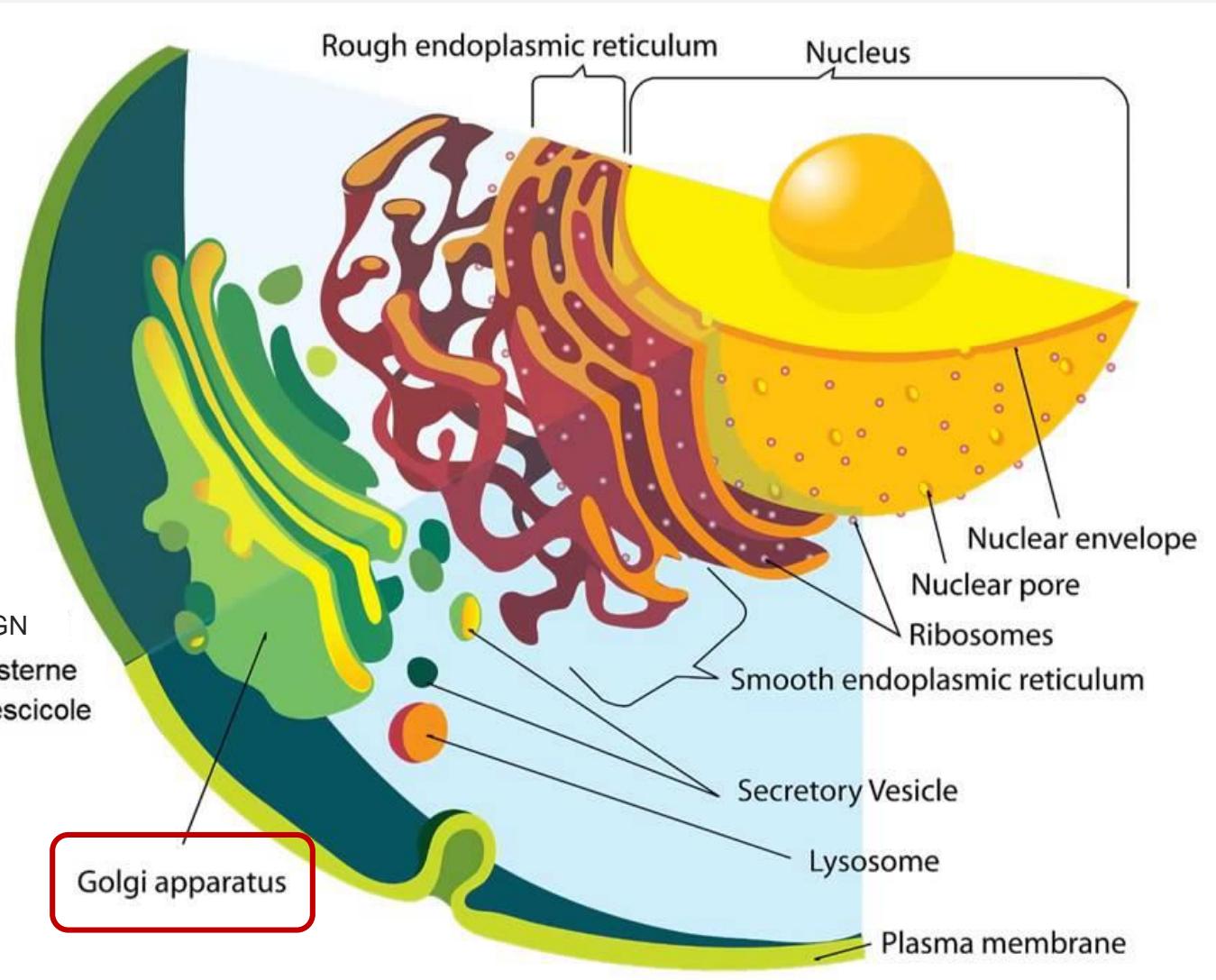
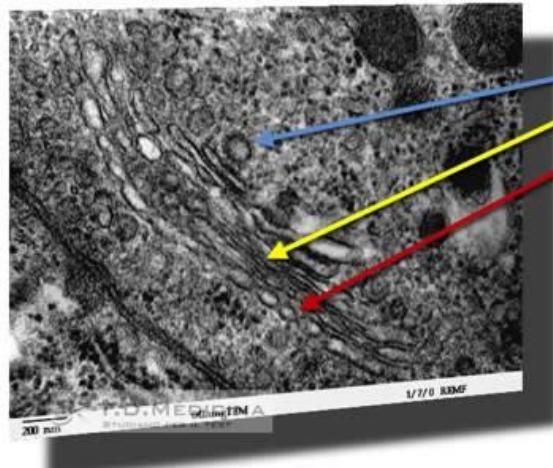


Apparato di Golgi



Scoperto nel 1898 da
Camillo Golgi

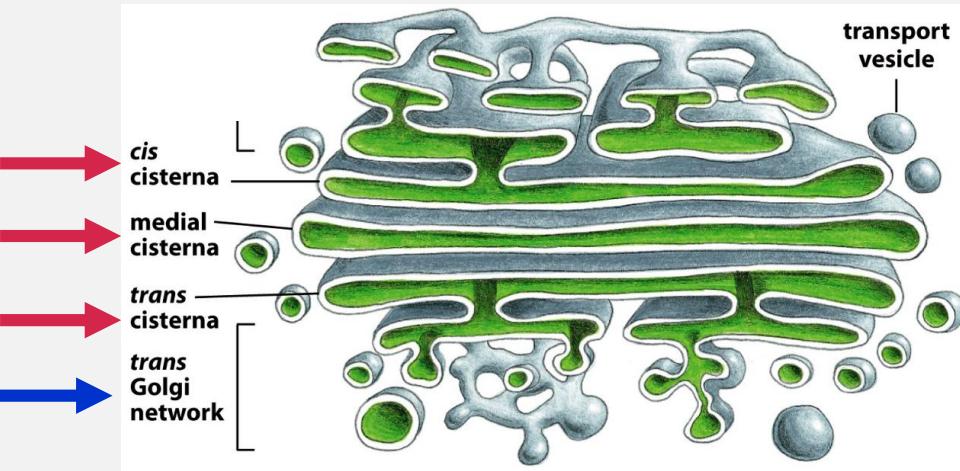
Considerato inizialmente
un artefatto



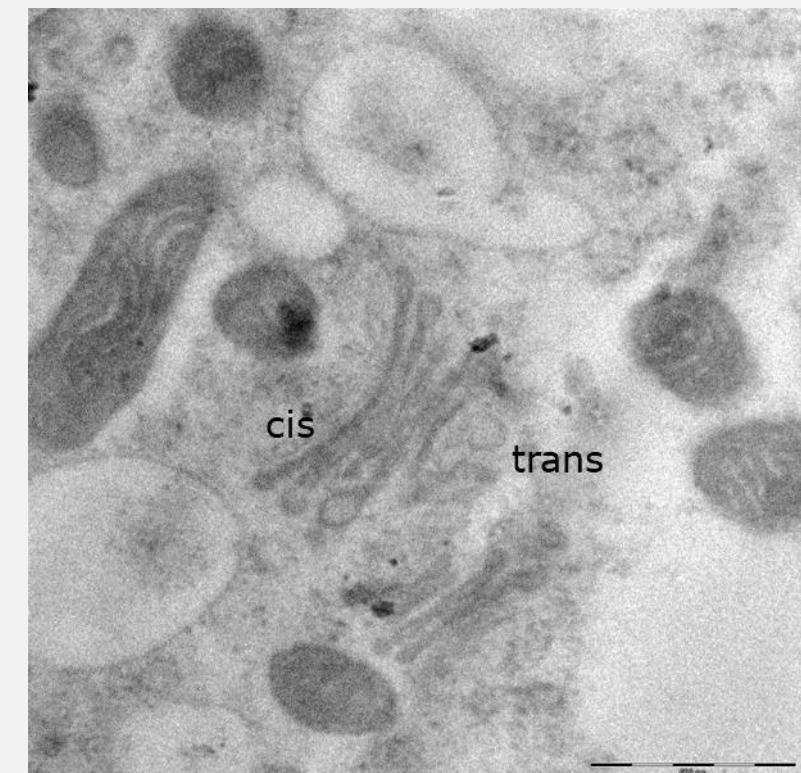
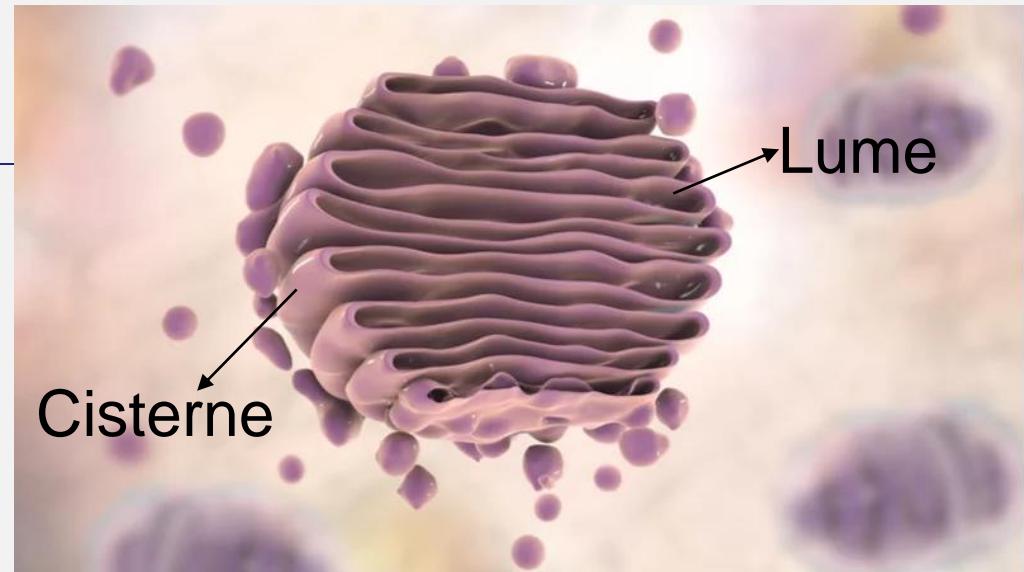


Costituito da un insieme di cisterne morfologicamente e funzionalmente polarizzate:

- **CIS** rivolte verso il RER da cui ricevono tramite vescicole i prodotti di sintesi (faccia di formazione);
- **MEDIAL**
- **TRANS** (faccia di maturazione)

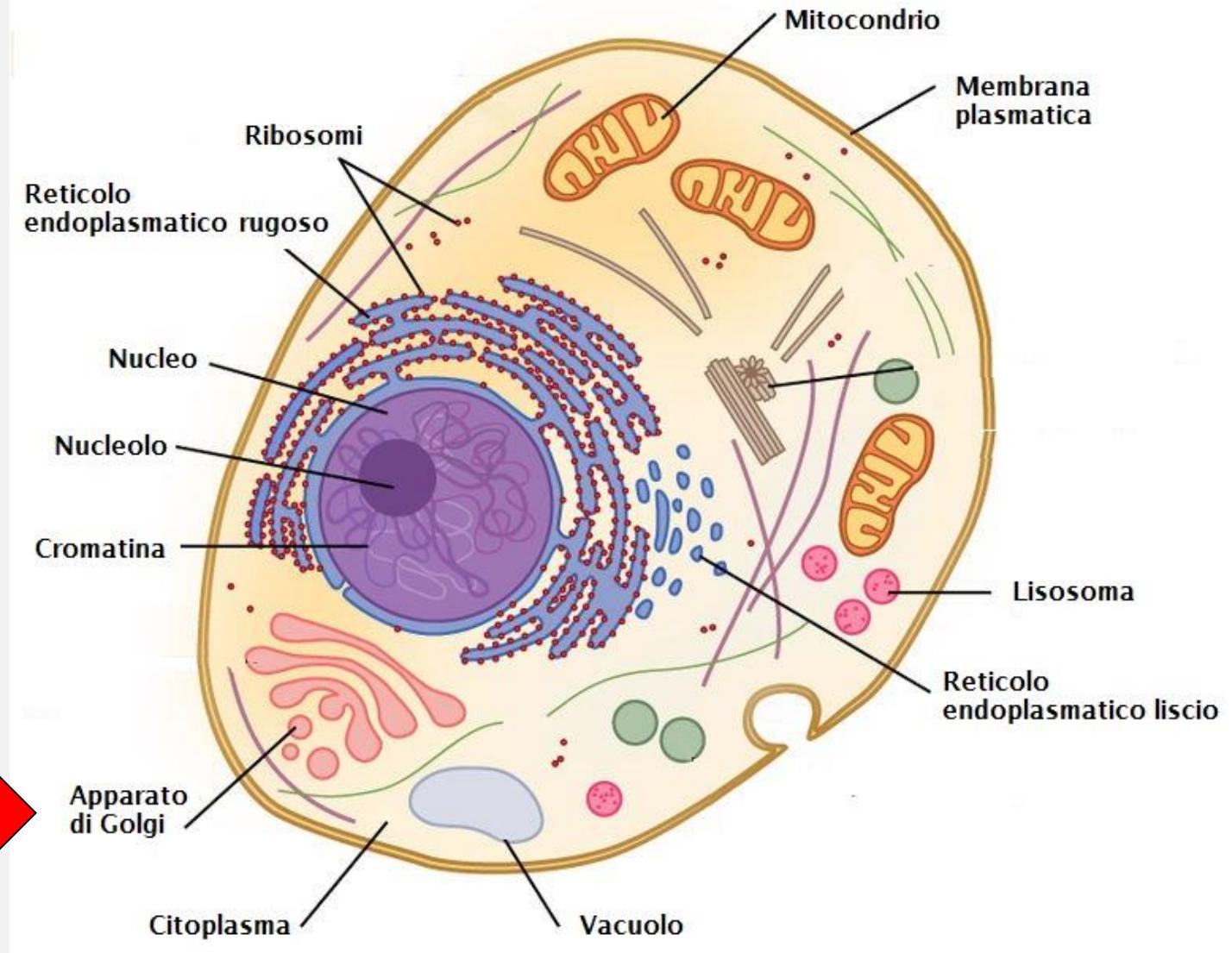
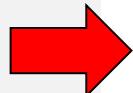


Associata al lato TRANS della pila si localizza il **Trans-Golgi-Network** (TGN) da cui si originano vescicole con proteine destinate al vacuolo, alla membrana plasmatica o secrete all'esterno verso la parete cellulare o indirizzate verso altri organelli .





Nelle cellule animali comunemente si trova un complesso di Golgi in posizione perinucleare

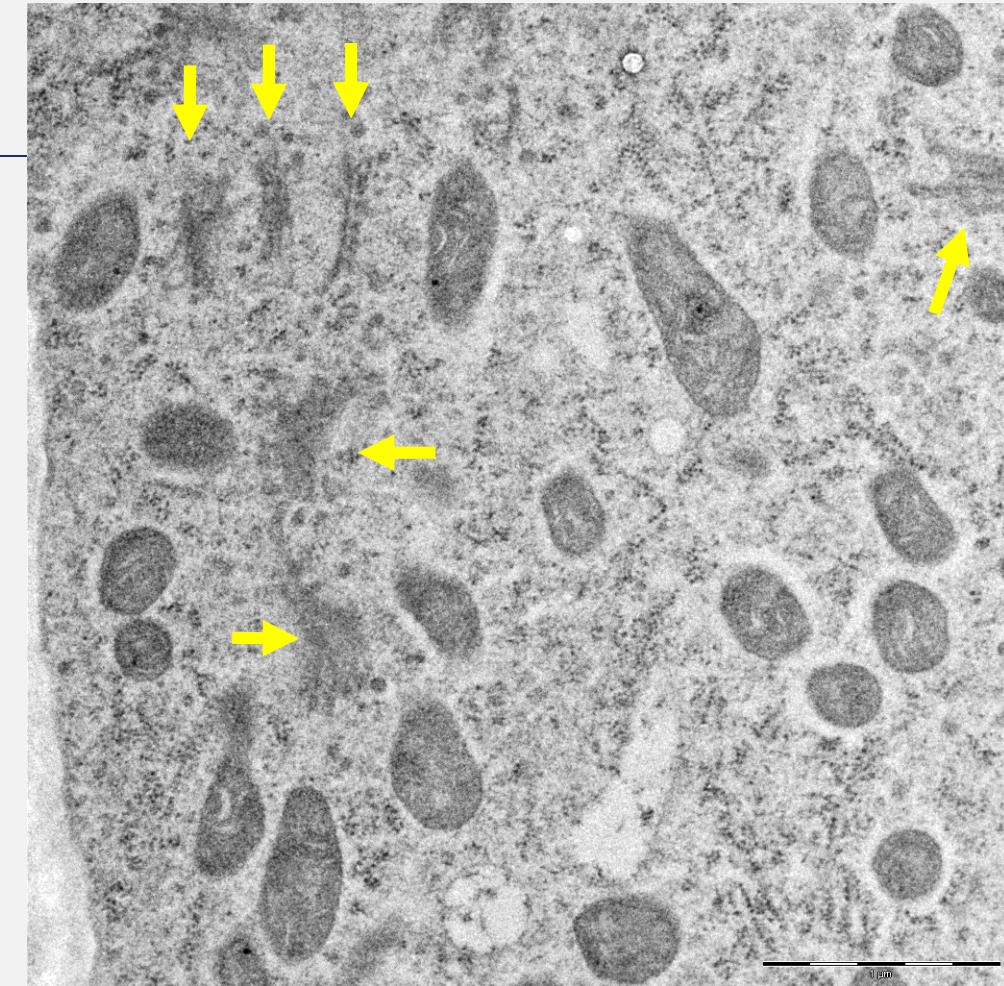
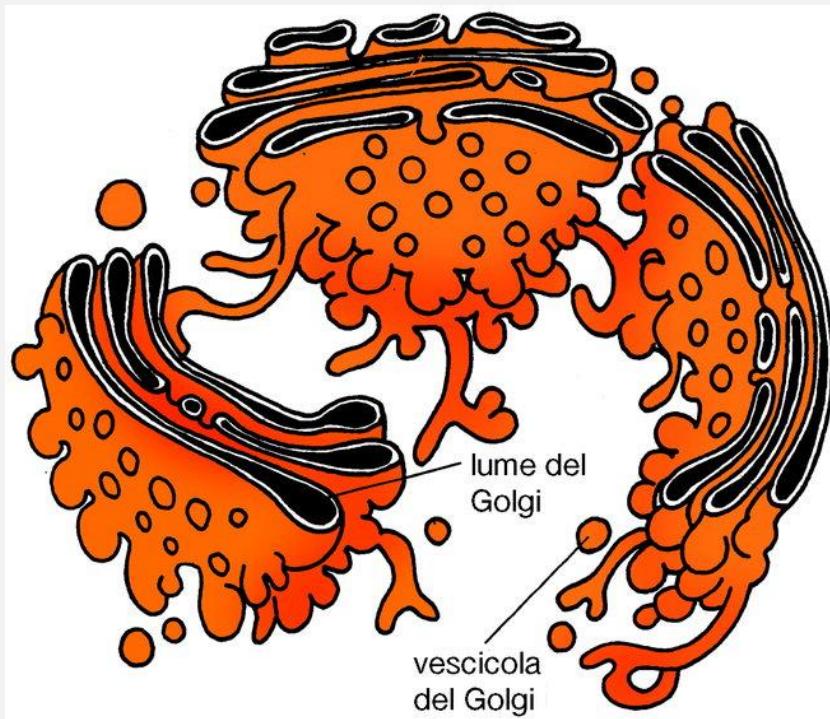




Nelle cellule vegetali si trovano molti corpi di Golgi (Golgi bodies) o dittiosomi.

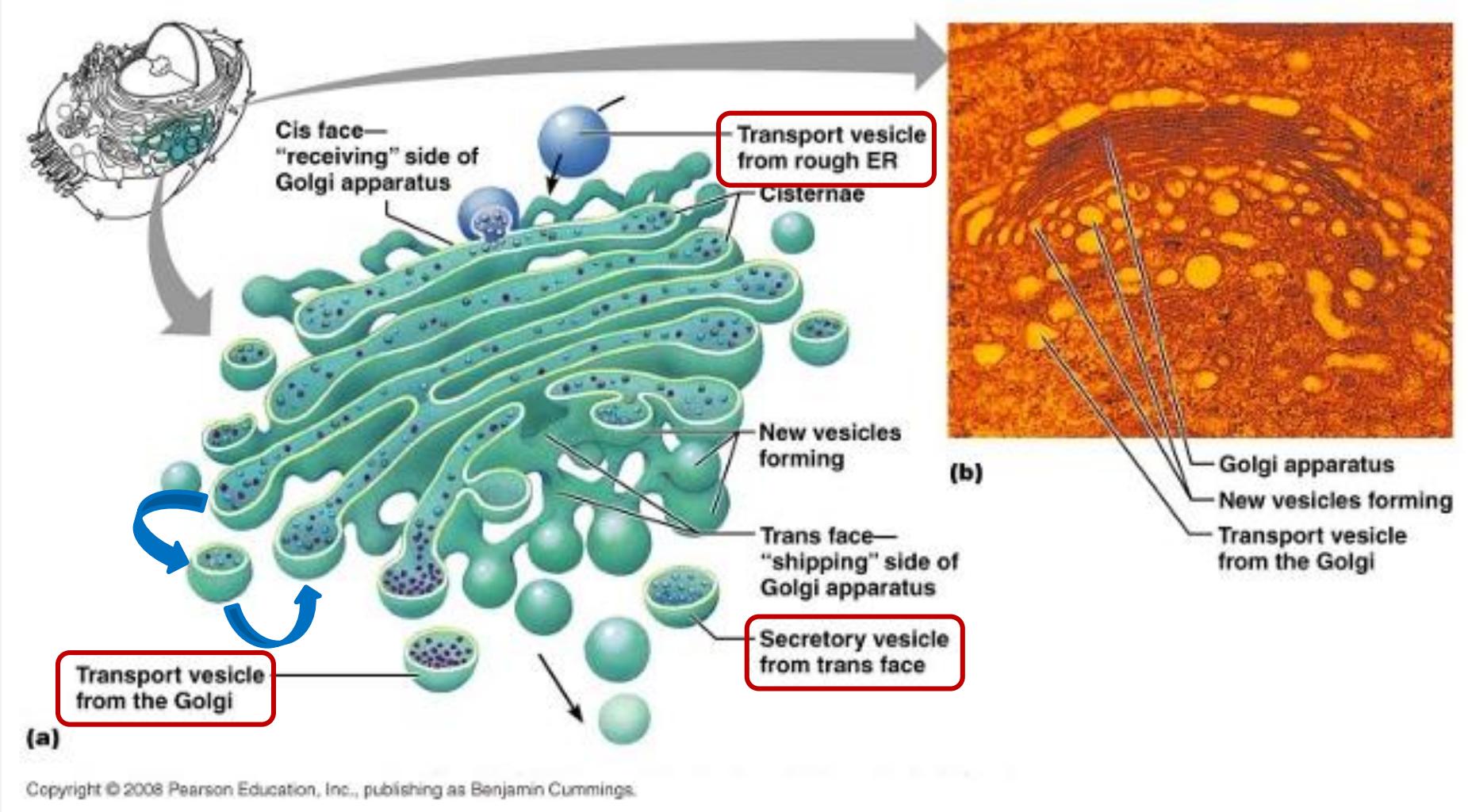
L'apparato di Golgi è costituito dall'insieme complessivo dei dittiosomi in una cellula.

Ogni dittiosoma è composto da numerose pile ciascuna costituita da più cisterne sovrapposte e distribuite in tutto il citoplasma.



Nelle piante il numero di dittiosomi del Golgi varia dal tipo di cellula e dallo stadio di sviluppo.

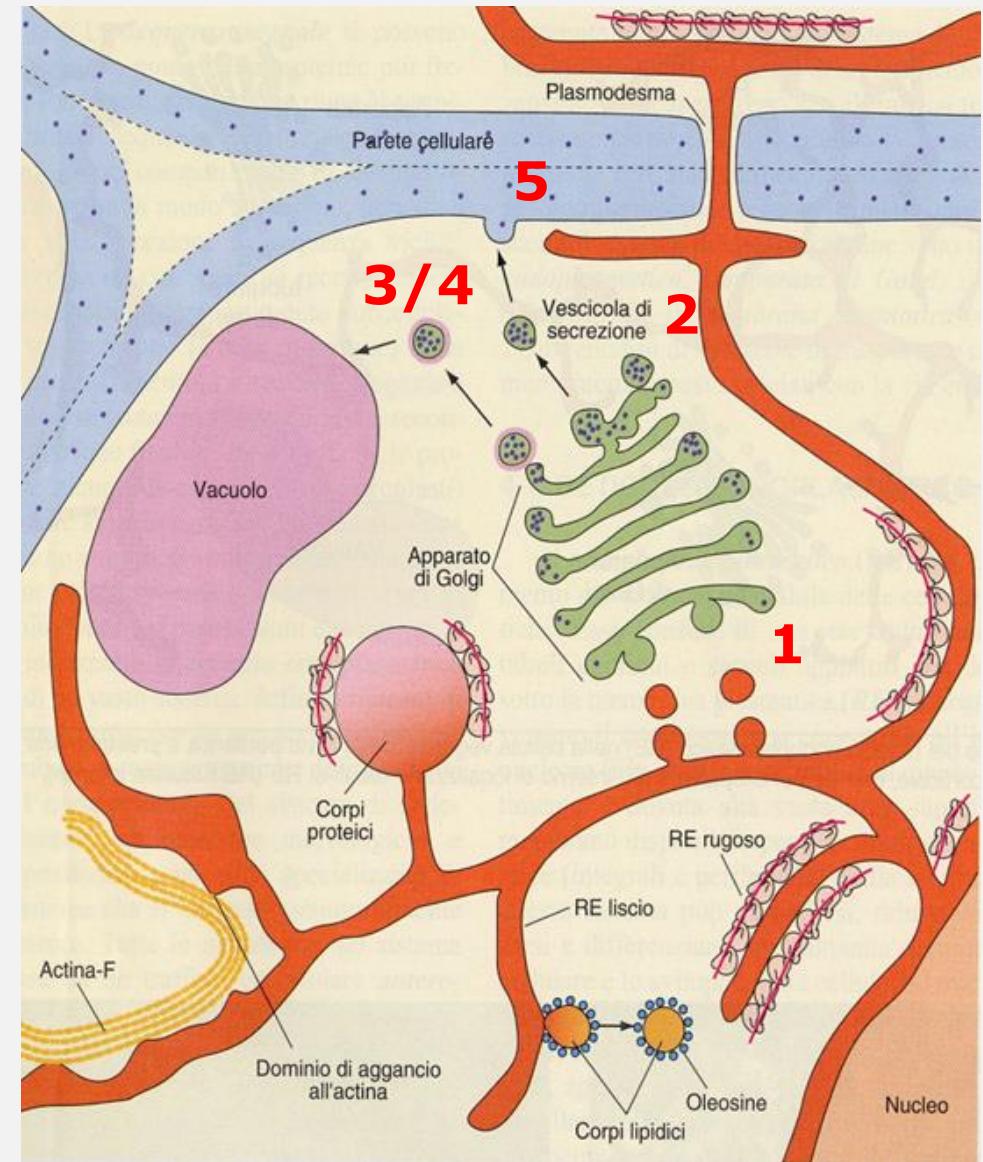




Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Funzioni dell'apparato di Golgi :

- 1) maturazione delle proteine sintetizzate al livello del RER (glicoproteine);
- 2) ruolo chiave nelle vie di secrezione verso la membrana plasmatica e nelle vie di endocitosi;
- 3) sintesi di glicolipidi di membrana plasmatica e vacuolare;
- 4) biosintesi e smistamento degli enzimi vacuolari e delle proteine di riserva;
- 5) sintesi e assemblaggio polisaccaridi della matrice di parete;



1)

Nelle cellule animali le cisterne che costituiscono l'Apparato di Golgi formano un'unica struttura associata alla zona perinucleare.

Nelle piante il numero di dittiosomi del Golgi varia dal tipo di cellula e dallo stadio di sviluppo.

2)

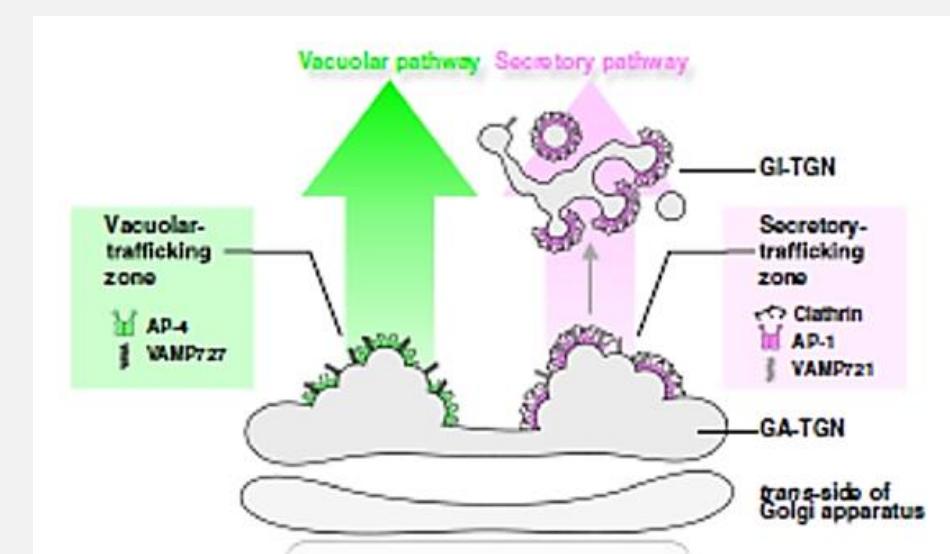
Durante la mitosi, nelle cellule animali, l'Apparato di Golgi si disassembra e la secrezione si arresta. Si riforma durante la fine della divisione cellulare.

Nelle piante l'Apparato di Golgi non si disassembra ma partecipa attivamente alla formazione del setto di divisione tra le due cellule figlie.

3)

Negli animali il trans Golgi Network è parte integrante dell'Apparato di Golgi a cui è sempre associato

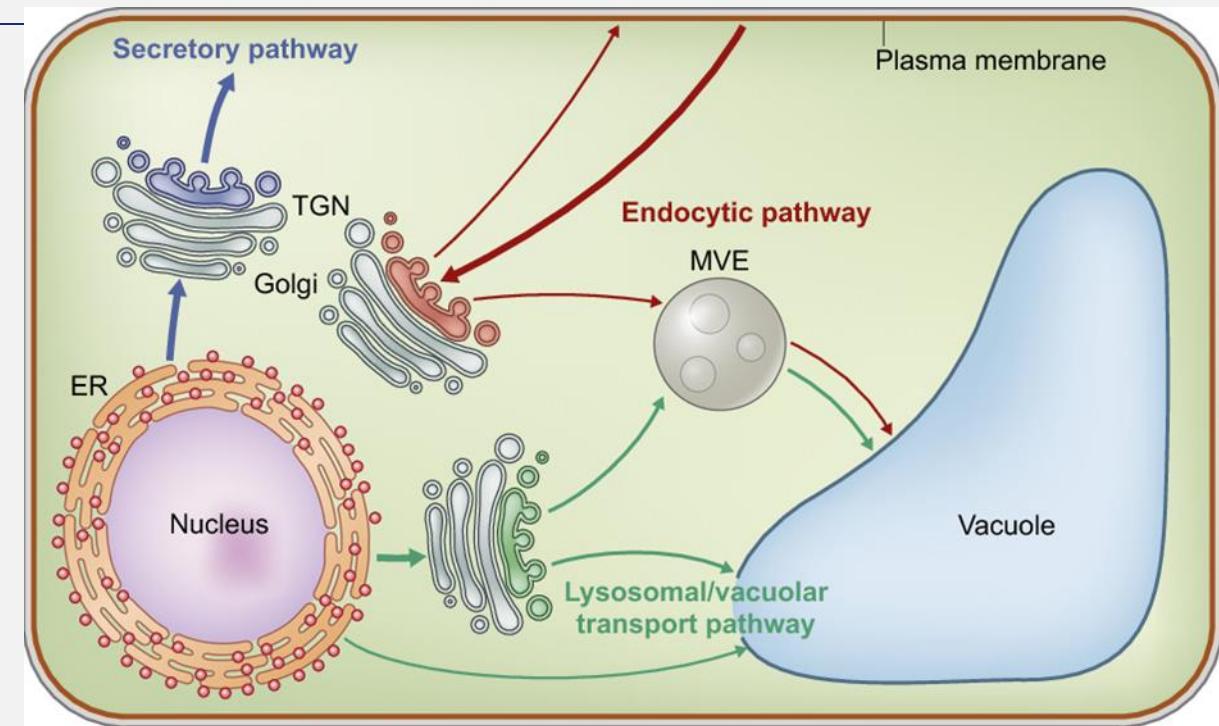
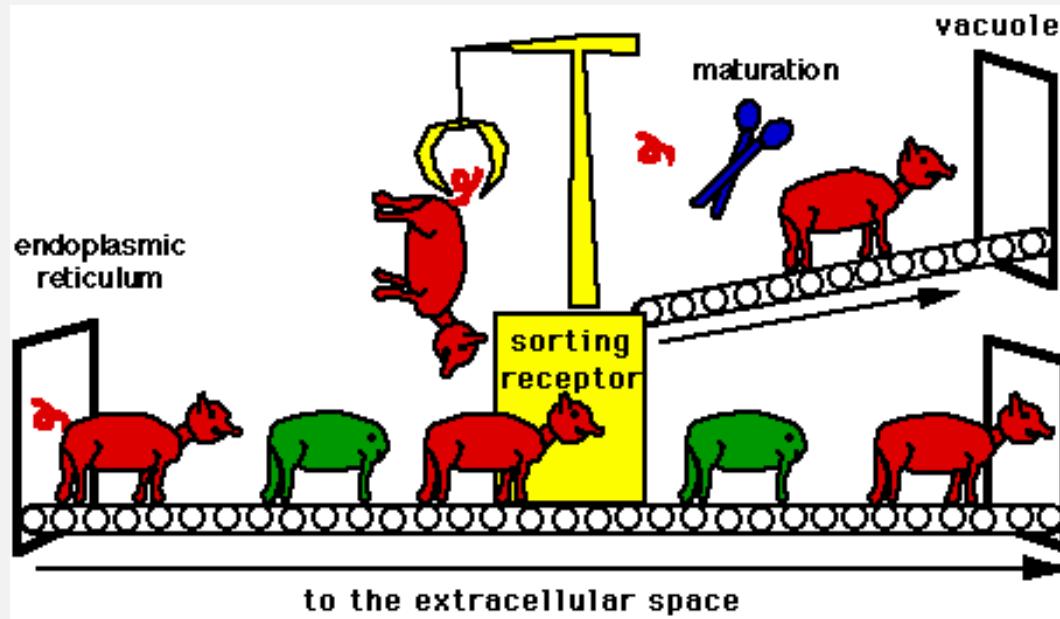
Nelle piante il Trans Golgi Network può essere un compartimento indipendente che è in grado di associarsi/dissociarsi dall'Apparato di Golgi.



Il sistema di endomembrane

Tipi diversi di membrane delimitano compartimenti diversi: la caratteristica composizione lipidica e proteica di ogni tipo di membrana e di compartimento ne determina un ruolo particolare e specifico.

Lipidi e proteine solubili e di membrana devono essere smistati ai diversi compartimenti cellulari; ciò è necessario per garantire l'identità strutturale e metabolica della cellula e l'espletamento delle funzioni cellulari.



Nella cellula è necessario un meccanismo di smistamento (sorting) e di direzionamento (targeting) di ogni singola proteina al compartimento di destinazione.

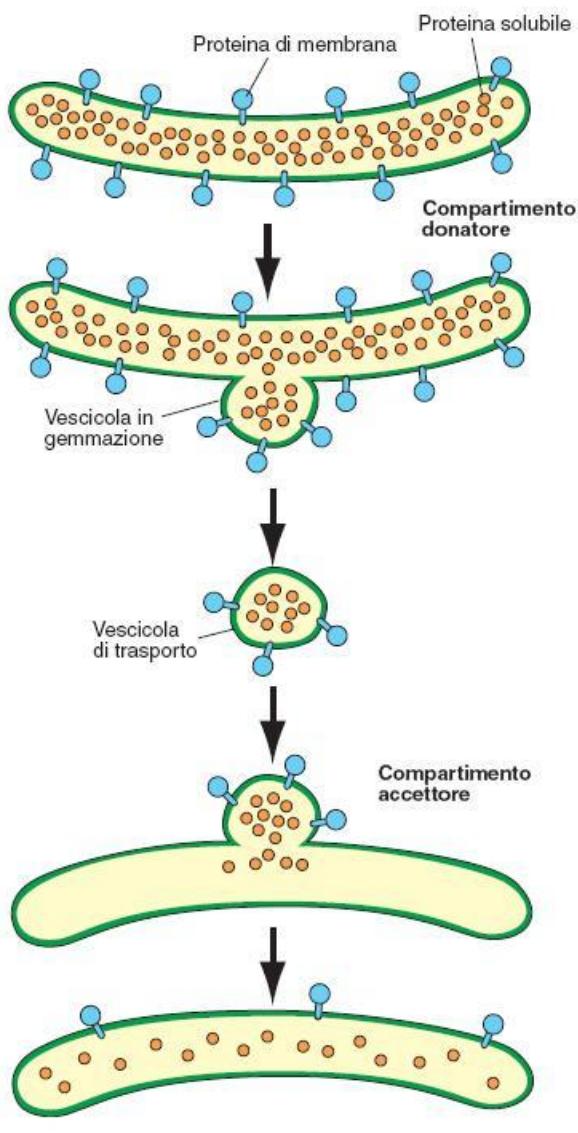
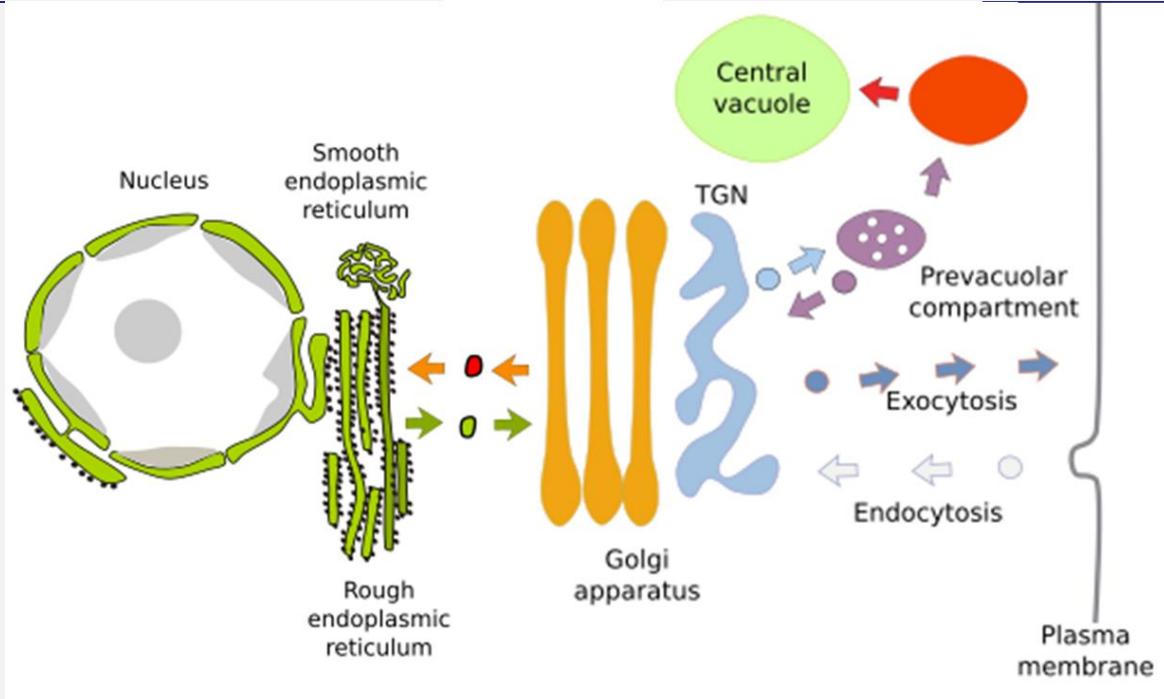


Figura 4.9
Formazione di una vesicola di trasporto a livello della membrana del compartimento donatore e fusione con la membrana del compartimento accettore. È da notare il mantenimento dell'orientamento topologico delle proteine di membrana.

Lo smistamento di proteine/lipidi nei compartimenti di destinazione avviene, per lo più, attraverso trasporto vescicolare.



Tra le vescicole di trasporto e il compartimento di destinazione esiste un meccanismo di riconoscimento che coinvolge complessi di proteine sulla superficie delle due membrane. In particolare sono coinvolte proteine chiamate V-SNARE (sulle vescicole) e t-SNARE (sul compartimento target) che sono complementari tra loro e grazie al loro appaiamento specifico definiscono a quale compartimento cellulare dovrà fondersi la vescicola.

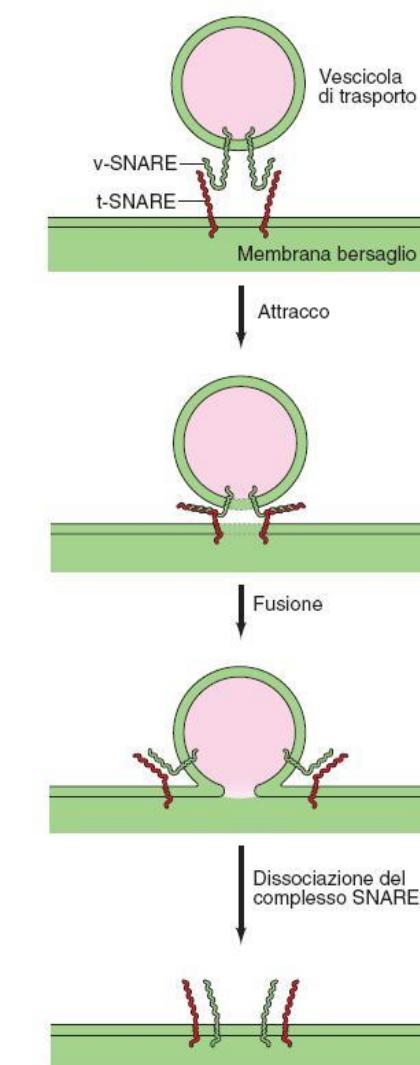
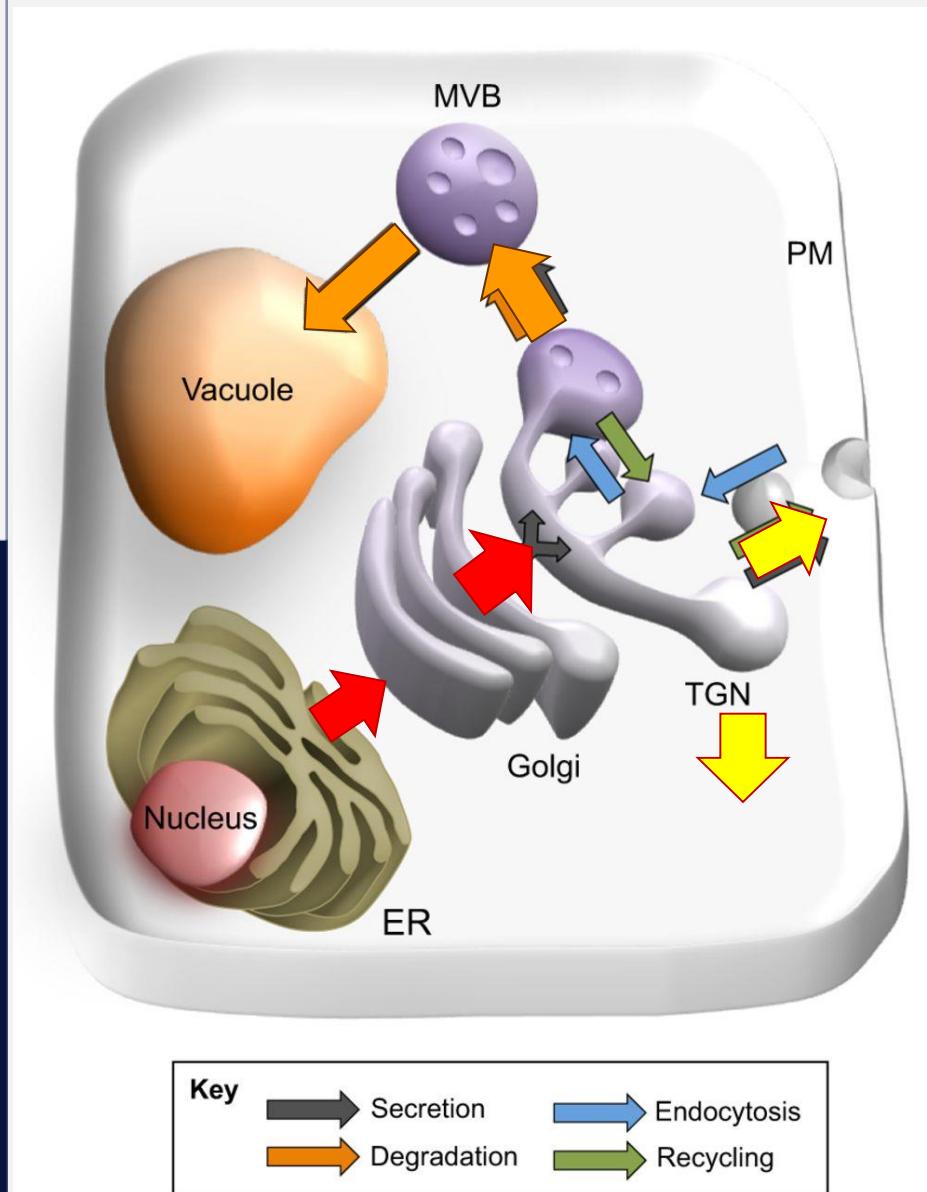


Figura 4.12
Ruolo delle proteine SNARE nel riconoscimento e fine tra la membrana della vescicola e quella del compartimento bersaglio (da G.M. Cooper e R.E. Hausr modificata).

Traffico di endomembrane nelle cellule vegetali



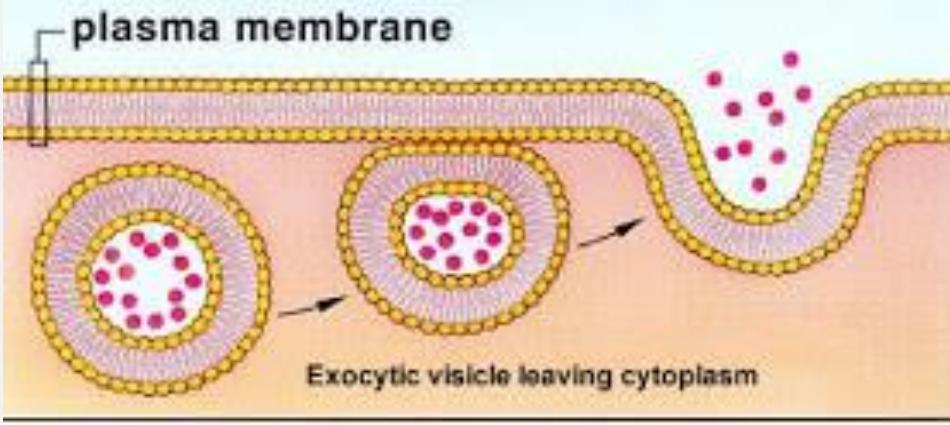
Le proteine sintetizzate nell'ER passano nel Golgi dove, attraverso il passaggio nelle cisterne da cis a trans, vengono modificate nella loro forma finale.

Dall'Apparato di Golgi, esse solitamente arrivano al TNG che è la stazione di smistamento in cui si decide il destino delle proteine. Le proteine vengono localizzate in zone diverse de TGN a seconda del loro destino finale.

Dal TGN possono essere inviate alle vie di secrezione verso la membrana plasmatica o verso altri organuli cellulari.

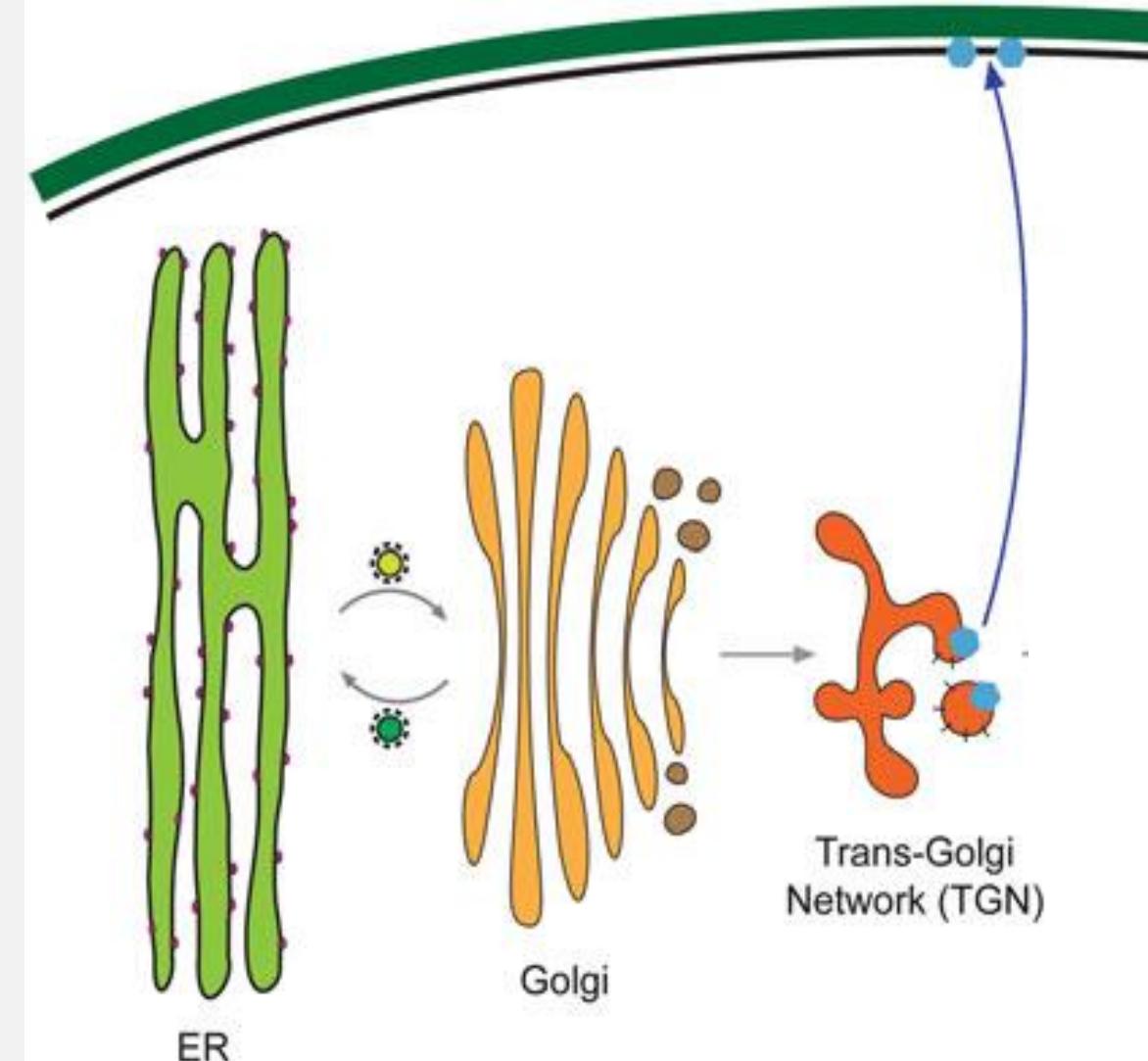
Le proteine che devono essere degradate devono arrivare al vacuolo centrale passando attraverso il Multivesicular body o Prevacuolar compartment (MVB/PVC - corrisponde al late endosomes delle cellule animali).

ESOCITOSI: dal trans-Golgi-network alla PM con riversamento del contenuto all'esterno



Molti processi cellulari coinvolgono l'esocitosi:

- Secrezione di proteine e ormoni;
- Secrezione di molecole della parete cellulare;
- turnover della membrana plasmatica (proteine/lipidi);
- recycling dei recettori di membrana;



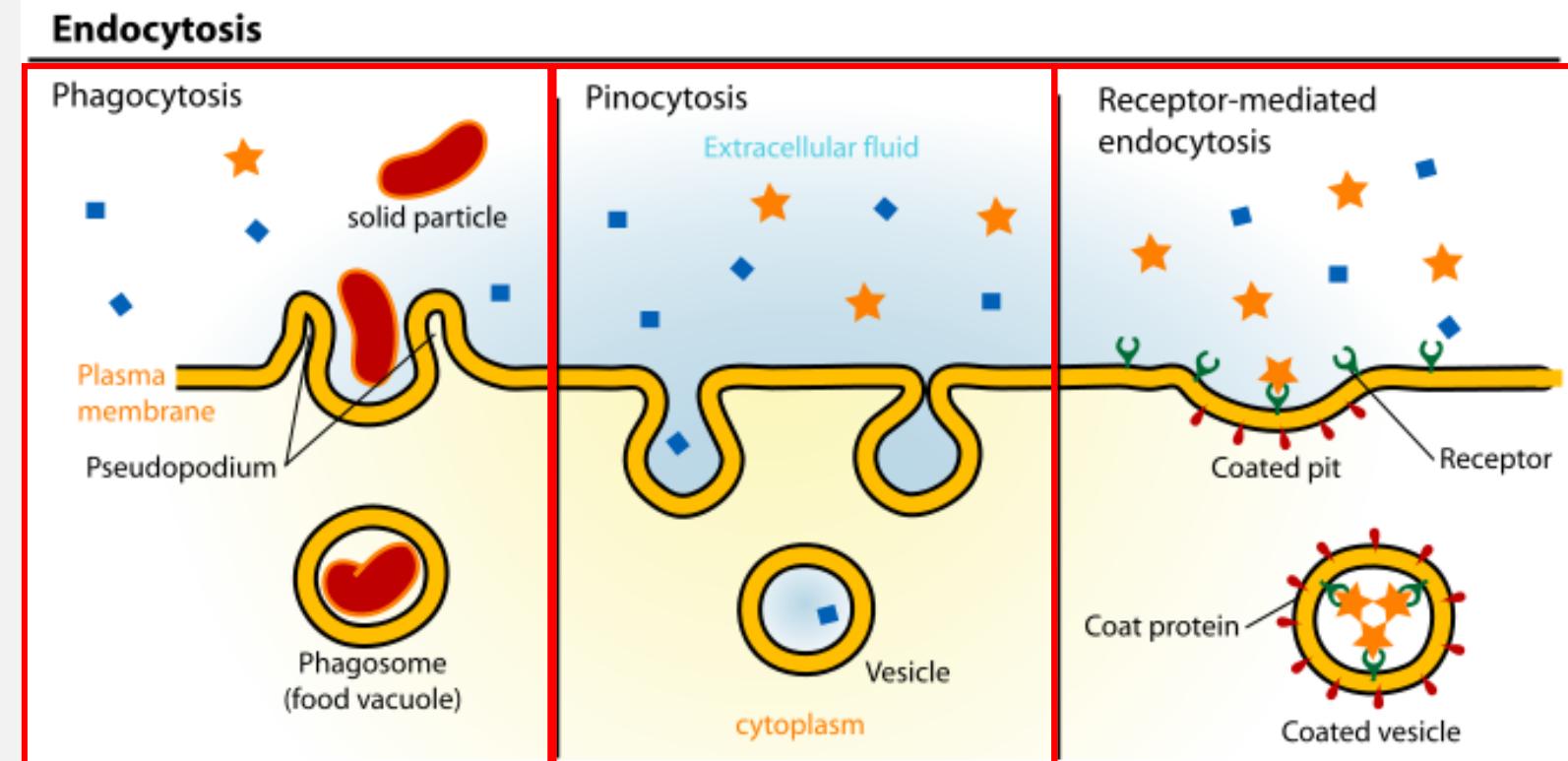
ENDOCITOSI:

Anche il materiale proveniente dalla membrana plasmatica può essere portato nella cellula:
endocitosi.

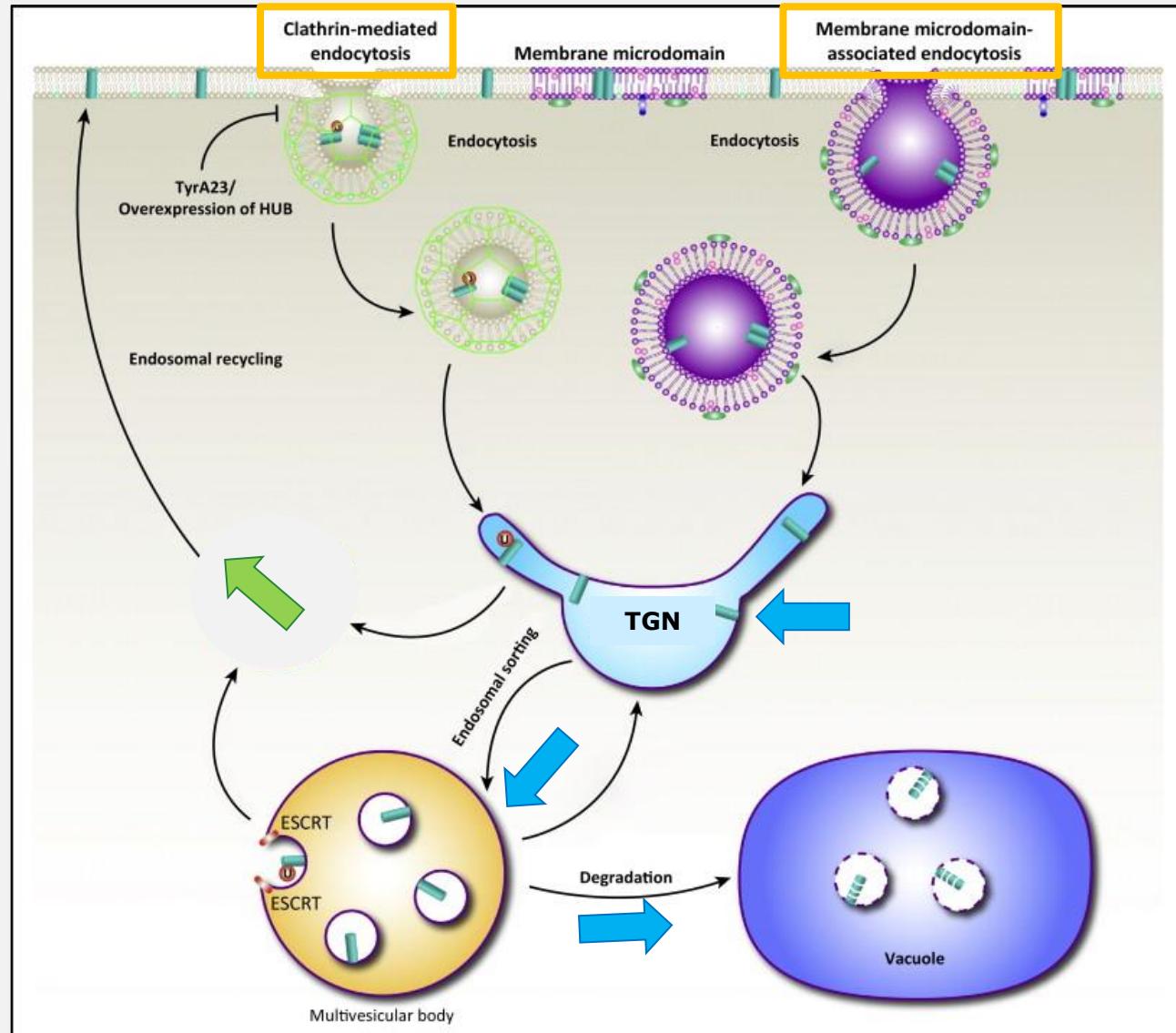
Si pensava che a causa dell'elevata pressione di turgore nelle cellule vegetali non potesse avvenire endocitosi.

Coinvolta nella
internalizzazione di :

- molecole dal compartimento extracellulare e dalla PM,
- molecole segnale coinvolte nelle interazioni cellula-cellula
- componenti della propria parete cellulare.
- interazione col mondo micrpbico.



Il materiale internalizzato viene solitamente inviato al TGN a livello del quale avviene lo smistamento verso i compartimenti di degradazione (MVB/PVC e vacuolo) o il riciclo delle componenti di membrana di nuovo verso la superficie della cellula.

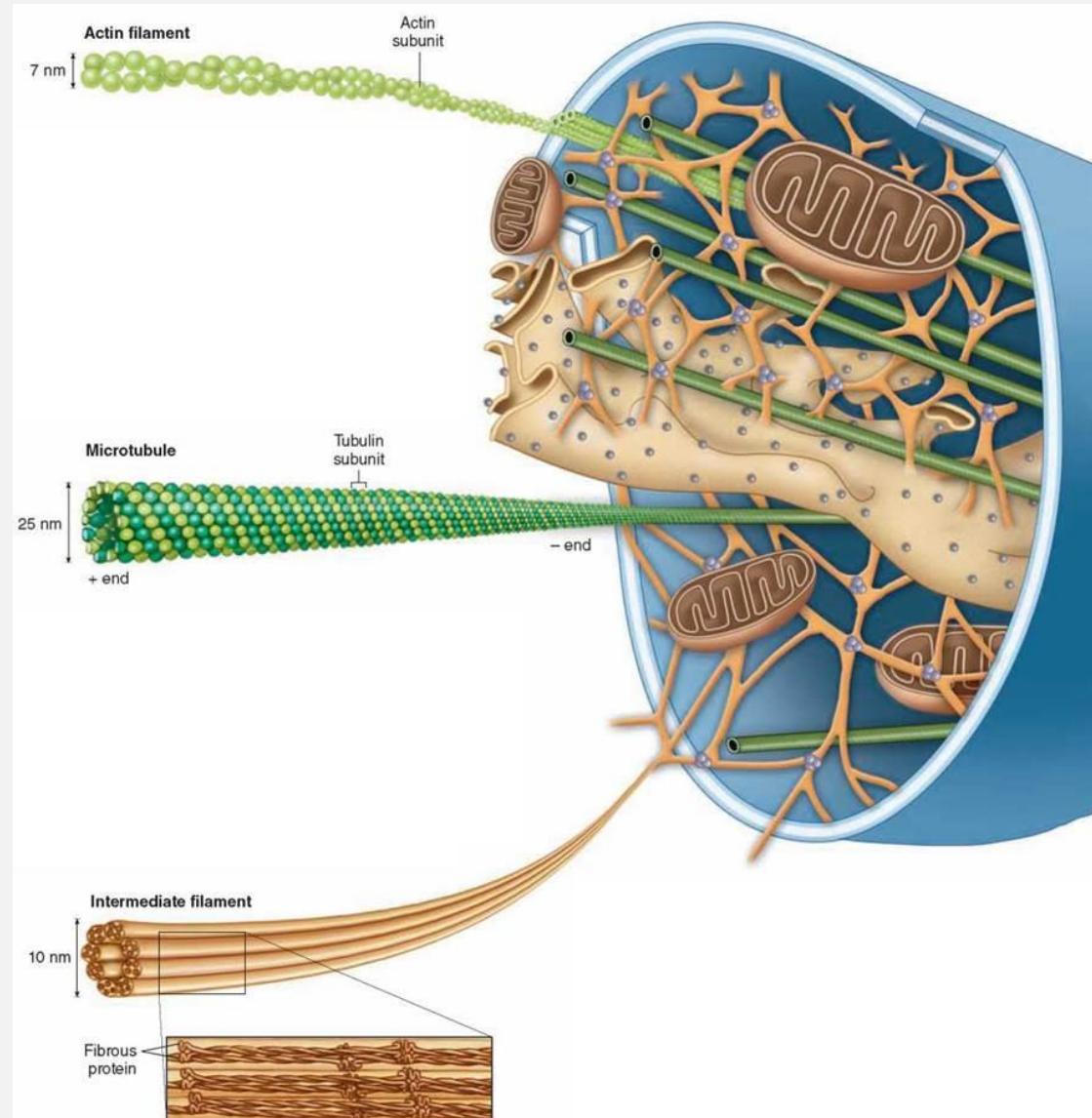


Citoscheletro

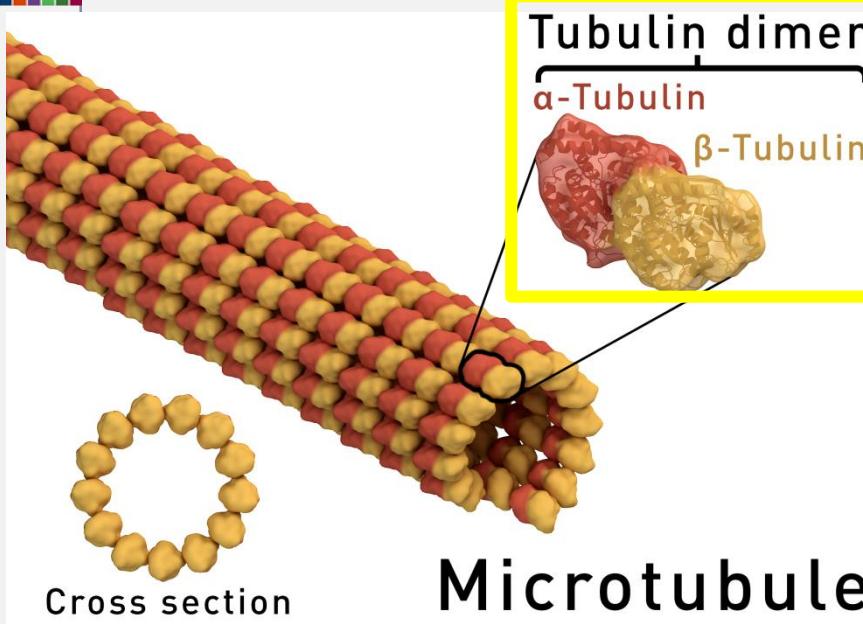
Il citoscheletro è un complesso di filamenti proteici che attraversa tutto il citosol.

E' strettamente coinvolto in molti processi quali:

- divisione, crescita, differenziamento**
- movimento di organelli attraverso la cellula.**
- sono componenti di flagelli e cilia**

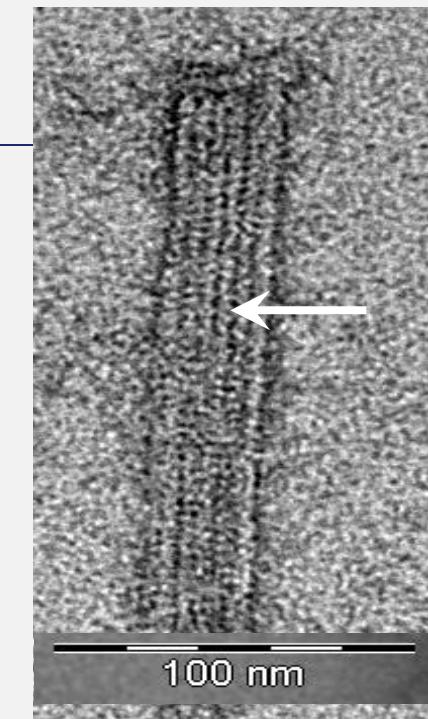


Microtubuli



Filamenti cilindrici di circa 25 nm formati da 13 **protofilamenti** disposti verticalmente ad elica intorno ad una porzione cava o **core**

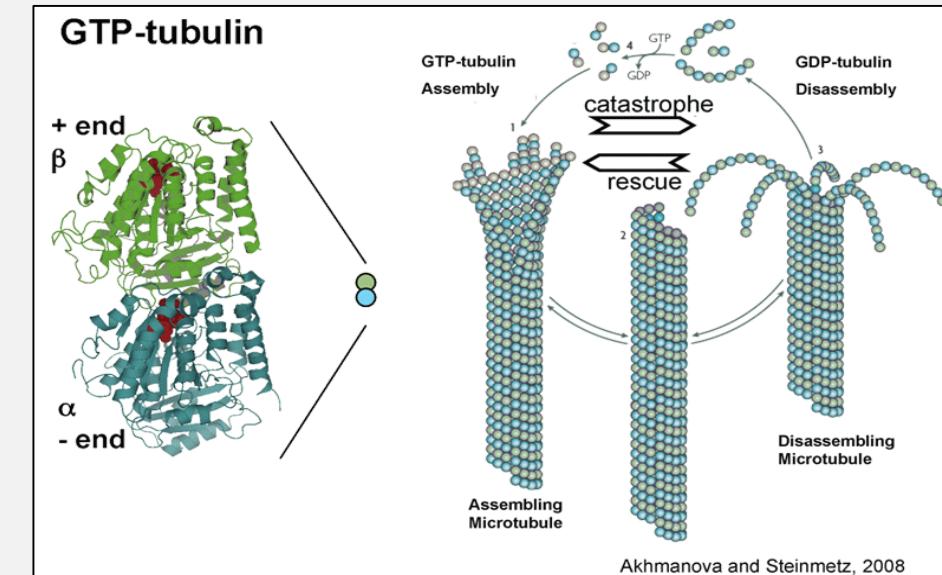
Protofilamento: struttura polarizzata formata da dimeri di α e β tubulina orientati nello stesso verso



Il microtubulo presenta una **estremità (+)** a crescita rapida e una **(-)** a crescita lenta.

Altera di stadi di aggregazione e di disaggregazione :
instabilità dinamica

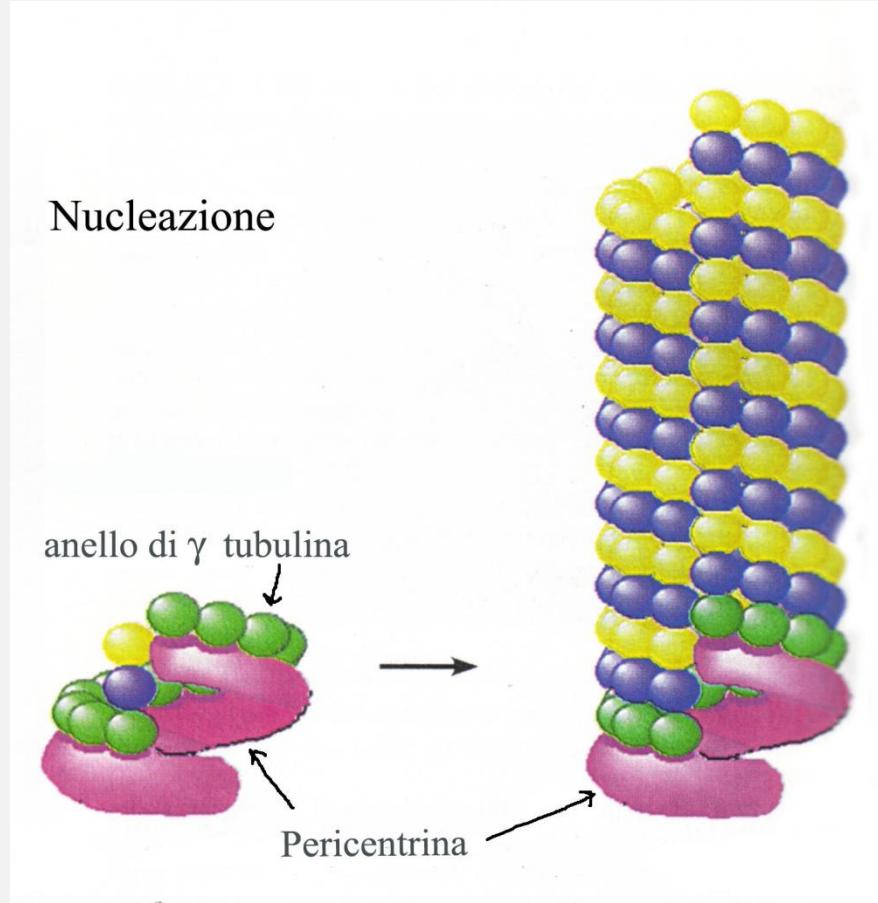
Ai microtubuli si associano diverse proteine (MAPs)
che ne condizionano la stabilità e che coadiuvano i
microtubuli nello svolgimento delle loro funzioni



Centro Organizzatore dei Microtubuli

Nelle cellule animali, il centrosoma, oltre ai centrioli, presenta il materiale pericentriolare di cui fanno parte due proteine:

- La γ tubulina
- La pericentrina

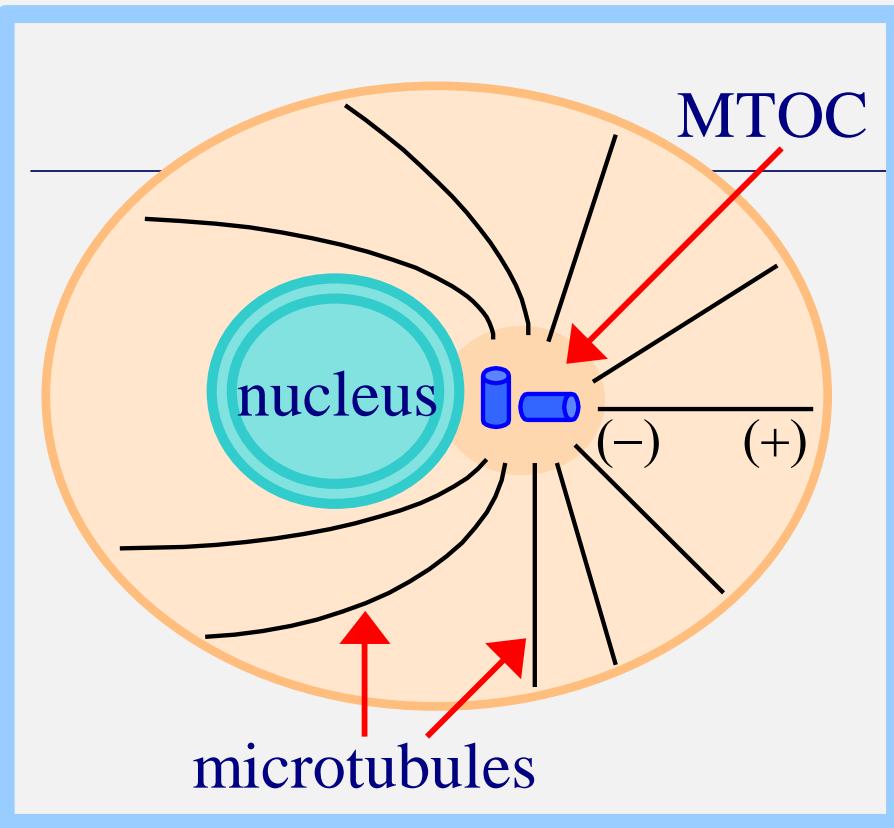


Le due proteine sono associate e la γ -tubulina assume una conformazione ad anello alla base dei MTs nascenti.

Questa proteina serve da stampo durante la nucleazione

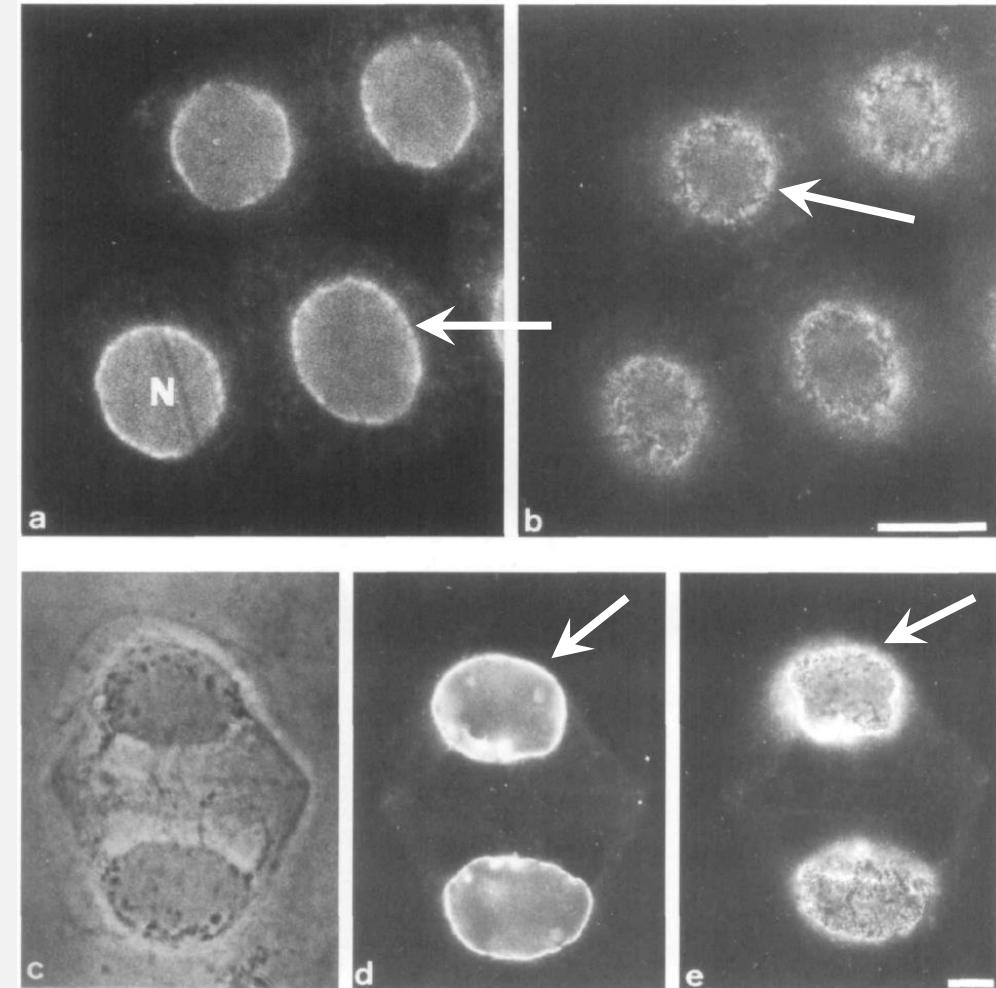


Nelle piante l'assemblaggio si ha in siti organizzatori di microtubuli sulla membrana plasmatica, citoplasma e sulla membrana nucleare esterna.



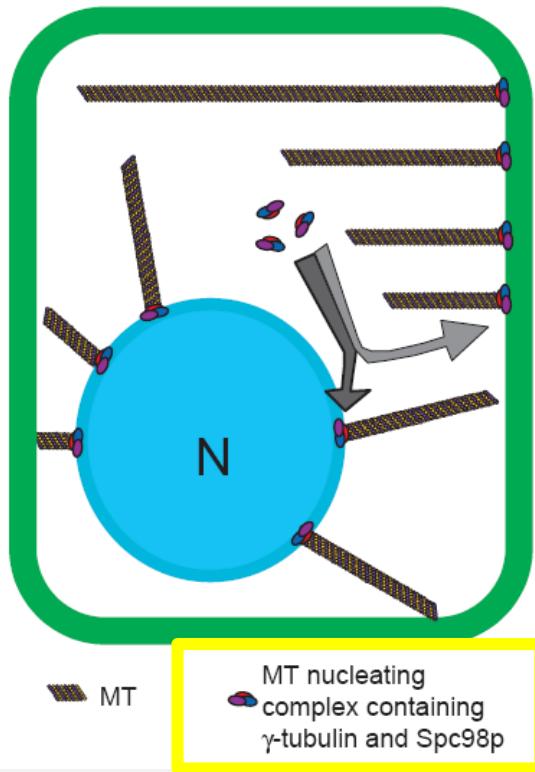
During interphase, the centrosome (MTOC) is usually located near the nucleus.

Microtubules grow out from the MTOC.



Le cellule vegetali somatiche non hanno centrosomi riconoscibili, contrassegnati dalla presenza di centrioli

In higher plant cells, some years ago a protein of the pericentriolar material was found at the surface of the nucleus

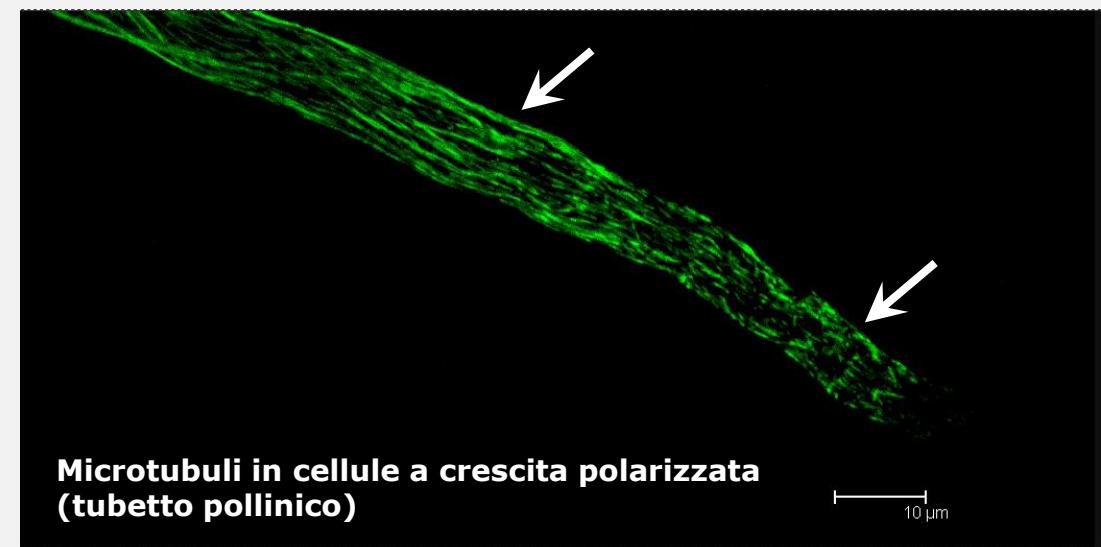
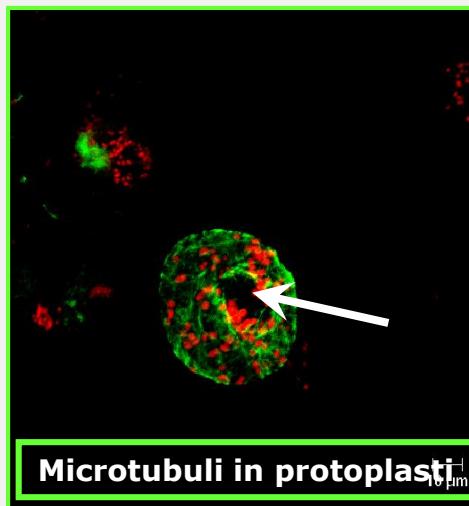
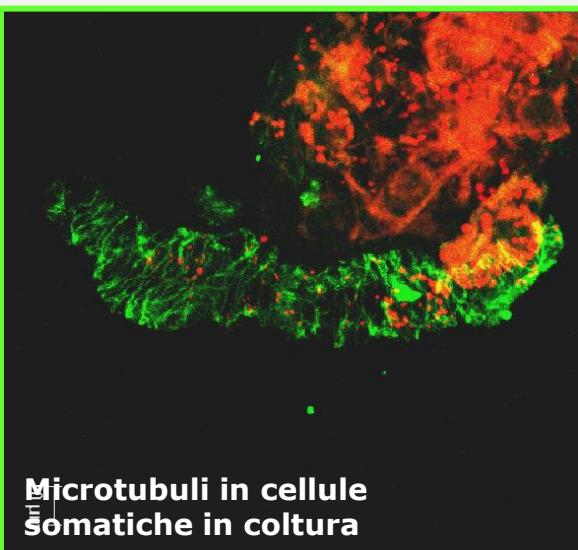


Working model of plant MT nucleation and organization

The soluble cytoplasmic γ -tubulin/Spc98p-containing complexes are recruited to two different MT nucleation sites:

1. the plasma membrane and
2. the nuclear surface.

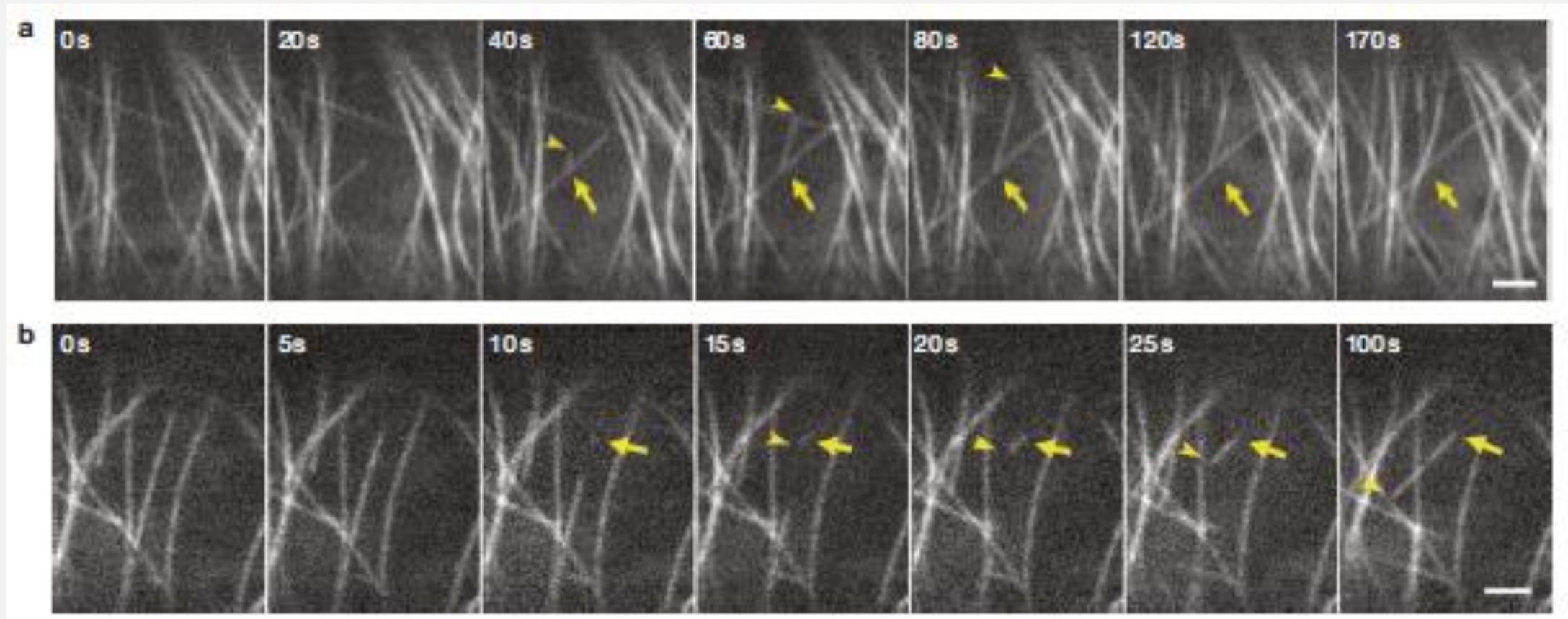
These data suggest that multiple Mt-nucleating sites are active in plant cells.



10 μ m

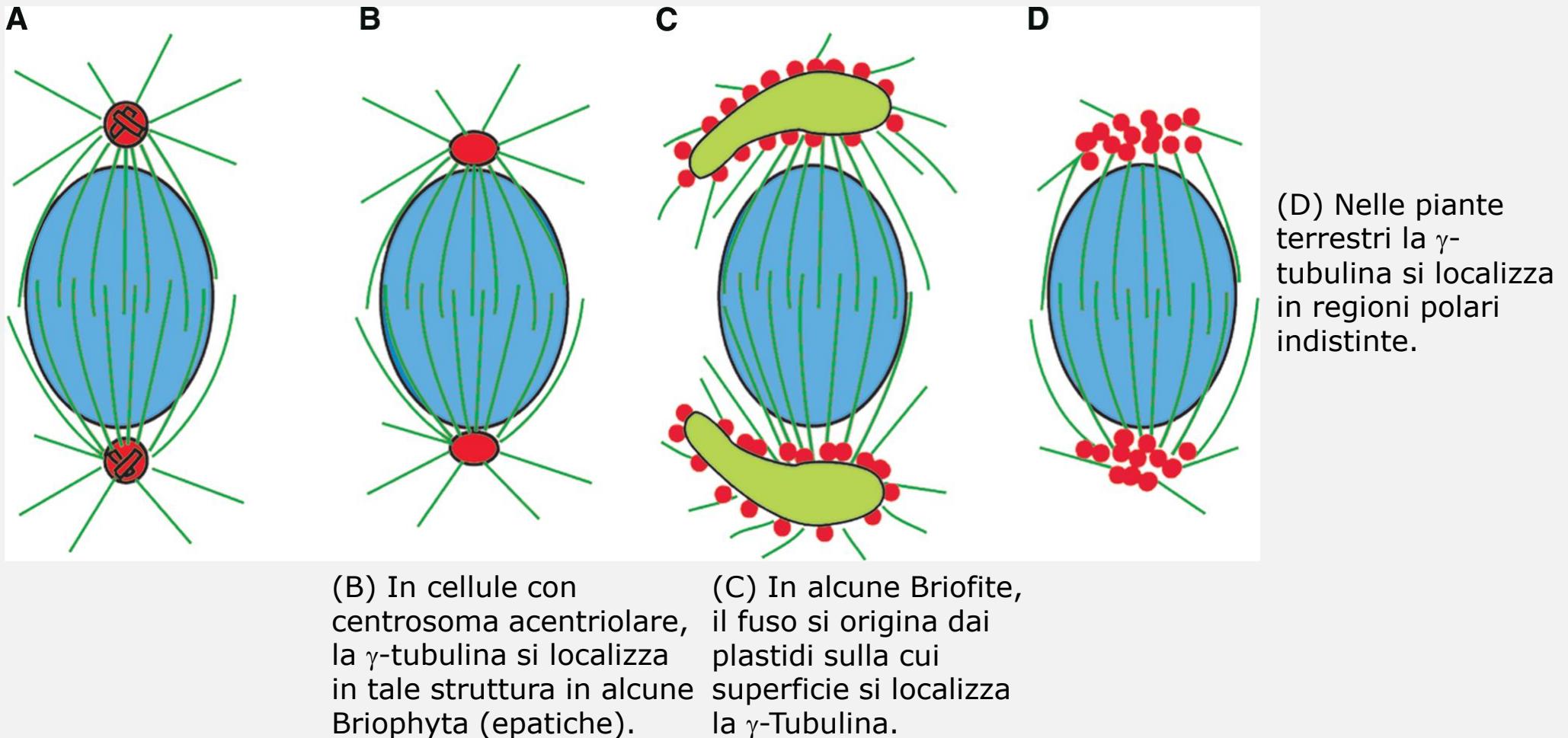
Nuovi microtubuli possono nucleare anche da microtubuli esistenti

However, an important paper published on 1993 showed that γ -tubulin is localized along Mts, in all Mt arrays during the cell cycles



a: nucleazione di nuovi microtubuli da microtubuli in allungamento;
b: nucleazione da microtubuli che stanno depolimerizzando

L'analisi della localizzazione della γ -tubulina in diversi gruppi di piante mostra una evoluzione dei siti di nucleazione dei MTOC durante la mitosi.



Si pensa che B e C rappresentino una fase di transizione tra il centrosoma centriolare delle Alghe verdi al MTOC diffuso delle piante terrestri.

Lungo i microtubuli si muovono organelli e complessi proteici che interagiscono con i filamenti attraverso proteine motrici.

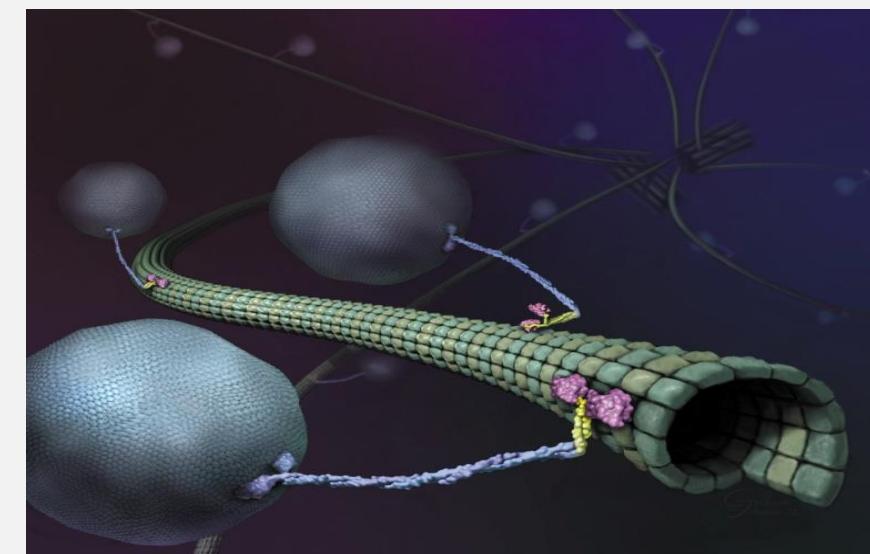
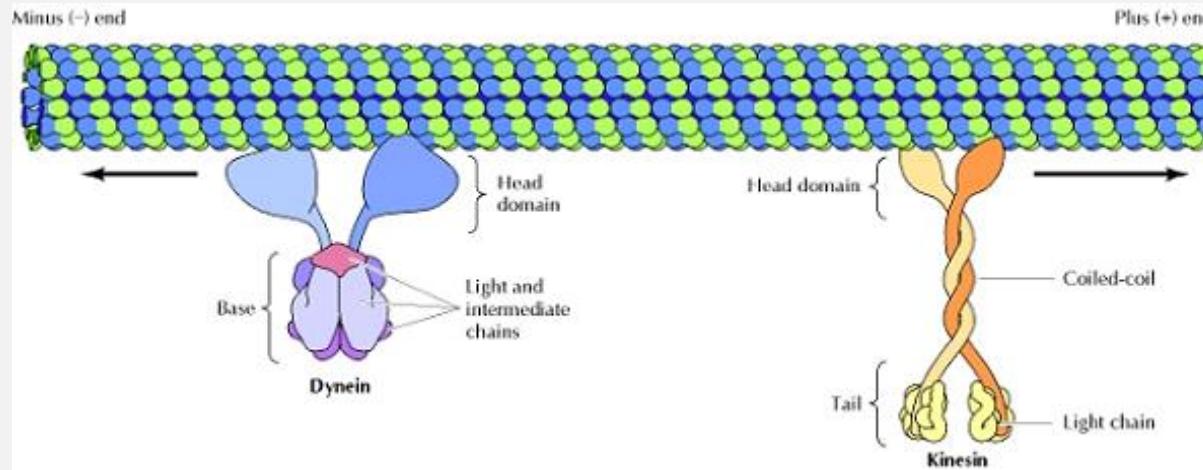
Le proteine motrici che si spostano lungo i microtubuli sono di due tipi:

chinesine (verso l'estremità più e meno)

dineine (verso l'estremità meno).

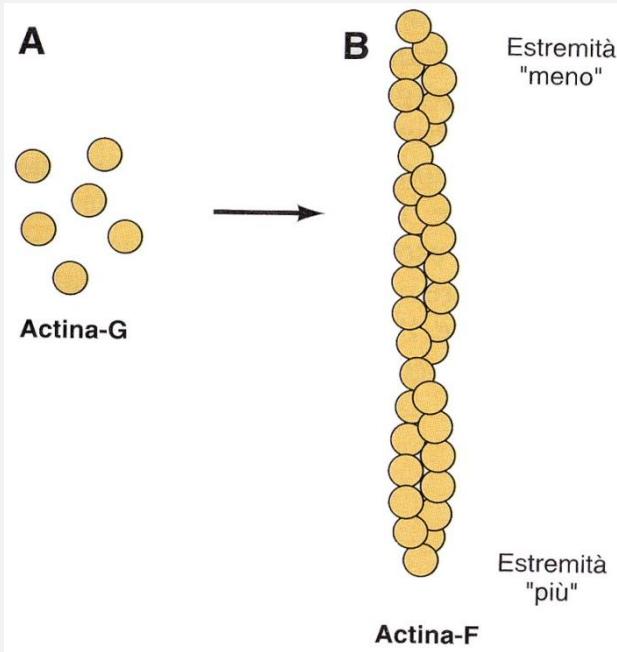
Presentano entrambe una testa globulare e una coda allungata. Le due teste legano il microtubulo in maniera orientata e idrolizzano ATP, generando cambiamenti conformazionali e movimento.

Le code legano il carico da trasportare.





Microfilamenti

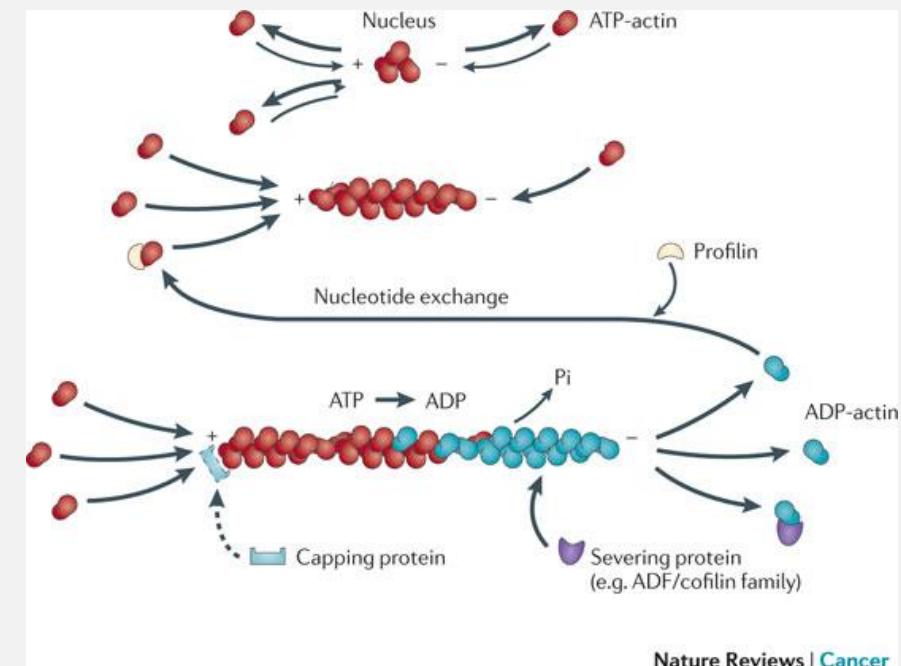


Quando la concentrazione di monomeri ha raggiunto uno stato stazionario le unità vengono aggiunte all'estremità «più» alla stessa velocità con cui vengono rilasciate dall'estremità «meno». Perciò le subunità scorrono a mulinello («treadmilling») attraverso il filamento.

Il filamento si forma per addizione di monomeri di **actina**.

Si origina una doppia catena con due filamenti fortemente intrecciati.

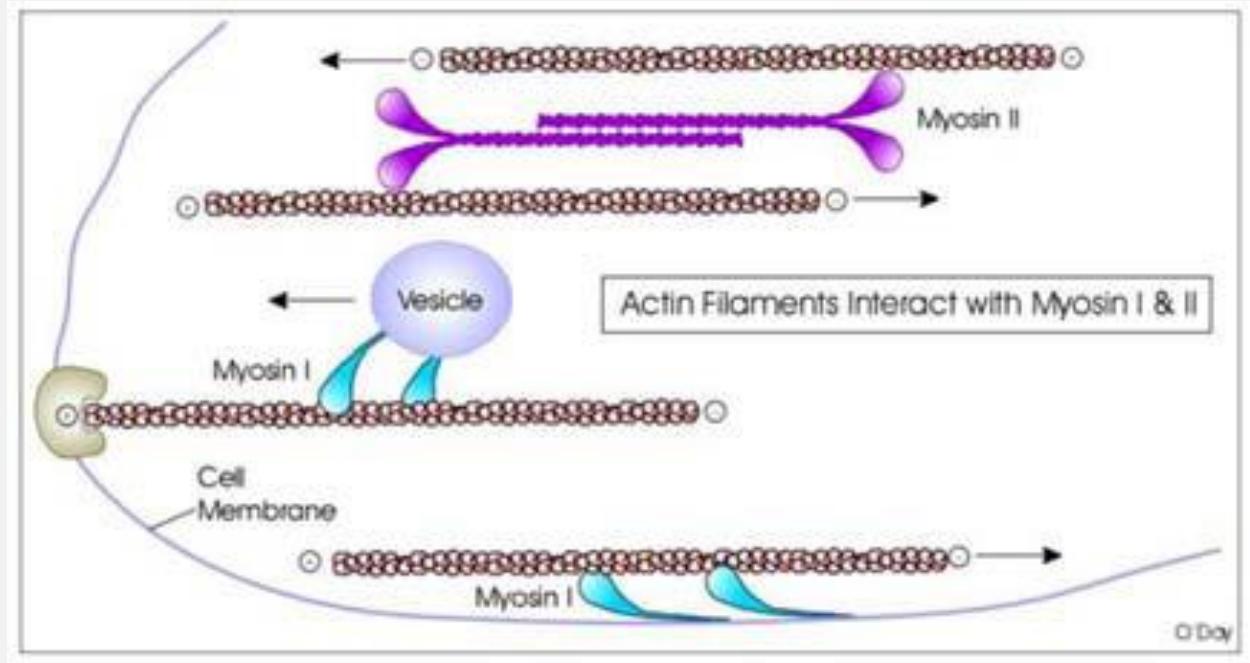
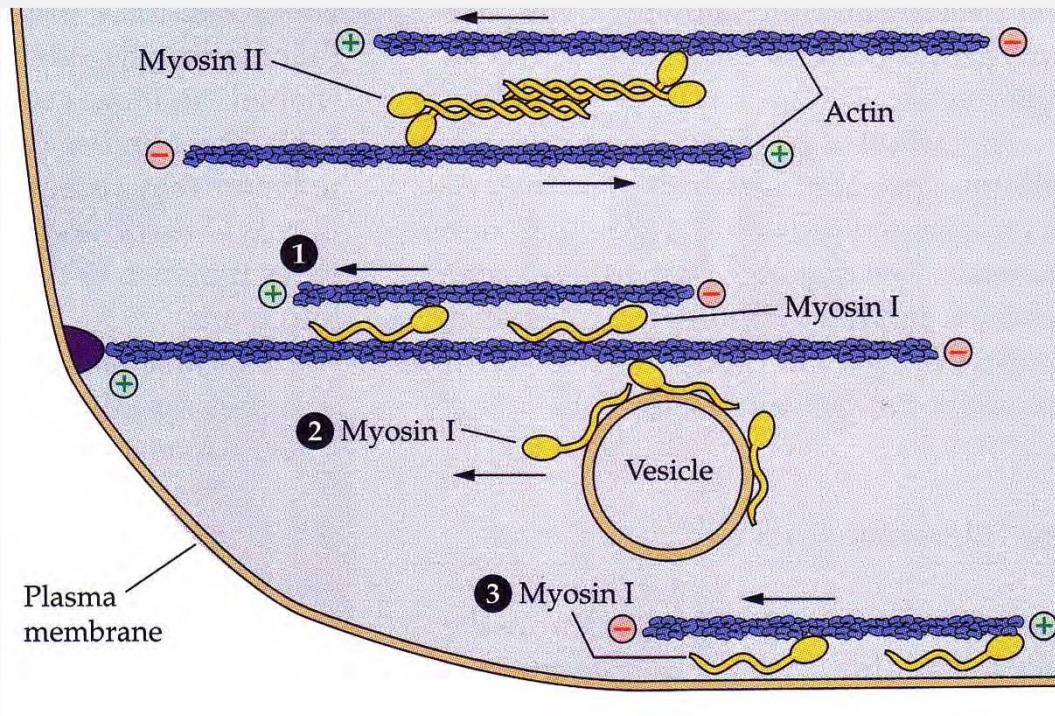
I filamenti di actina hanno una polarità strutturale, con un estremo più (che polimerizza più velocemente) e uno meno (che polimerizza più lentamente).





Le **miosine** sono le proteine motrici che interagiscono con l'actina, movendosi verso le estremità più dei filamenti.

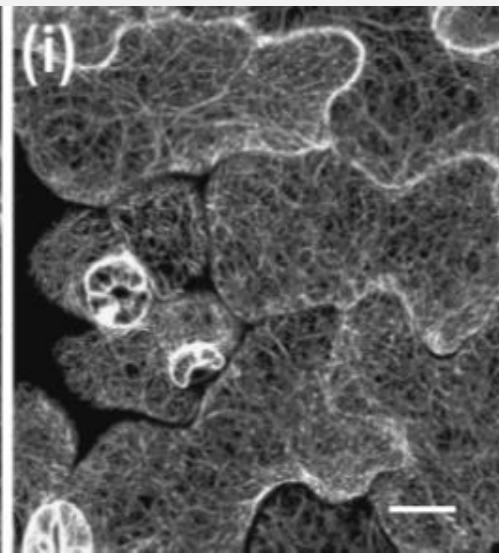
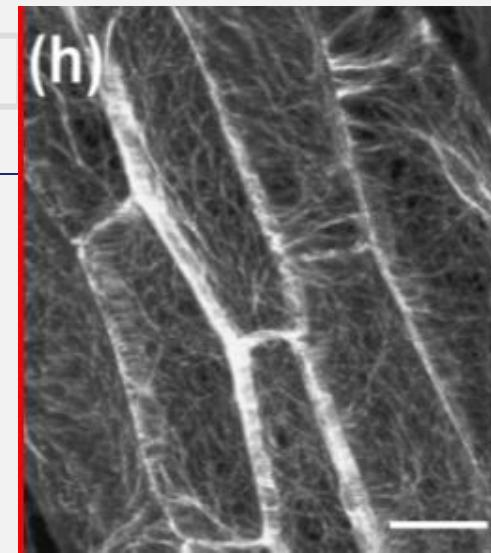
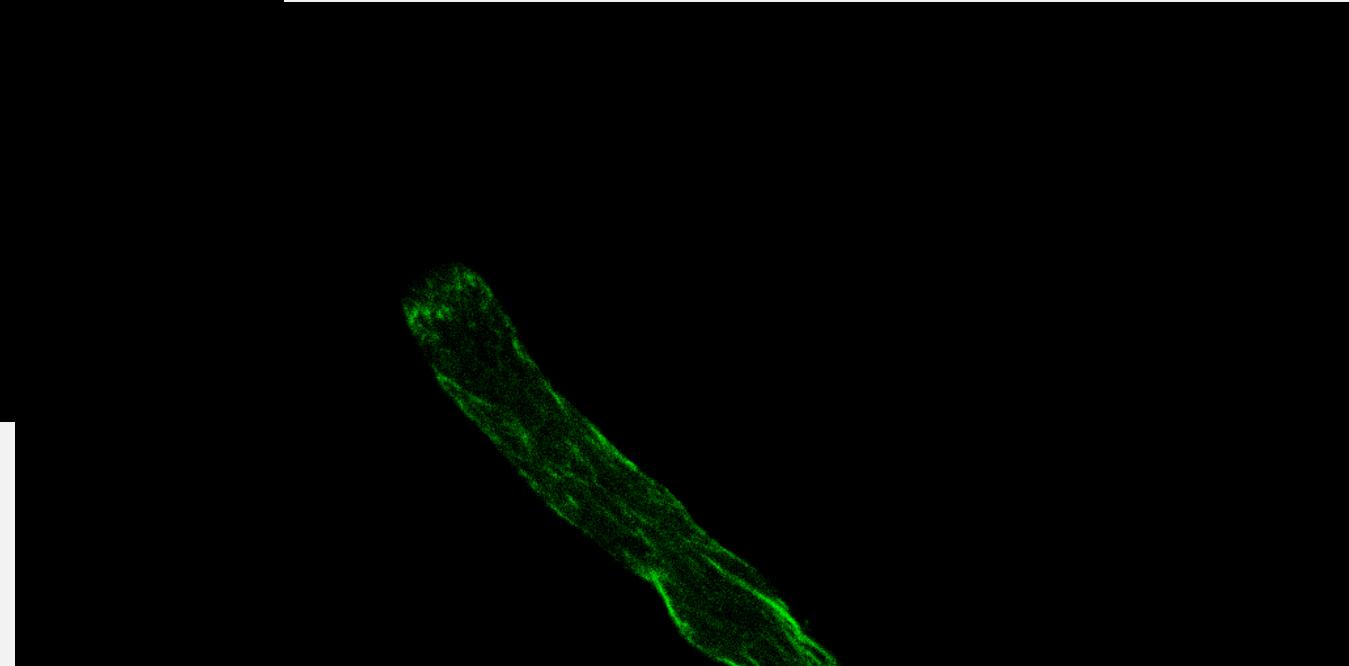
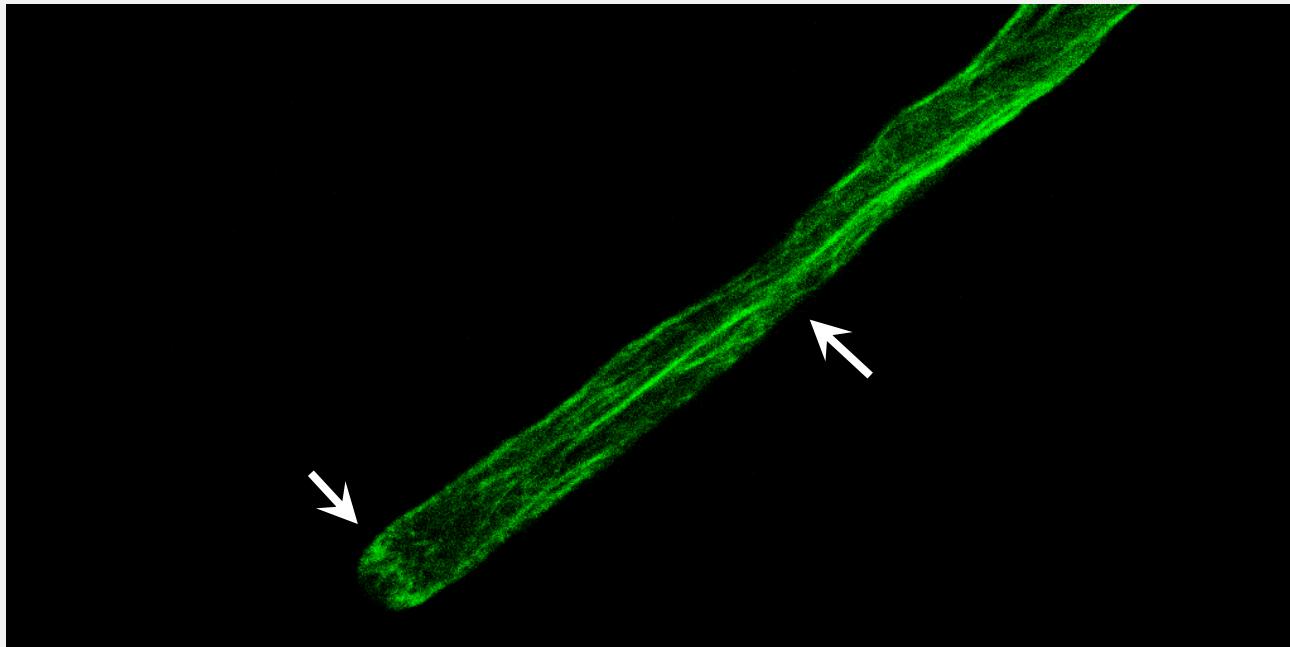
Hanno una testa globulare con attività ATPasica per generare movimento, e una coda che lega diversi tipi di carico a seconda del tipo di miosina.





Actin filaments in epidermal cells

Microfilamenti in cellule a crescita polarizzata (tubetto pollinico)



Nelle cellule vegetali microtubuli e microfilamenti svolgono funzioni diverse rispetto a quello che avviene nelle cellule animali.

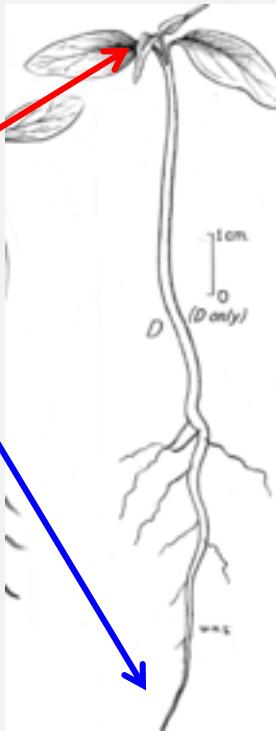
Nelle piante i microfilamenti hanno un ruolo fondamentale nello **streaming citoplasmatico** e nel movimento di organelli.



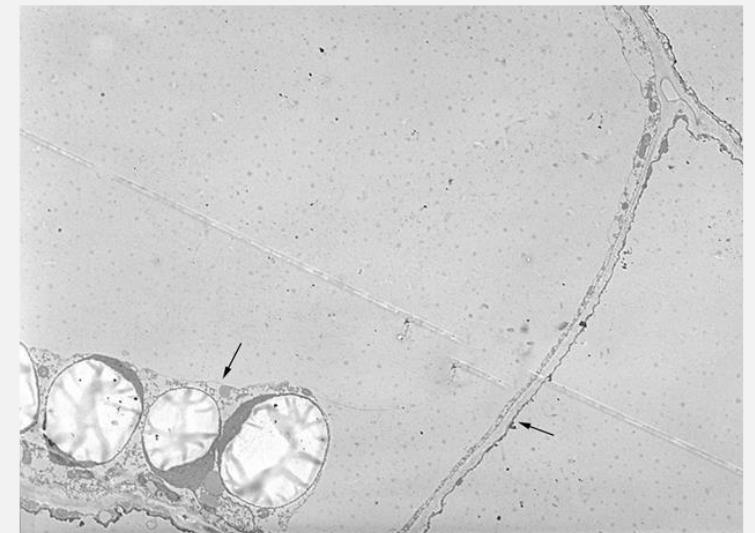
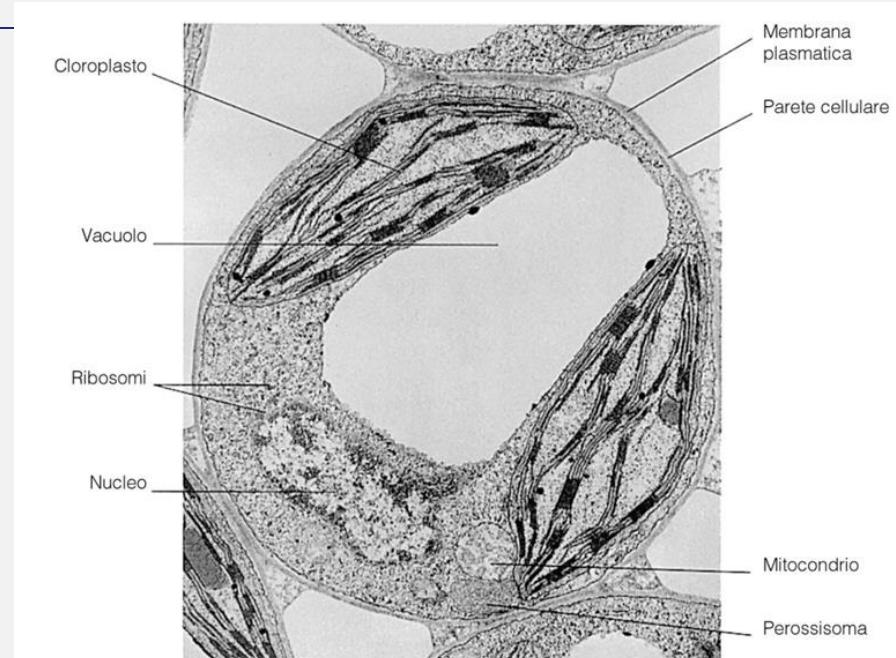
I microtubuli hanno invece un ruolo fondamentale nella divisione cellulare, nella morfogenesi e nel posizionamento fine di vescicole e organelli trasportati in vicinanza del loro obiettivo dal flusso dovuto ai microfilamenti.

Difficile proporre un singolo tipo di cellula vegetale come esemplificativo di quelli presenti nelle piante.

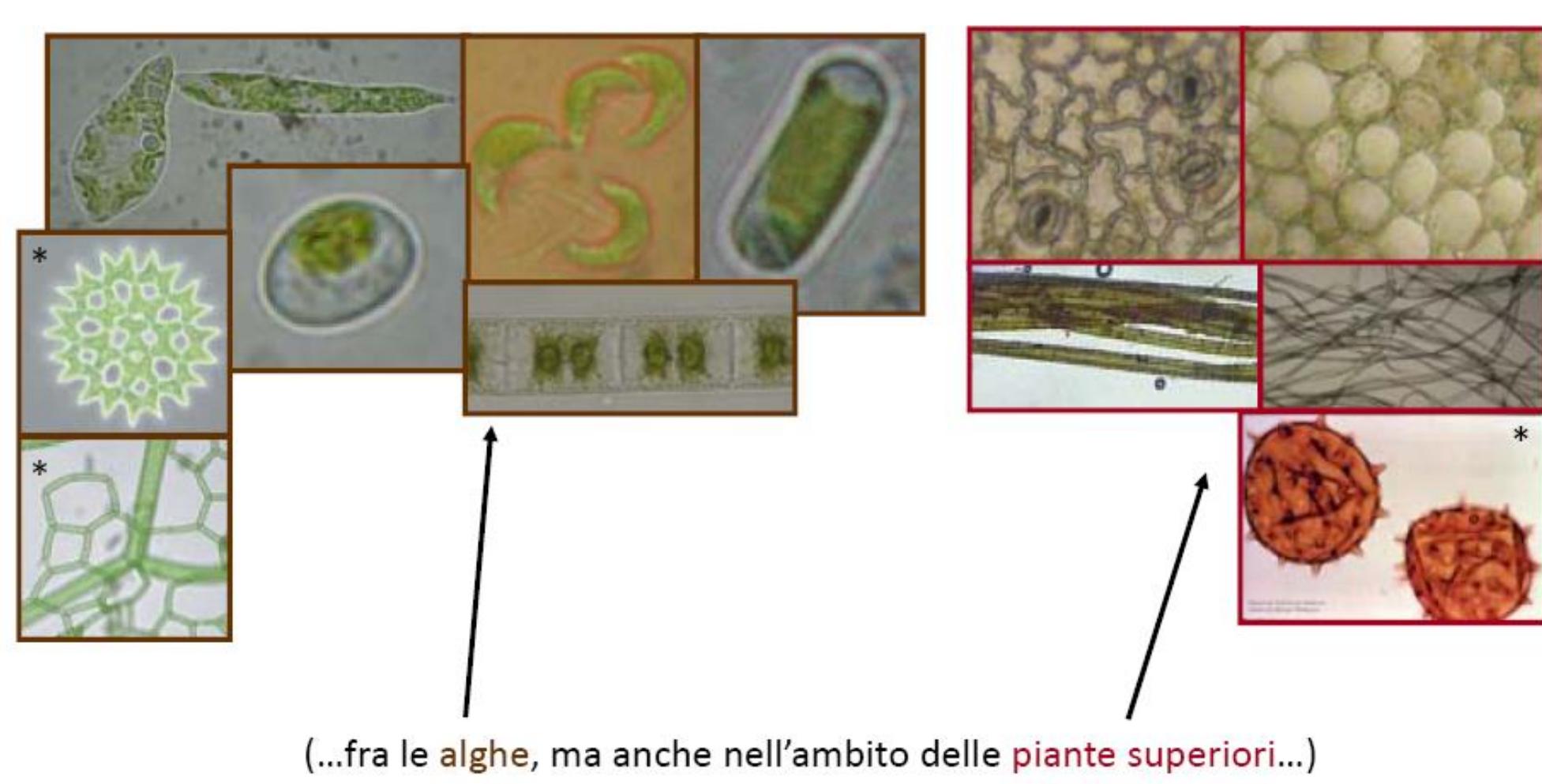
Tutte le cellule della pianta originano da **cellule meristematiche** e vanno incontro al differenziamento, processo che le renderà diverse tra loro per essere più idonee a svolgere determinate funzioni in tessuti diversi.



Le cellule adulte si originano da quelle meristematiche e vanno incontro al differenziamento, processo che le renderà diverse tra loro per essere più idonee a svolgere determinate funzioni in tessuti diversi.



Alla varietà di forme degli organismi detti "vegetali" corrisponde una varietà di organizzazioni cellulari.



Nell'ambito del mondo vegetale c'è un'estrema varietà di forme e tipologie di cellule in relazione all'organizzazione e alla funzione delle stesse.