

# L'evoluzione della cellula

# Dalle molecole alle prime cellule

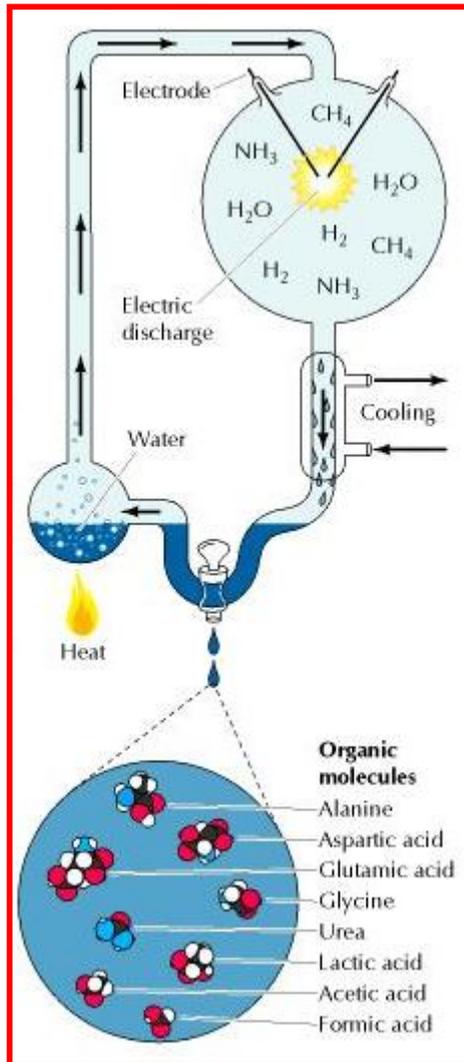
**Cellule:** piccoli compartimenti avvolti da una membrana e colmi di soluzioni acquose concentrate di sostanze chimiche

Per le notevoli somiglianze che si riscontrano fra le cellule dei diversi organismi si ritiene che tutti i tipi cellulari discendano per evoluzione da un unico **antenato comune**

L'**evoluzione** comporta:

- la **variazione casuale dell'informazione genetica** trasmessa da un individuo ai discendenti
- la **selezione a vantaggio di quell'informazione genetica** che aiuta chi la possiede a sopravvivere e propagarsi

Miscela di gas come **CO<sub>2</sub>**, **CH<sub>4</sub>**, **NH<sub>3</sub>**, **H<sub>2</sub>** riscaldata con acqua, eccitata con scariche elettriche o radiazioni ultraviolette, reagiscono dando luogo a piccole molecole organiche



**Amminoacidi**  
**Zuccheri**

**Nucleotidi**  
**Acidi grassi**

Molecole organiche semplici come amminoacidi e nucleotidi sono in grado di associarsi in grandi polimeri

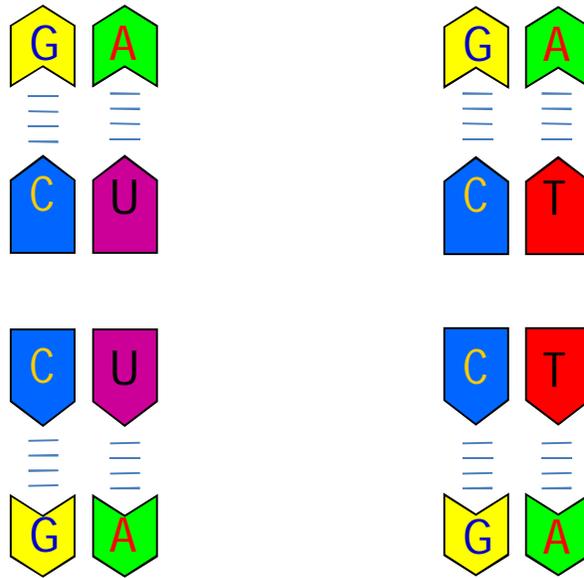
**Amminoacidi** - legame peptidico - **Polipeptidi**  
**Nucleotidi** - legame fosfoesterico - **Polinucleotidi**

**Proteine**

**Acidi ribonucleici (RNA) e deossiribonucleici (DNA)**

Una volta formato, il polimero può influenzare la formazione degli altri

Polinucleotidi = **stampi** per le reazioni di polimerizzazione



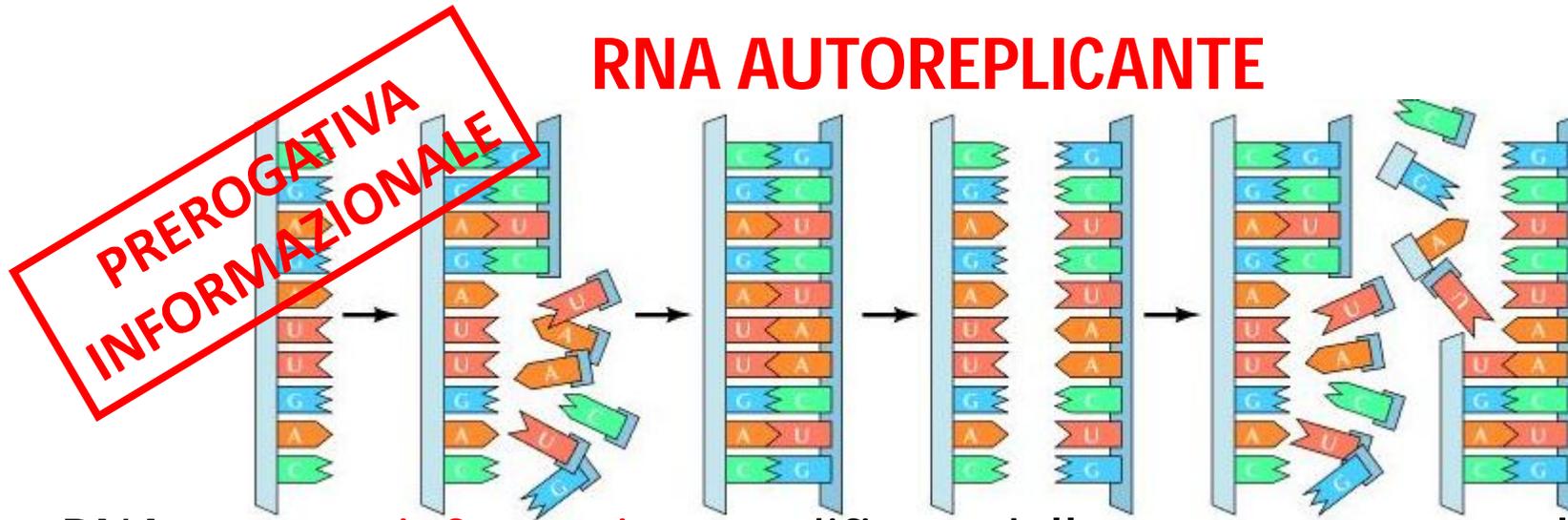
## Duplicazione complementare a stampo

Normalmente "catalizzata" da ENZIMI

Ma non nella miscela primordiale !!!

**L'RNA può fungere esso stesso da catalizzatore**

## RNA AUTOREPLICANTE



RNA: reca un'**informazione** codificata dalla sua sequenza nucleotidica



RNA: **struttura ripiegata** peculiare che ne determina l'interazione con altre molecole e la risposta all'ambiente

Molecole specializzate di **RNA** sono in grado di catalizzare le **reazioni biochimiche**

RNA catalizzatori della **replicazione**

RNA catalizzatori della **scissione e formazione di legami covalenti**

Effetti benefici vicendevoli possono portare ad un **sistema cooperativo**

**Ipotesi:** 3.5-4 miliardi di anni fa sistemi autoreplicanti di **RNA** avrebbero iniziato il processo evolutivo

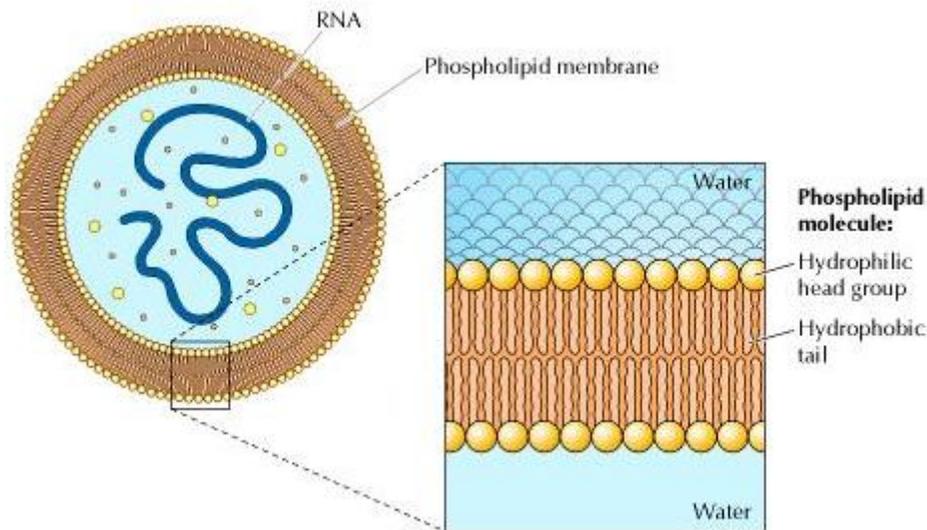
Poi però i **polipeptidi** avrebbero mostrato maggiore **versatilità ed efficienza** come catalizzatori

Negli organismi odierni si è sviluppato un **sistema cooperativo di molecole di RNA** che assolve un ruolo fondamentale nel dirigere la **sintesi delle proteine**

L'**RNA** avrebbe guidato la **sintesi primordiale delle proteine**, che invece oggi avviene sulla superficie dei ribosomi

Sintesi che richiedeva l'elaborazione di un codice, il **CODICE GENETICO**

Virtualmente identico in tutti gli organismi, a supporto quindi della teoria evuzionistica da un'unica linea di **cellule primordiali**

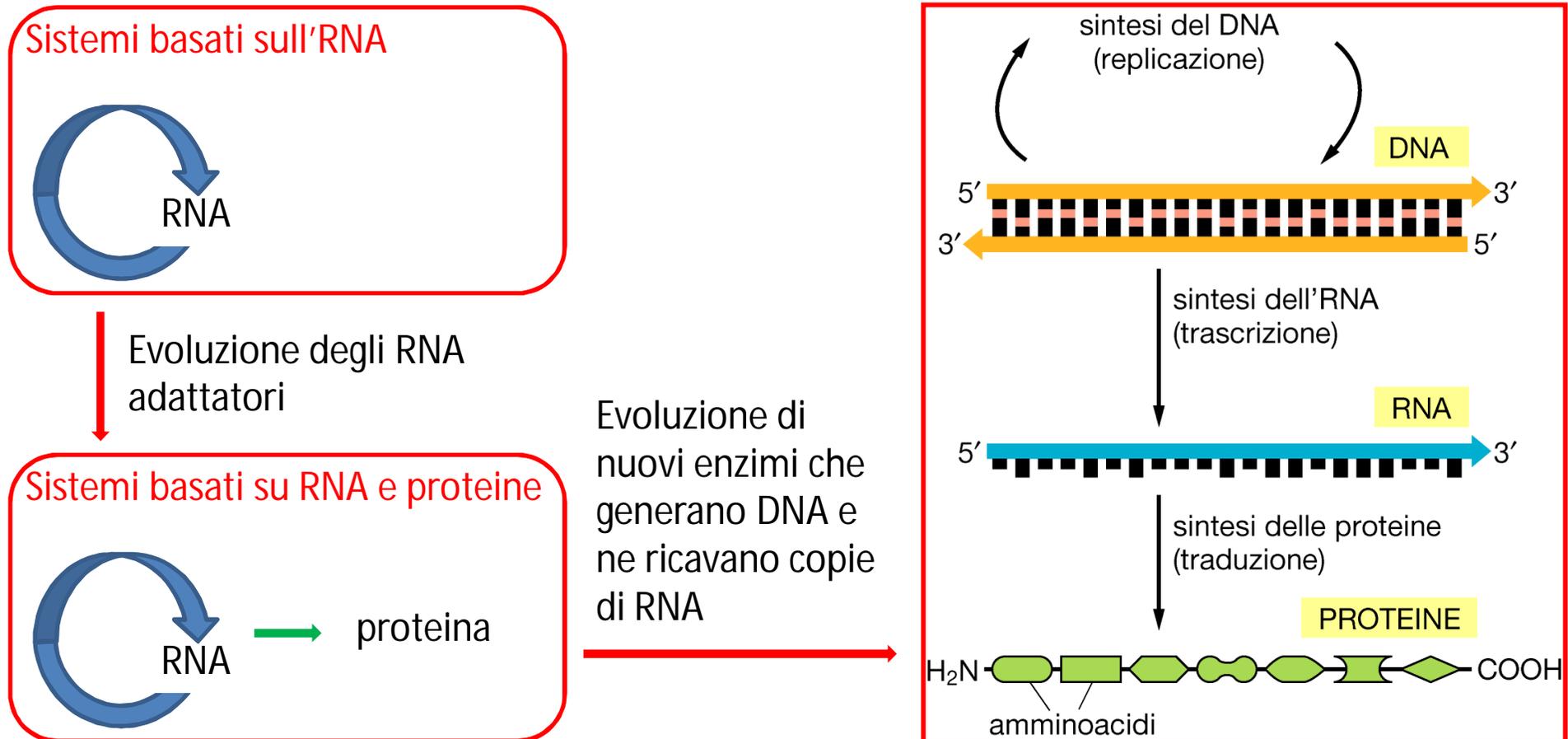


## COMPARTIMENTI

Molecole **anfipatiche**:  
- porzione idrofoba  
- porzione idrofila

Nelle cellule odierne il **materiale ereditario** è il **DNA**,  
molecola più **stabile** dell'RNA:

- manca di un gruppo ossidrilico facilmente idrolizzabile
- essendo a doppio filamento facilita la replicazione ed assicura il restauro



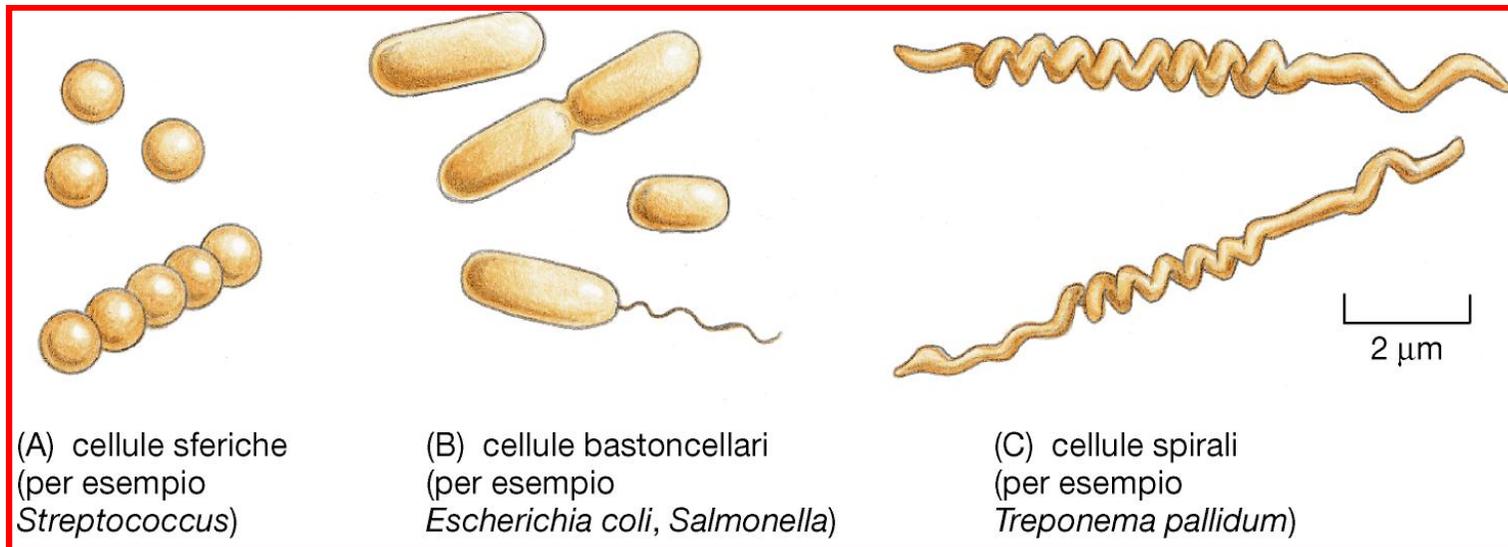
# Dai procarioti agli eucarioti

3.5 miliardi di anni fa: **UNICA CELLULA PRIMORDIALE**

1.5 miliardi di anni fa: transizione da cellule

**PROCARIOTICHE** a cellule **EUCARIOTICHE**

**B  
A  
T  
T  
E  
R  
I**



- parete cellulare
- membrana plasmatica
- unico citosol con DNA, RNA proteine, piccole molecole
- si dividono per fissione binaria ogni 20 minuti

- si alimentano con zuccheri, amminoacidi, grassi, idrocarburi, polipeptidi, polisaccaridi
- si dividono in **EUBATTERI** (suolo, acqua, organismi viventi) ed **ARCHEBATTERI** (paludi, profondità oceaniche, salamoie, sorgenti acide calde)

## Evoluzione delle REAZIONI METABOLICHE

La prima è stata probabilmente la GLICOLISI perché consente di degradare il glucosio in assenza di ossigeno

La si ritrova praticamente in tutte le cellule viventi e guida la formazione del composto adenosintrifosfato (ATP), fonte di energia chimica

La maggior parte delle reazioni e degli enzimi che le catalizzano si ritrovano in tutti gli esseri viventi

Il confronto di sequenze amminoacidiche di un enzima in specie differenti offre indizi sulla correlazione evolutiva fra le specie

Con l'esaurirsi delle molecole organiche, avrebbero avuto vantaggio selettivo gli organismi in grado di utilizzare **CO<sub>2</sub>** ed **N<sub>2</sub>**

La **FOTOSINTESI** usa l'energia radiante solare per convertire la CO<sub>2</sub> in composti organici

La **FOSFORILAZIONE dei nucleotidi** porta alla produzione di ATP

La produzione di **POTERE RIDUCENTE** dà elettroni a CO<sub>2</sub> ed N<sub>2</sub>. La prima fonte di elettroni è stato probabilmente l'**H<sub>2</sub>S** (con produzione di zolfo elementare) e successivamente l'**H<sub>2</sub>O**, con produzione di **O<sub>2</sub>**

Oggi i **CIANOBATTERI** fissano CO<sub>2</sub> ed N<sub>2</sub> in molecole organiche, quindi sono in grado di sopravvivere solo con acqua, aria e luce solare e rendono possibile la sopravvivenza di altri organismi

Un'atmosfera ricca di  $O_2$  ha permesso agli organismi di ossidare più completamente le molecole ingerite

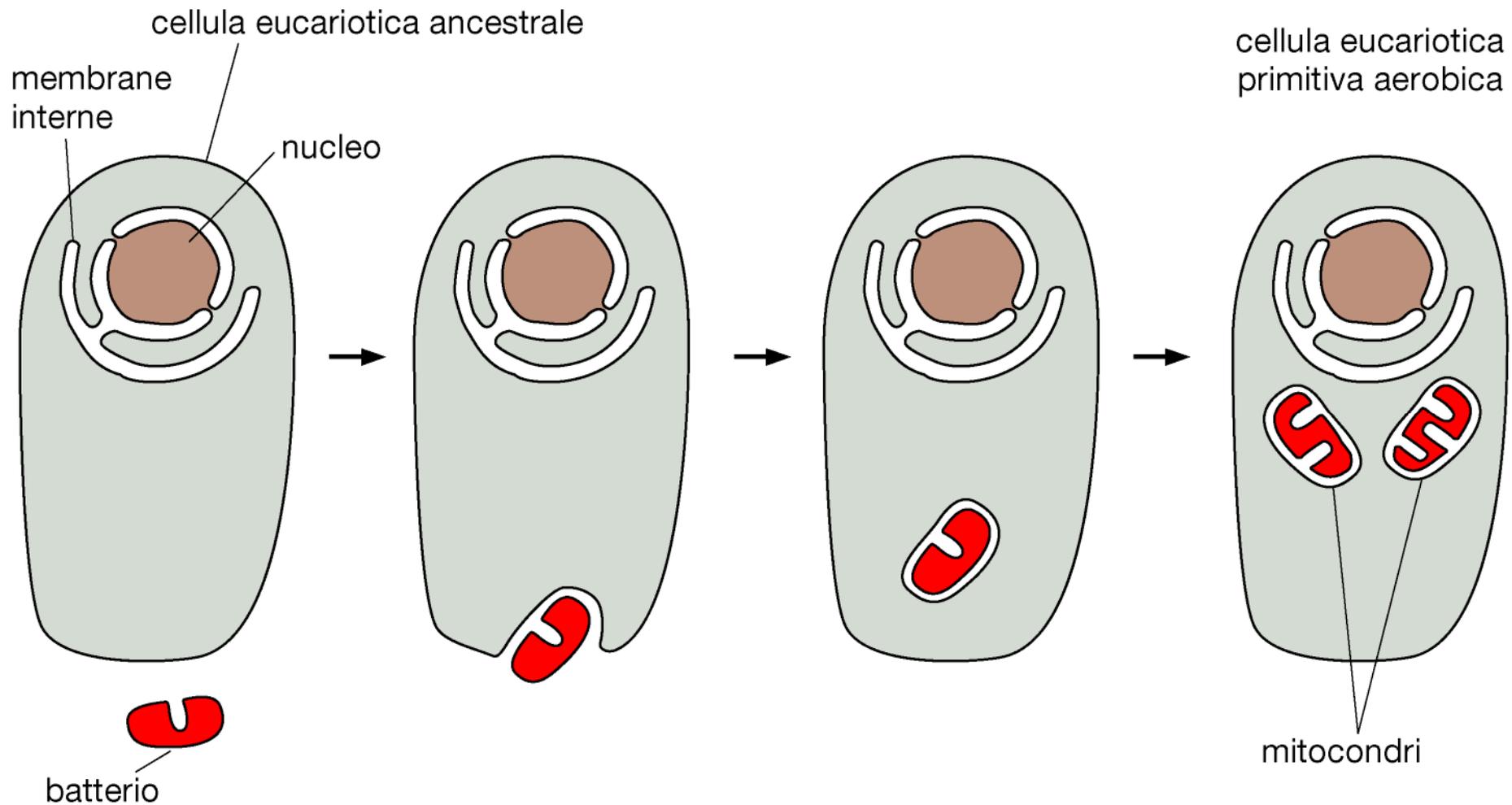
Il **glucosio** in assenza di  $O_2$  viene degradato solo ad acido lattico ed etanolo mediante la glicolisi anaerobica, mentre **in presenza di  $O_2$**  viene degradato completamente a  **$CO_2$**  ed  **$H_2O$**

**RESPIRAZIONE**: ossidazione aerobica delle molecole nutritive che attraverso reazioni di trasferimento di elettroni porta alla sintesi di **ATP** generando un gradiente di  $H^+$  ai lati di una membrana

Ma con un'atmosfera ricca di  $O_2$  cosa accade agli organismi anaerobi?

Alcuni si saranno estinti, altri avranno imparato a respirare, altri avranno trovato nicchie quasi prive di  $O_2$

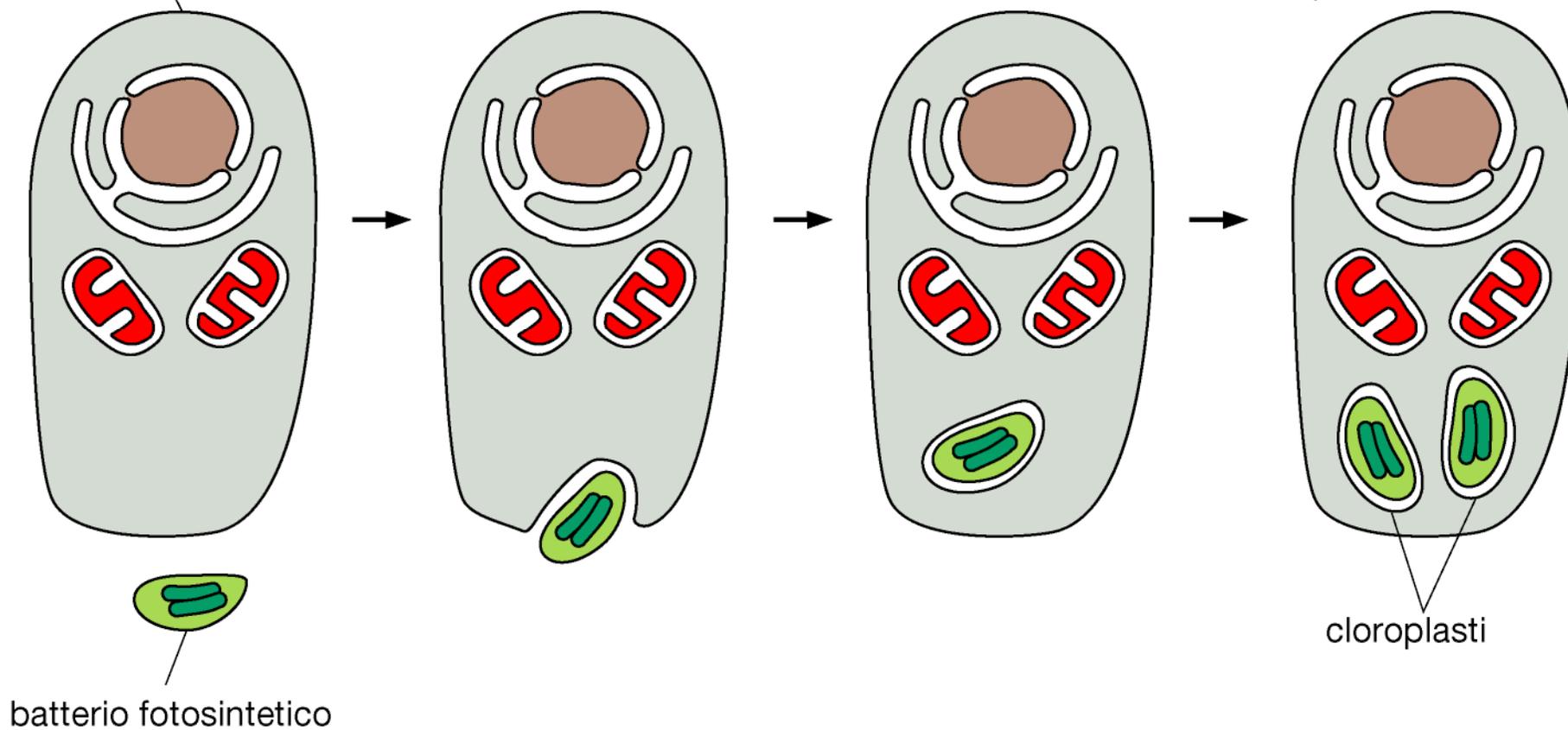
Altri probabilmente sono entrati in associazione con una cellula aerobica, in **simbiosi**



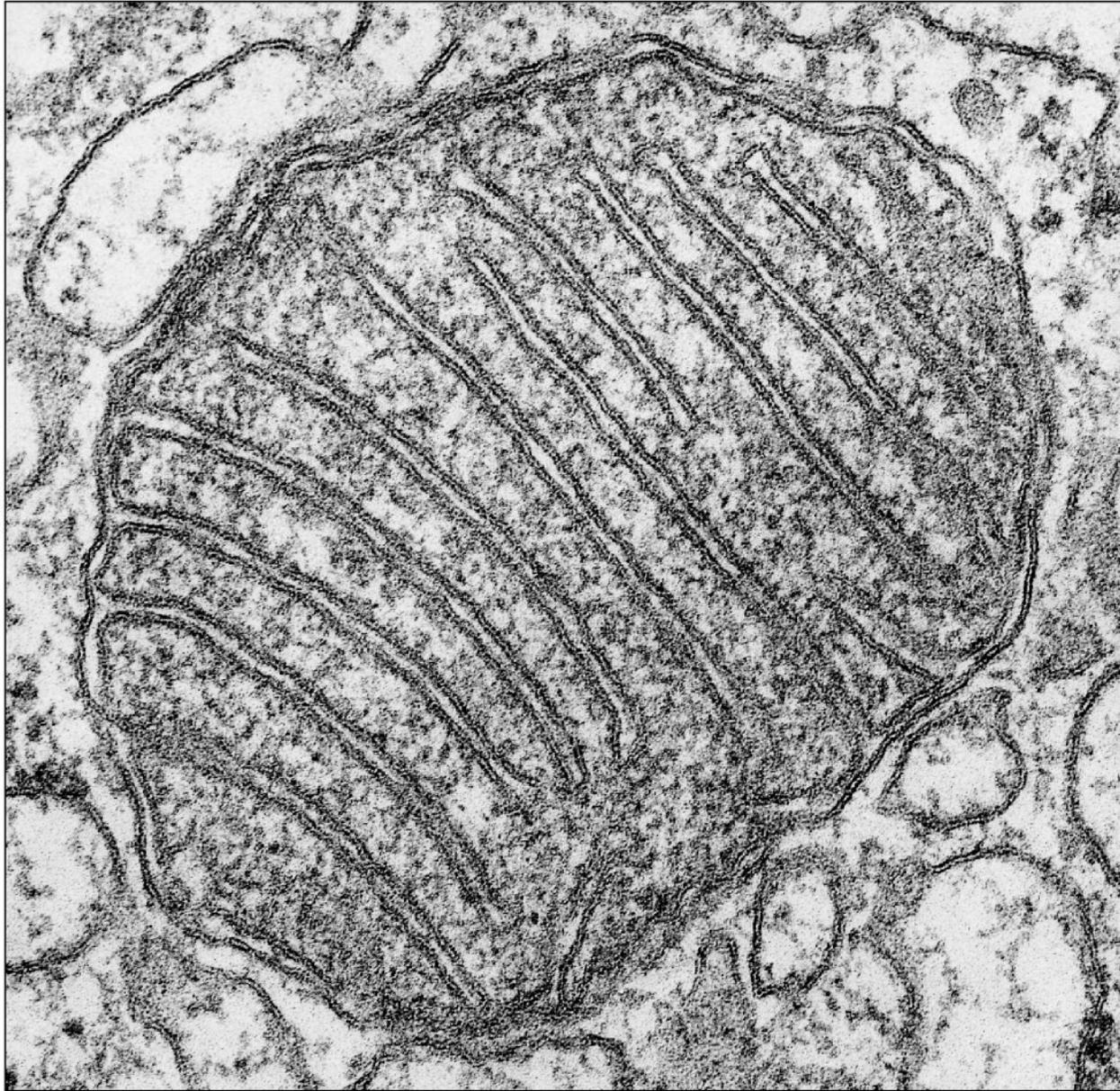
e con cellule in grado di fotosintetizzare

cellula eucariotica  
primitiva

cellula eucariotica  
primitiva  
capace di fotosintesi

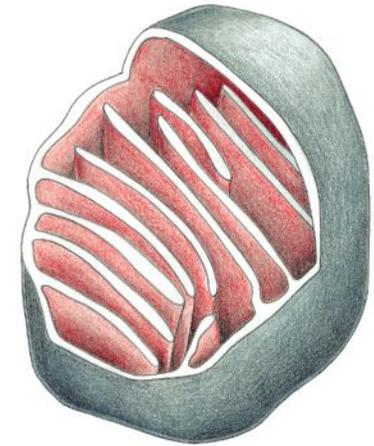


# Metabolismo ossidativo degli eucarioti: i MITOCONTRI

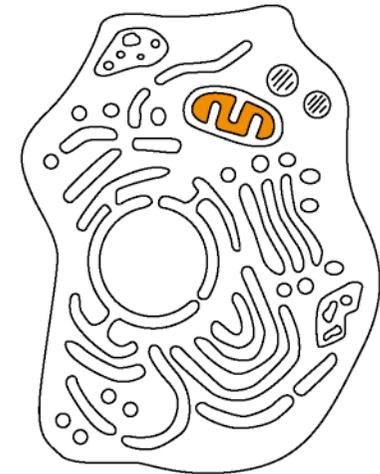


(A)

100 nm



(B)



(C)

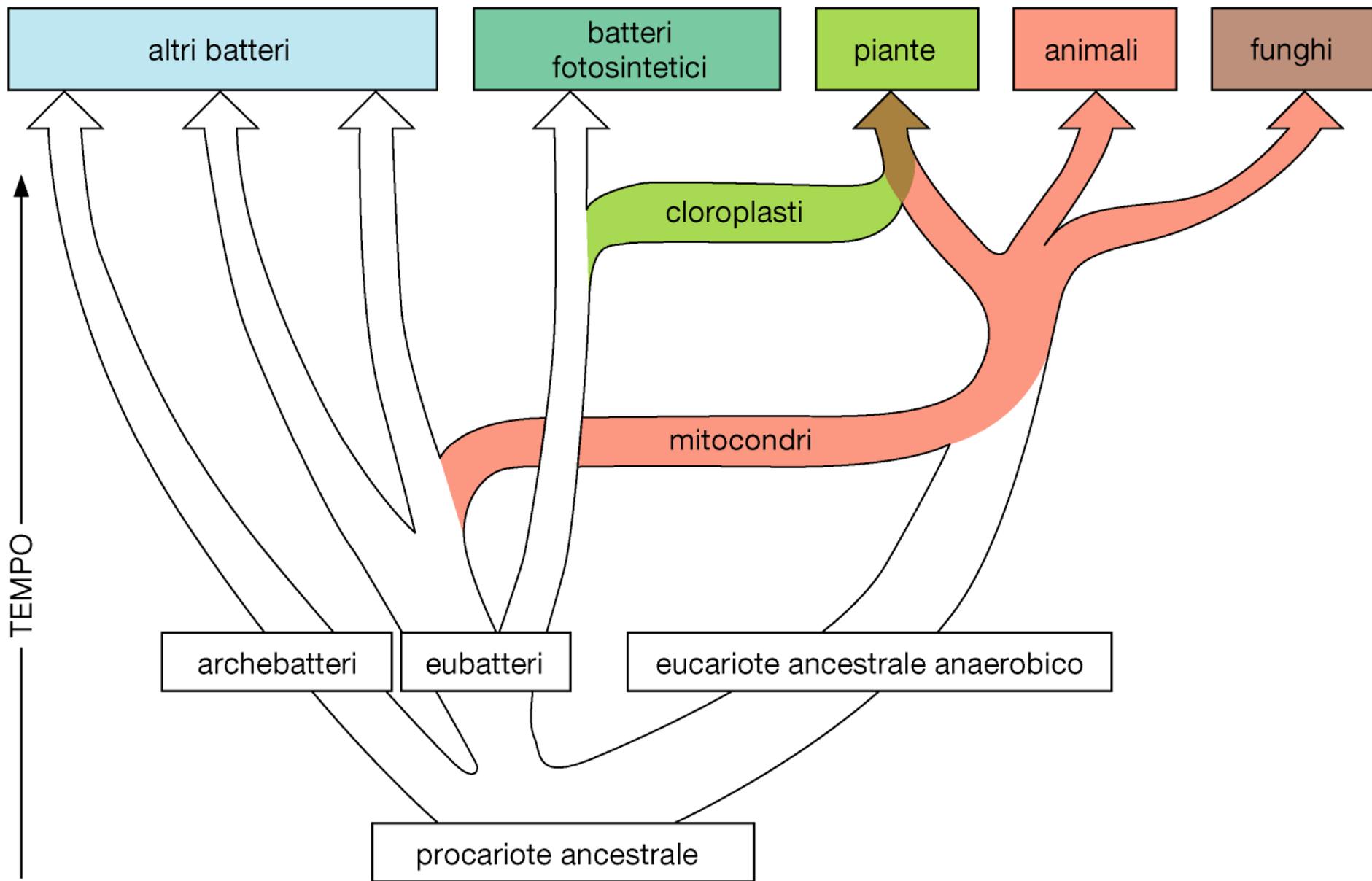
I mitocondri assomigliano ai batteri per forma, dimensioni, perché contengono DNA, fabbricano proteine e si riproducono per divisione

Molti batteri moderni respirano come i mitocondri, a sostegno della teoria simbiotica

Per contro, esistono eucarioti monocellulari anaerobi che mancano di mitocondri e vivono in ambienti poveri di ossigeno (microsporidi)

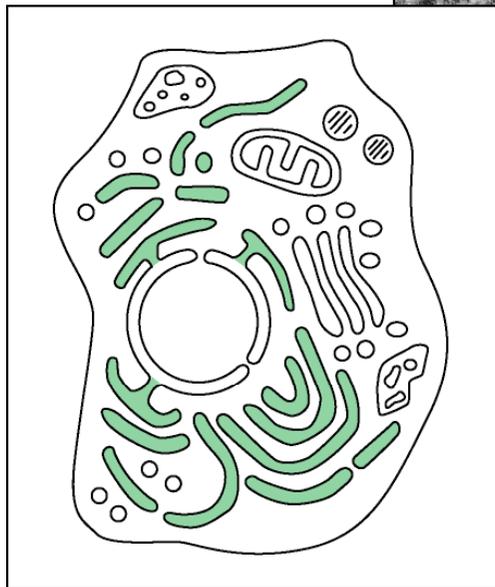
Esistono amebe senza mitocondri che ospitano in simbiosi batteri aerobi

La cellula eucariotica non necessita più di mantenere elevati gradienti di  $H^+$  ai lati di una membrana per produrre ATP, così può sfruttare i mutamenti controllati della permeabilità ionica della membrana per lo scambio di segnali fra cellule

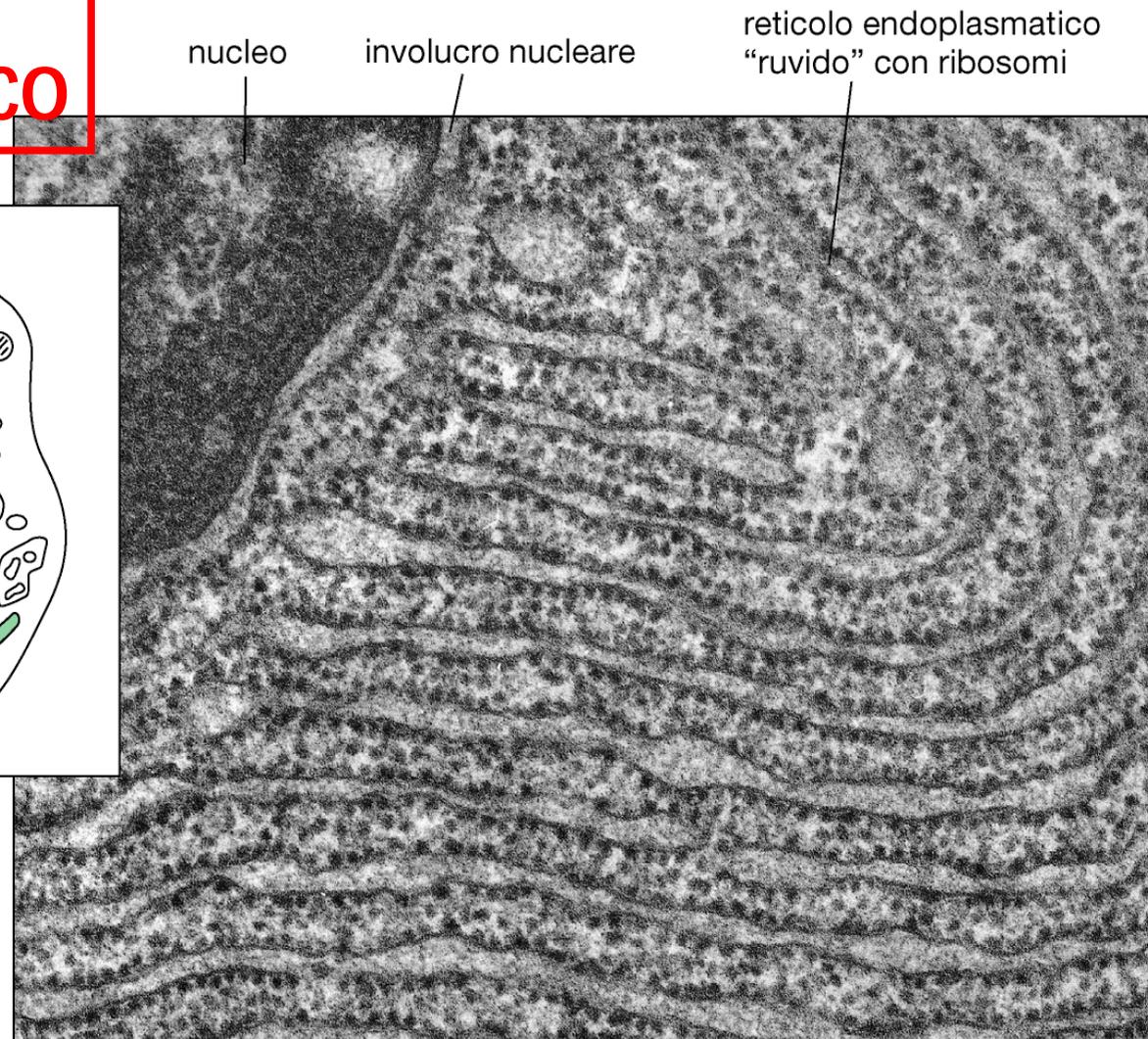


Le **cellule eucariotiche** contengono un ampio spiegamento di **membrane interne**

**RETICOLO  
ENDOPLASMATICO**



(A)

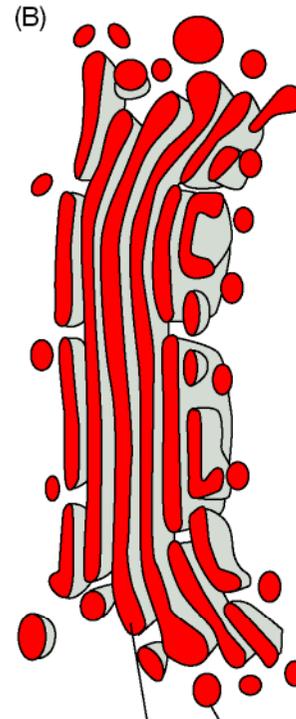
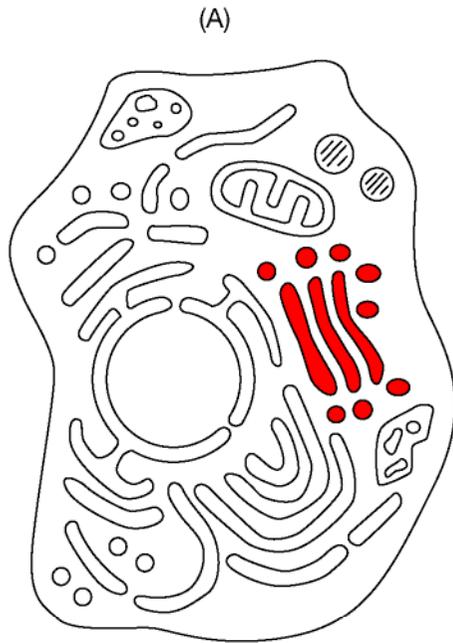


(B)

1 μm

- **lipidi e proteine delle membrane cellulari**
- **“materiali” destinati ad essere esportati dalla cellula**

# APPARATO DEL GOLGI

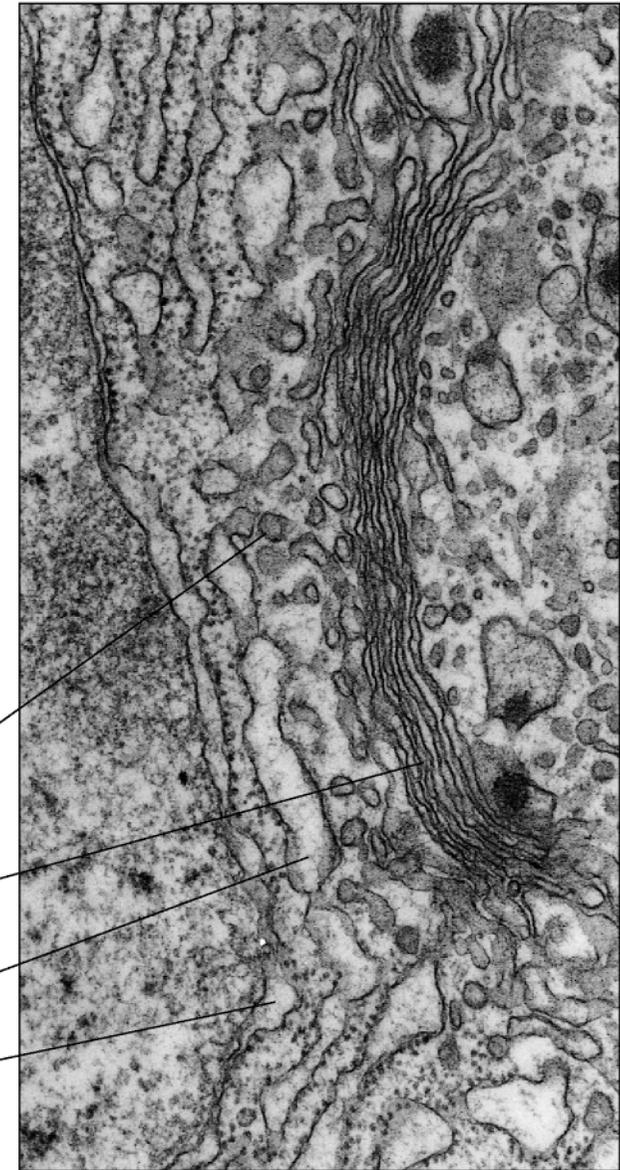


vescicole delimitate da membrane

apparato di Golgi

reticolo endoplasmatico

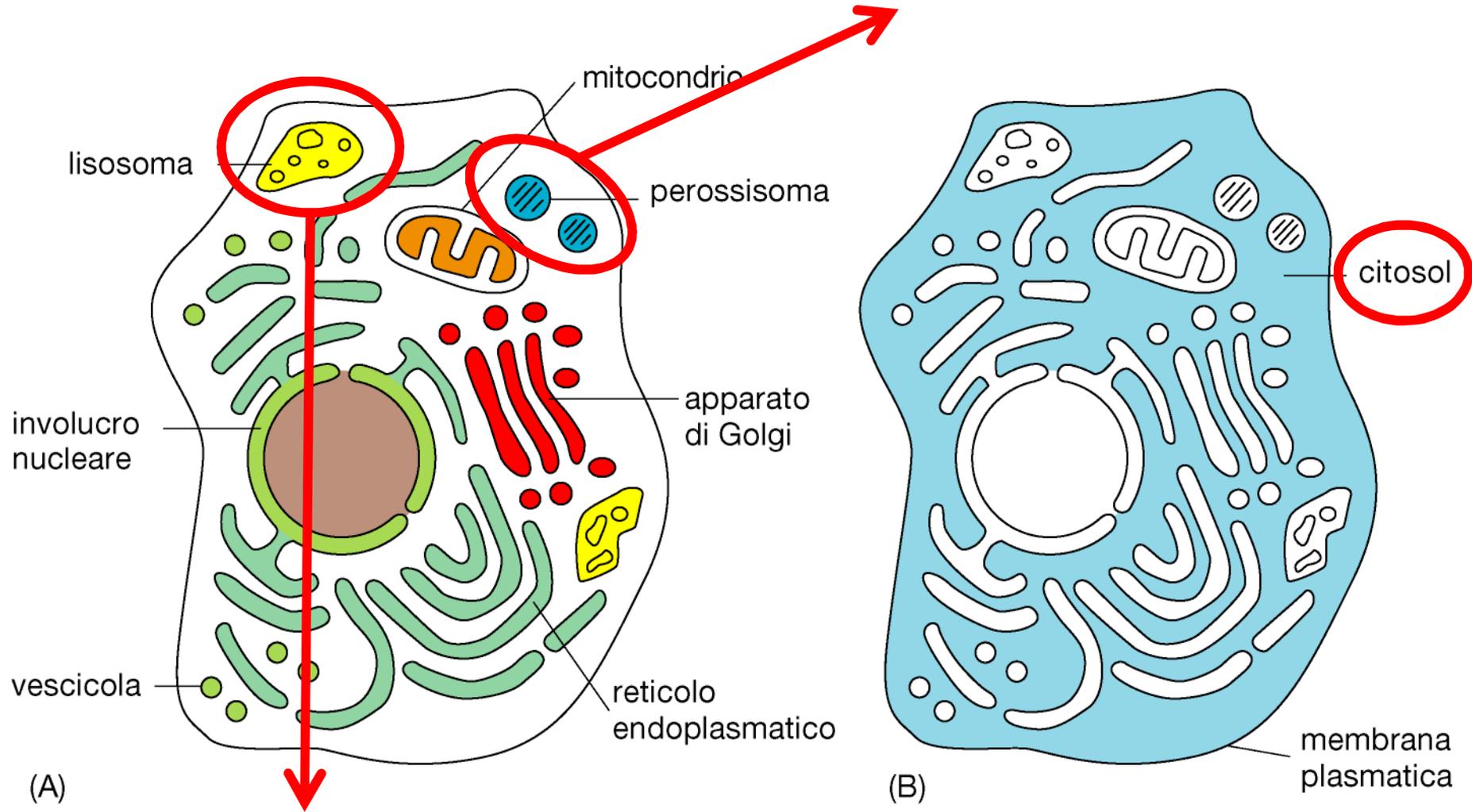
involucro nucleare



1  $\mu$ m

**modificazione e trasporto delle molecole costruite nel reticolo endoplasmatico**

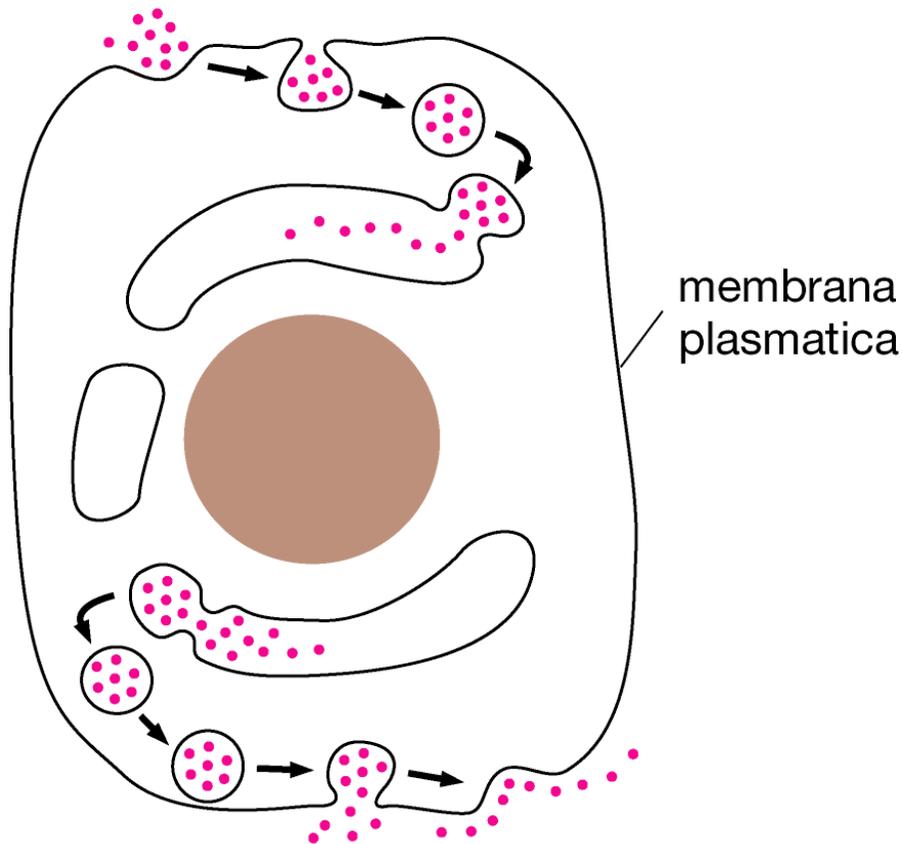
**all'interno si produce perossido di idrogeno**



**contengono riserve di enzimi necessari  
alla digestione intracellulare**

Vi è un continuo scambio fra i compartimenti interni provvisti di membrana e l'esterno della cellula, scambio che si realizza mediante **ENDOCITOSI** ed **ESOCITOSI**

IMPORTAZIONE



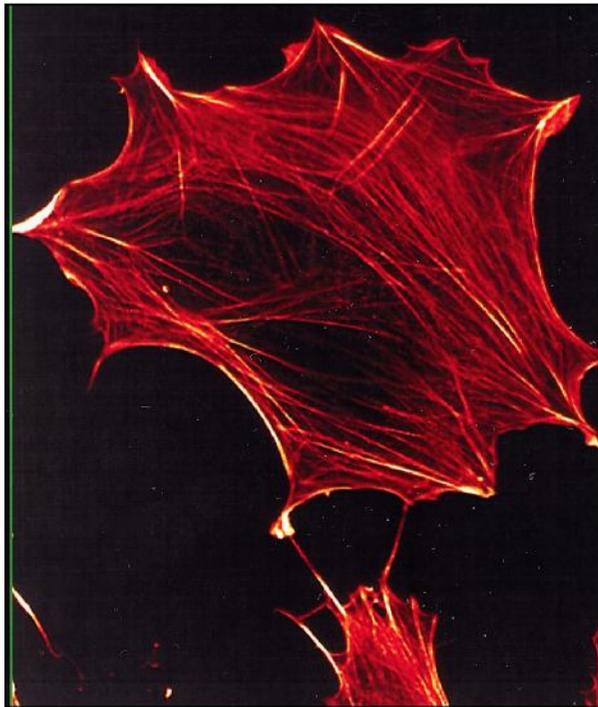
ESPORTAZIONE

- **ENDOCITOSI**: porzioni della membrana esterna invaginate e scisse per formare vescicole citoplasmatiche contenenti sostanze provenienti dal mezzo esterno
- **FAGOCITOSI**: speciale forma di endocitosi, mediante la quale possono essere assunte particelle molto grandi, persino intere cellule
- **ESOCITOSI**: processo inverso, vescicole provviste di membrana, interne alla cellula, si fondono con la membrana plasmatica e liberano il proprio contenuto all'esterno

# Le cellule eucariotiche possiedono un **CITOSCHELETRO**

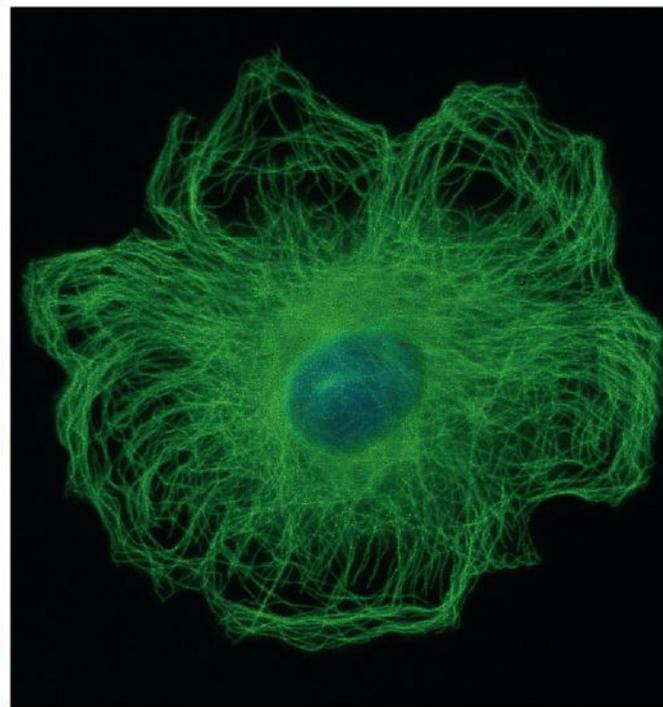
- assicura alla cellula una **forma definita**
- l'attitudine al **movimento** e la capacità di **disporre i propri organuli** e di trasportarli da una parte all'altra della cellula

- è costituito da **filamenti proteici**:  
**actina** (contrazione muscolare),  
**microtubuli** (cilia e flagelli)

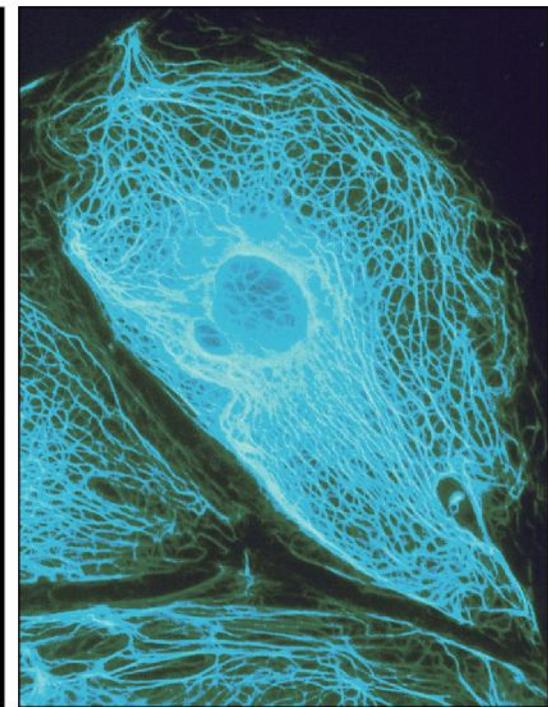


(A)

50 µm



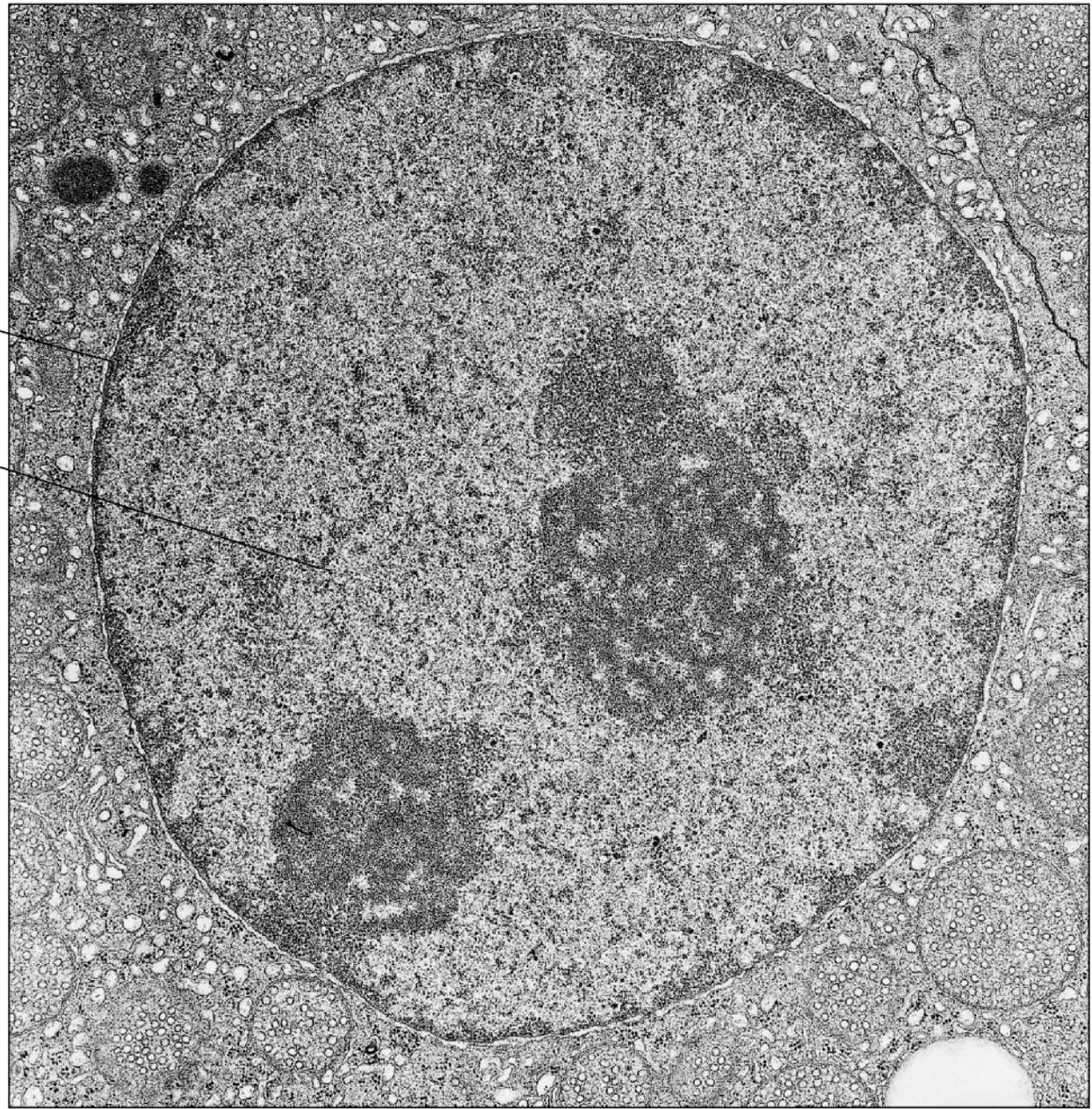
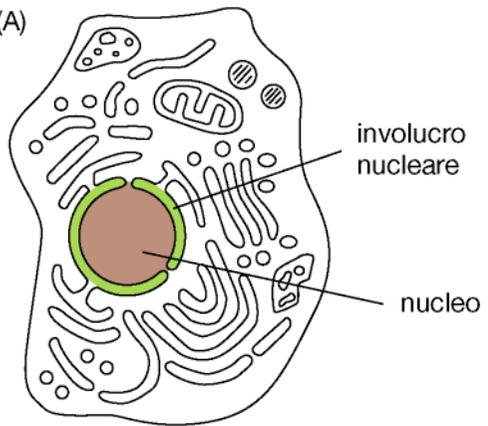
(B)



(C)

- nel **fuso mitotico** i microtubuli assumono un ruolo vitale nella ripartizione del DNA fra le cellule figlie all'atto della divisione cellulare

(A)

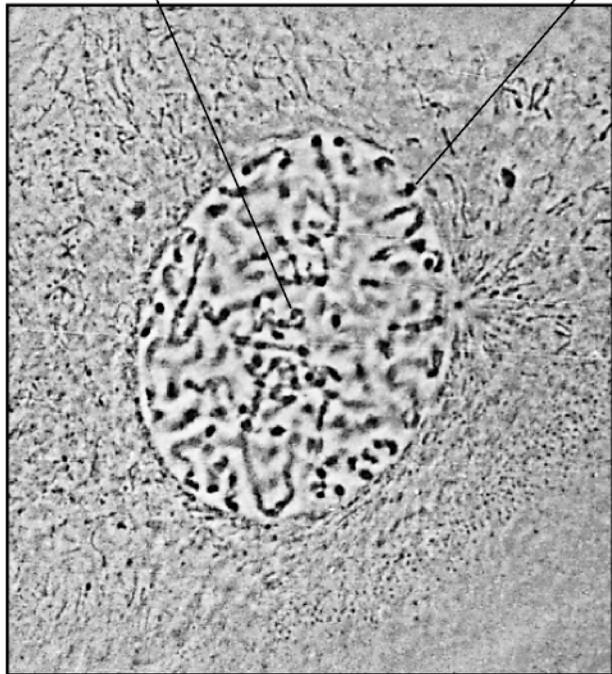


(B)

2  $\mu$ m

nucleo

involucro nucleare

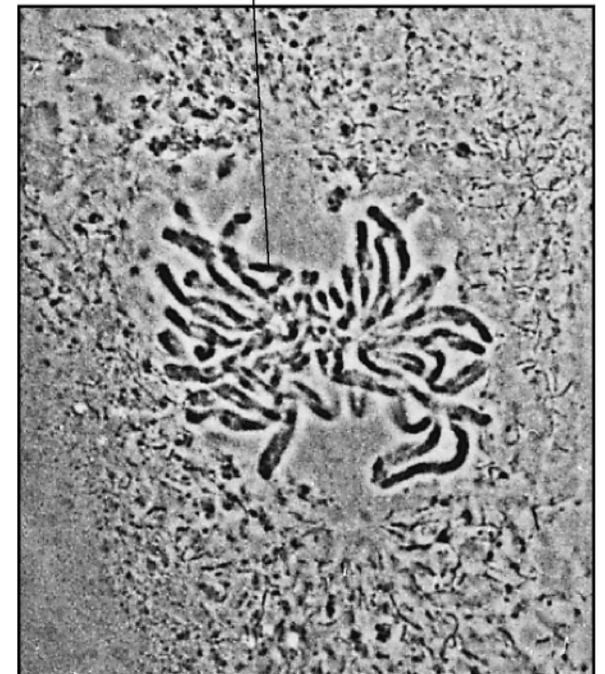


(A)



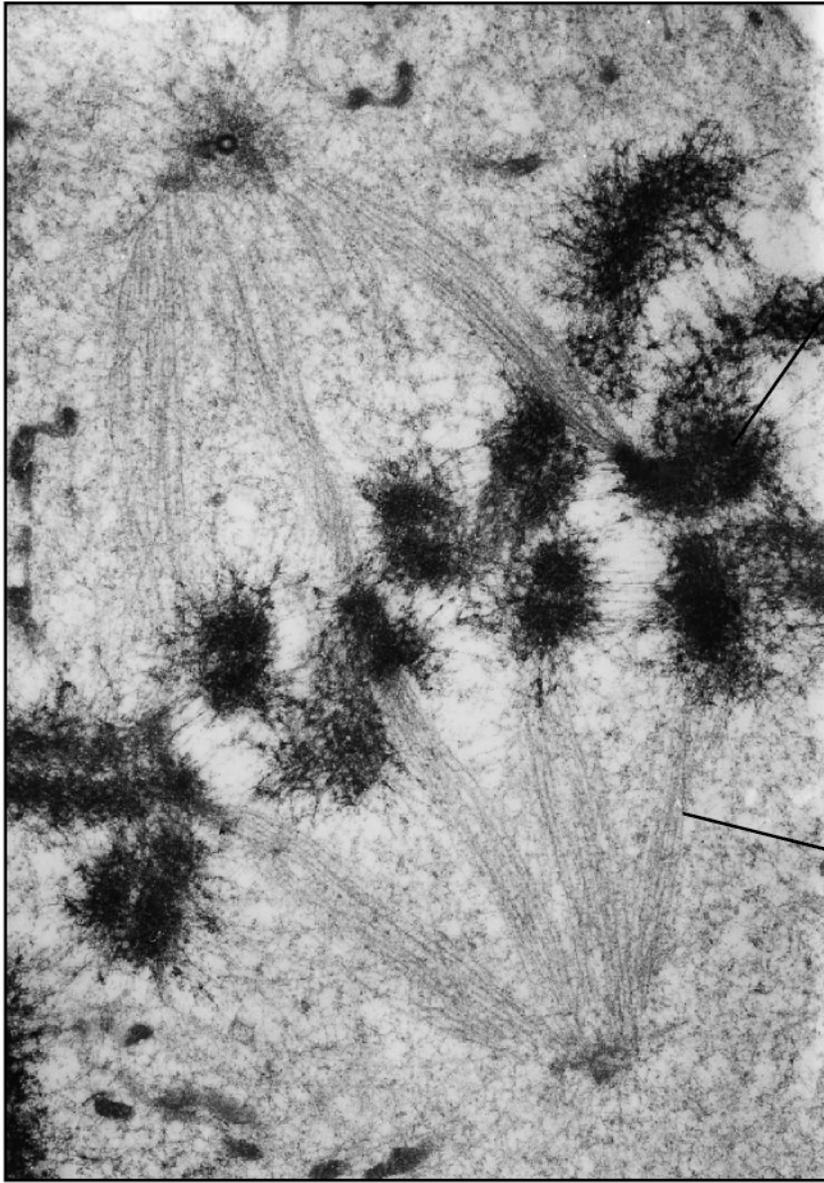
(B)

cromosomi condensati



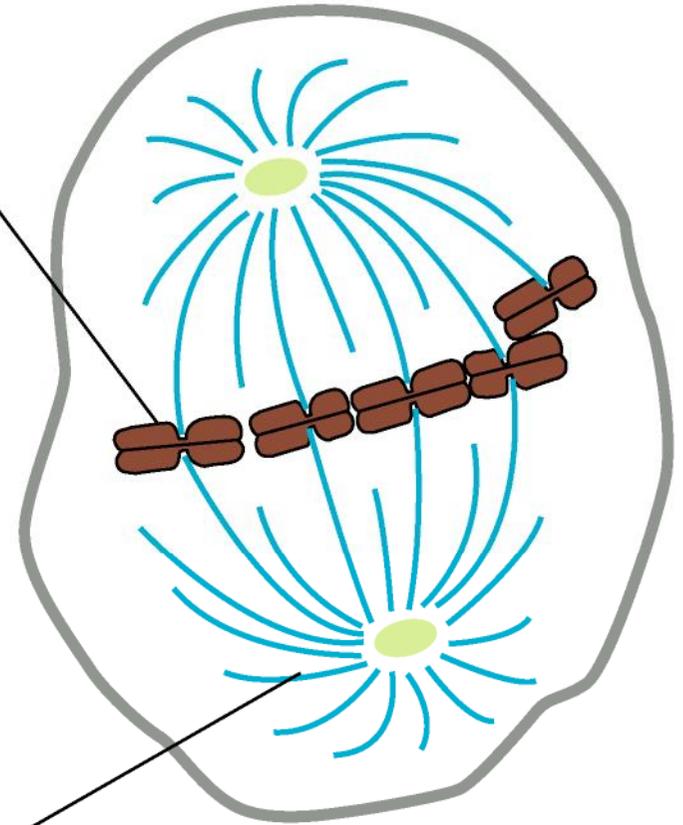
(C)

25 μm



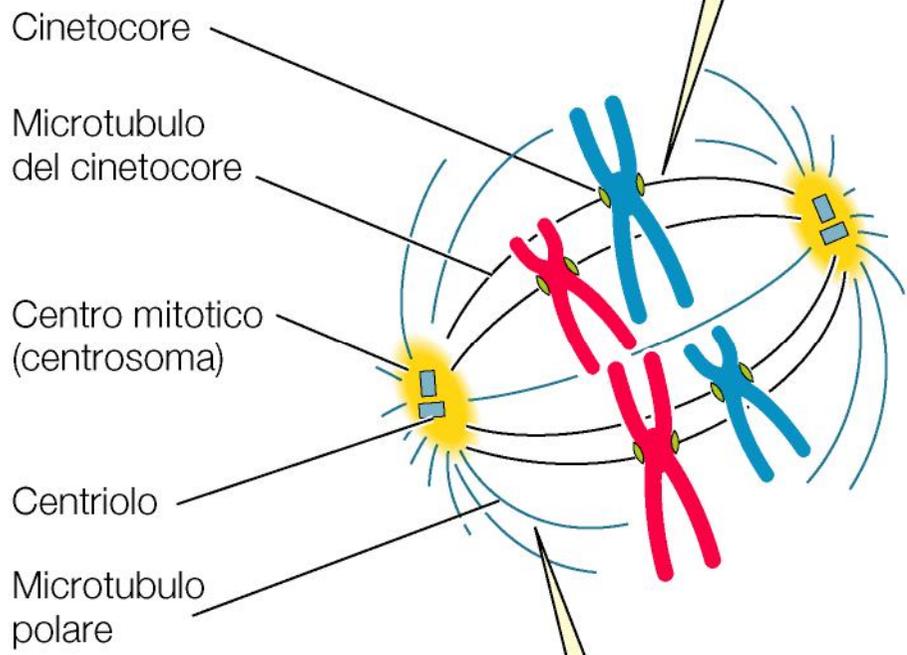
cromosomi

fascio  
di microtubuli



(a)

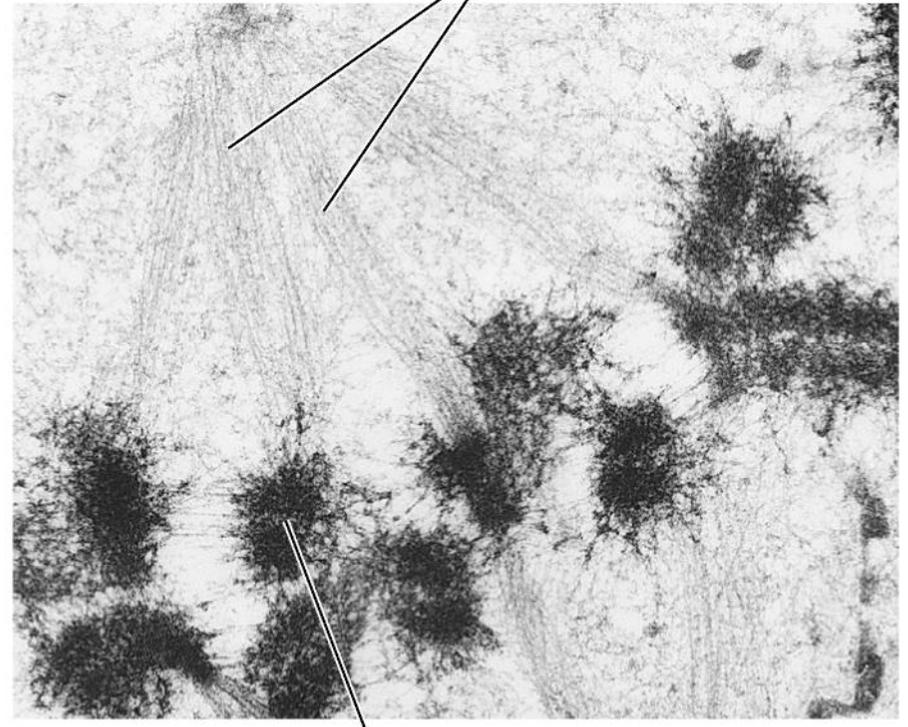
I microtubuli del cinetocore si collegano ai cinetocori e ai poli del fuso.



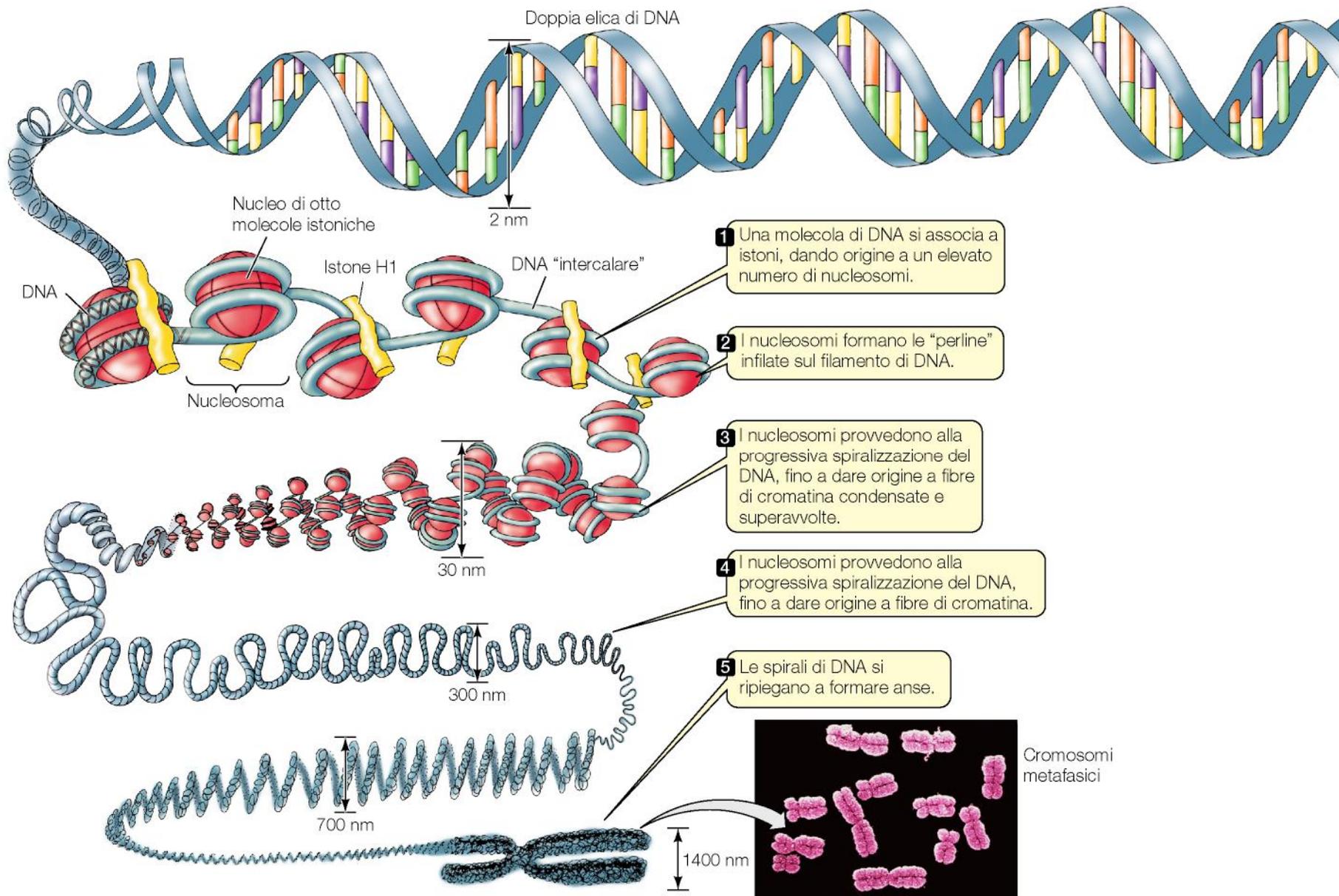
I microtubuli polari si estendono da un'estremità all'altra del fuso.

(b)

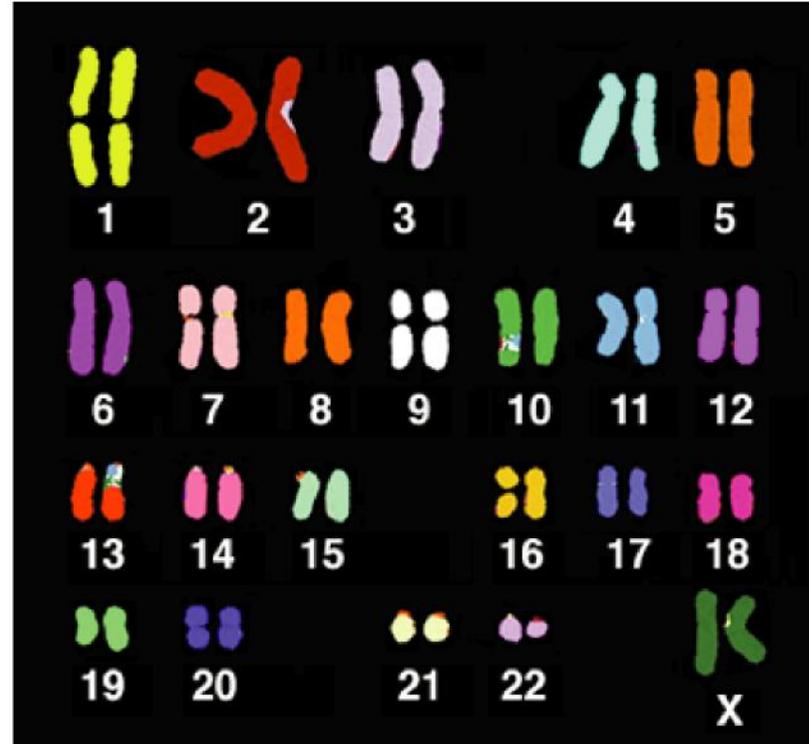
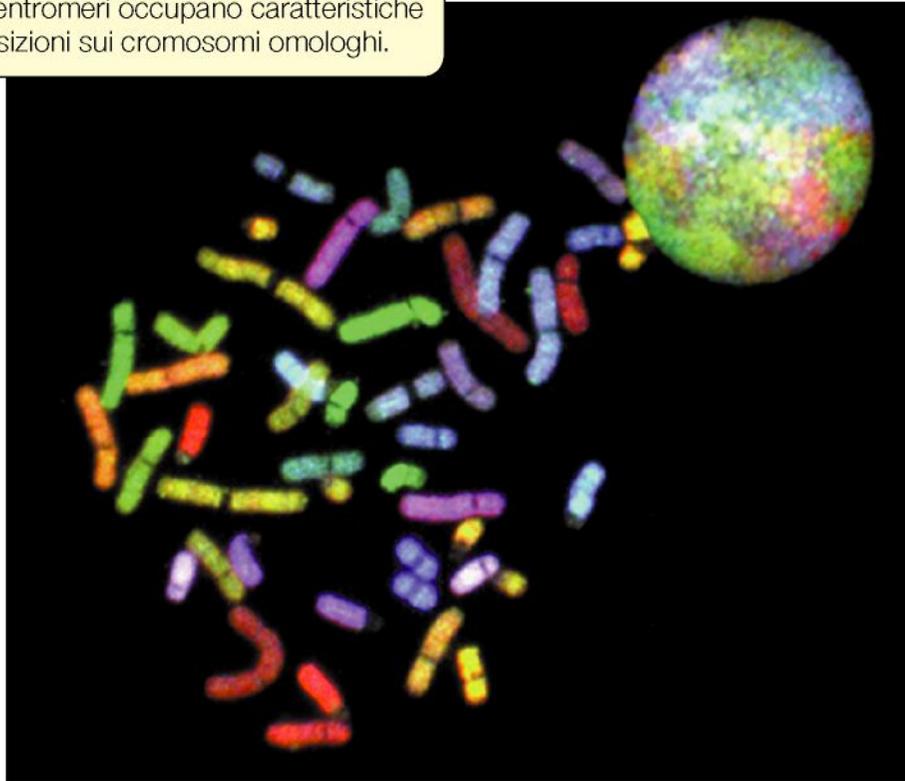
Microtubuli del cinetocore



Cinetocore



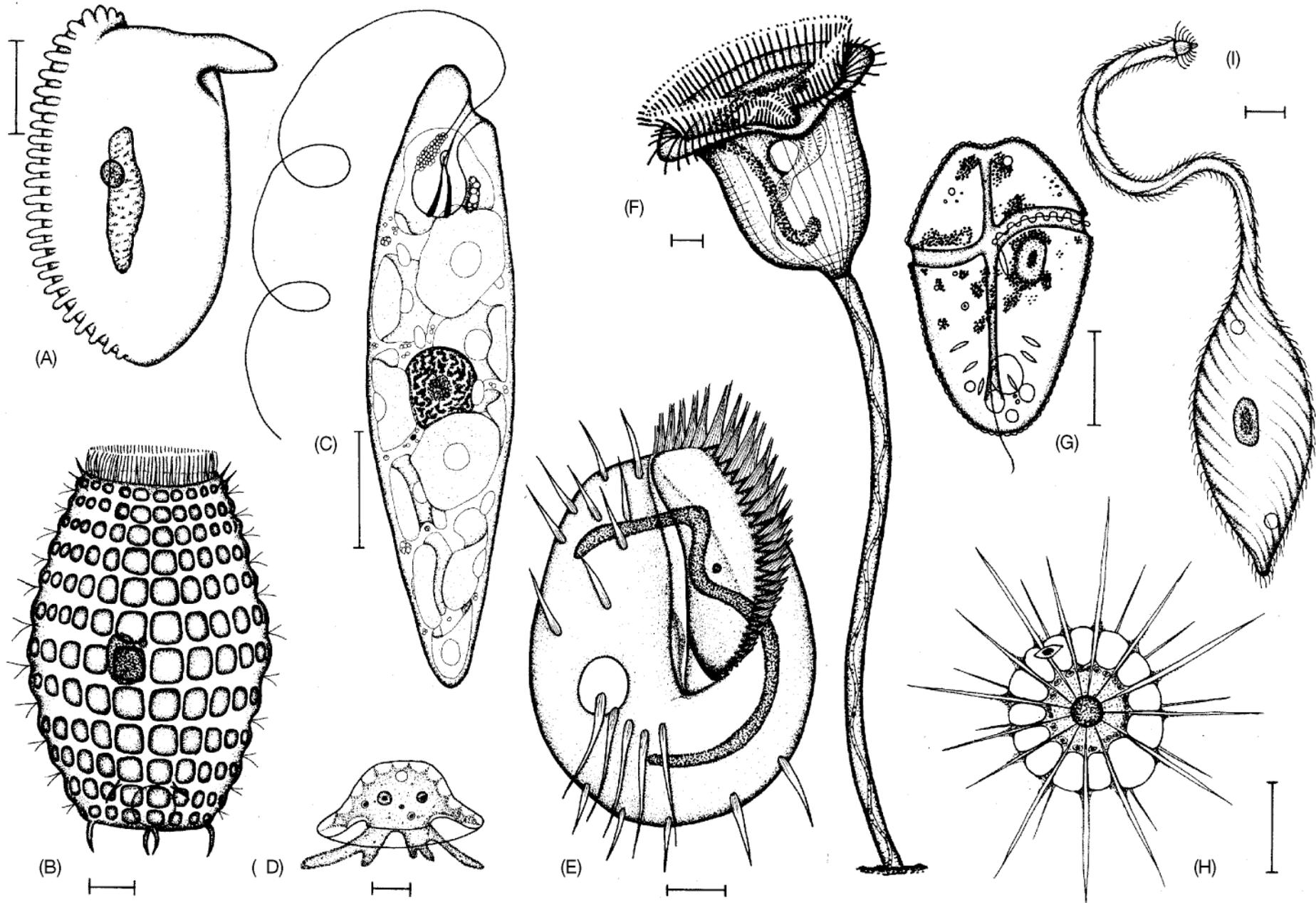
I centromeri occupano caratteristiche posizioni sui cromosomi omologhi.



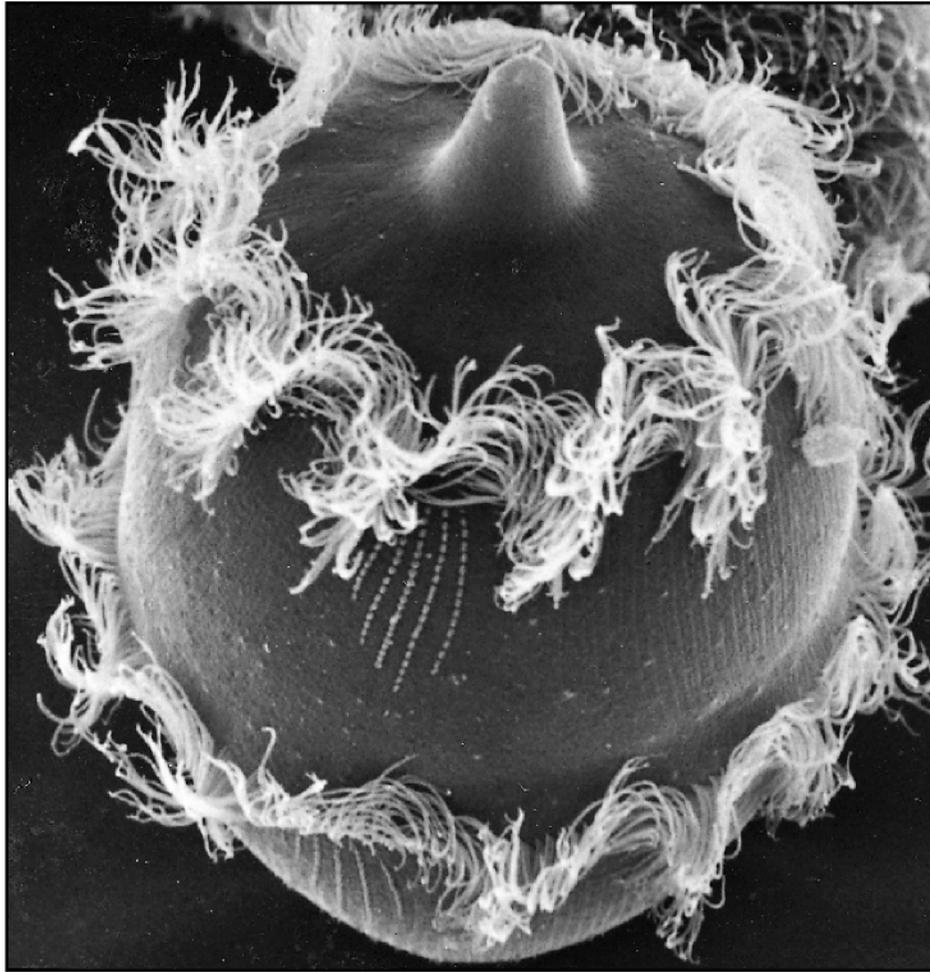
Il cariotipo umano è costituito da 23 coppie di cromosomi, compresi i cromosomi sessuali. I cromosomi sessuali della femmina sono X e X; il maschio ha un cromosoma X e uno Y.

Organism	Haploid DNA content (millions of base pairs)
<b>Bacteria</b>	
<i>Mycoplasma</i>	0.6
<i>E. coli</i>	4.6
<b>Unicellular eukaryotes</b>	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (yeast)	12
<i>Dictyostelium discoideum</i>	70
<i>Euglena</i>	3000
<b>Plants</b>	
<i>Arabidopsis thaliana</i>	130
<i>Zea mays</i> (corn)	5000
<b>Animals</b>	
<i>Caenorhabditis elegans</i> (nematode)	97
<i>Drosophila melanogaster</i> (fruit fly)	180
Chicken	1200
Zebrafish	1700
Mouse	3000
Human	3000

I **PROTOZOI** comprendono le più complesse fra le cellule note



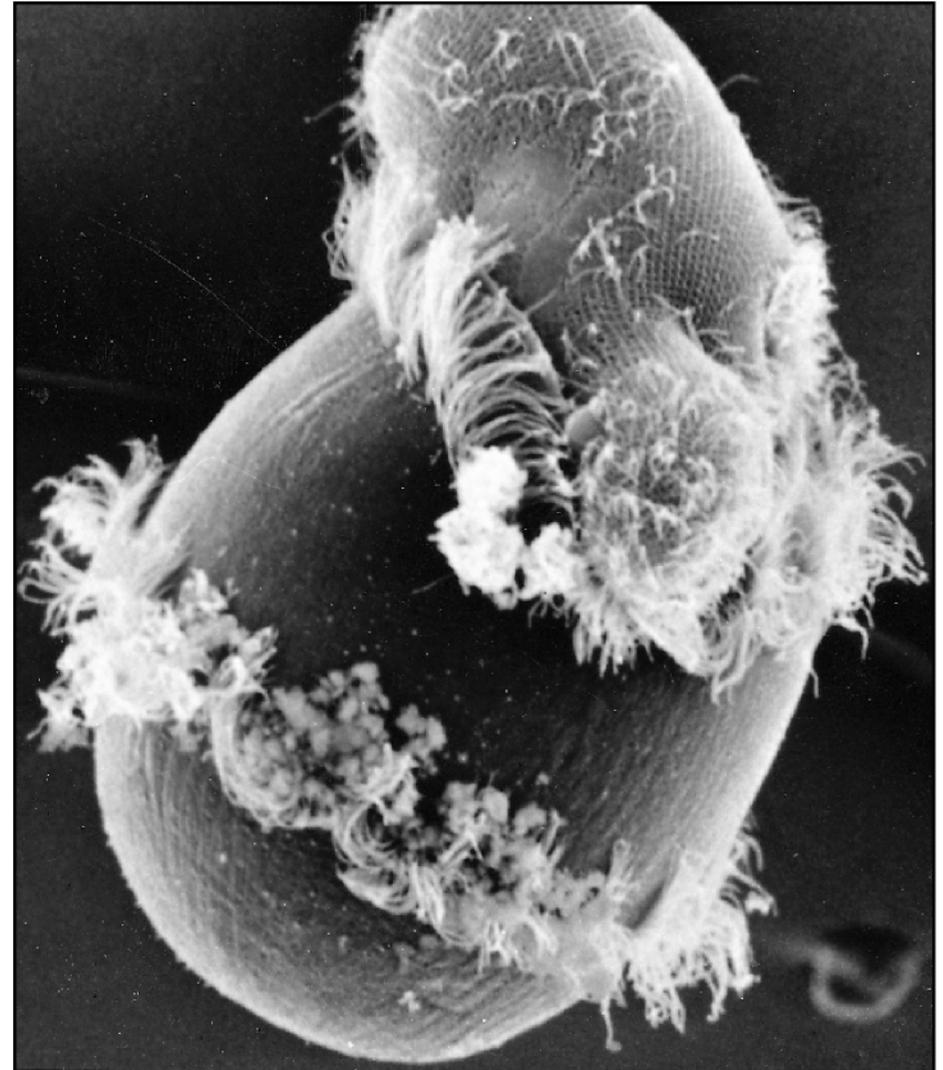
Si tratta di **PROTISTI**: eucarioti indipendenti unicellulari, che presentano variegata forme e comportamenti



(A)



100  $\mu\text{m}$



(B)

# Dalle singole cellule agli organismi pluricellulari

Uno dei primi passi nell'evoluzione degli organismi pluricellulari deve essere stato l'**associazione in colonie** di organismi unicellulari

Vi sono alghe verdi unicellulari (Chlamidomonas), simili a protozoi flagellati, che vivono in colonie. Battendo i flagelli in maniera indipendente ma nella stessa direzione possono spostare la colonia nell'acqua

Esistono colonie (Volvox) dove è possibile riscontrare una certa **suddivisione del lavoro fra le cellule**; le cellule si specializzano e cooperano

Per dar vita a un organismo multicellulare le cellule devono legarsi

Nelle colonie di Volvox si creano ponti citoplasmatici detti **plasmodesmi**

Negli animali le cellule sono connesse da una trama di molecole organiche che costituiscono la **matrice extracellulare**

Nelle spugne si raggiunge un'organizzazione delle cellule che costituiscono una lamina multicellulare coerente, ovvero un **EPITELIO**

I foglietti epiteliali racchiudono un ambiente interno protetto. Nei celenterati si distinguono un **ectoderma** ed un **endoderma**, con la possibilità di “differenziare” cellule digerenti, cellule che costituiscono una capsula per il veleno, cellule per il movimento e cellule nervose

**Le cellule dei vertebrati presentano più di 200 diversi modi di specializzazione**; si pensi soltanto ad esempio alle giunzioni neuromuscolari, in grado di generare la contrazione, al sistema immunitario, capace di discriminare chimicamente, al sistema nervoso, capace di adattarsi velocemente in risposta ad eventi esterni, ecc

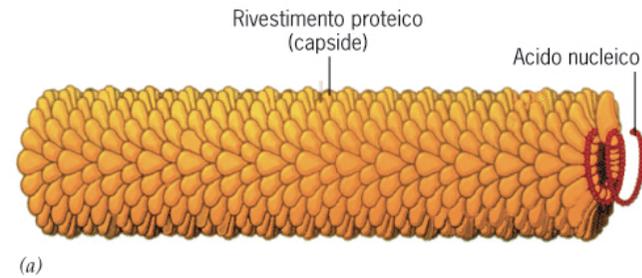
# Virus

Malattie delle piante potevano essere trasmesse con estratti che al microscopio non mostravano presenza di batteri. Gli agenti infettanti furono chiamati **virus**.

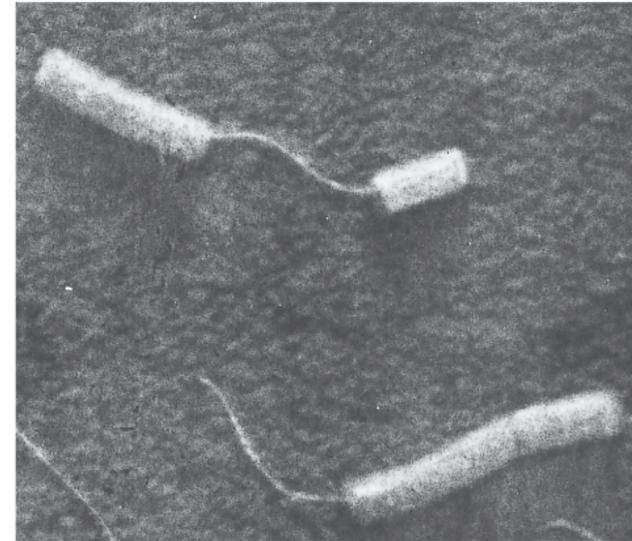
I virus sono la causa di molte **malattie** dell'uomo: AIDS, poliomelite, influenza, herpes, morbillo, alcuni tipi di cancro.

I virus sono **parassiti intracellulari obbligati**, di cellule batteriche, vegetali o animali.

Fuori dalla cellula vivente il virus esiste sotto forma di **virione**, che contiene una piccola quantità di materiale genetico (**DNA o RNA**, a singola o doppia elica), avvolto da un involucro proteico, o **capside**.



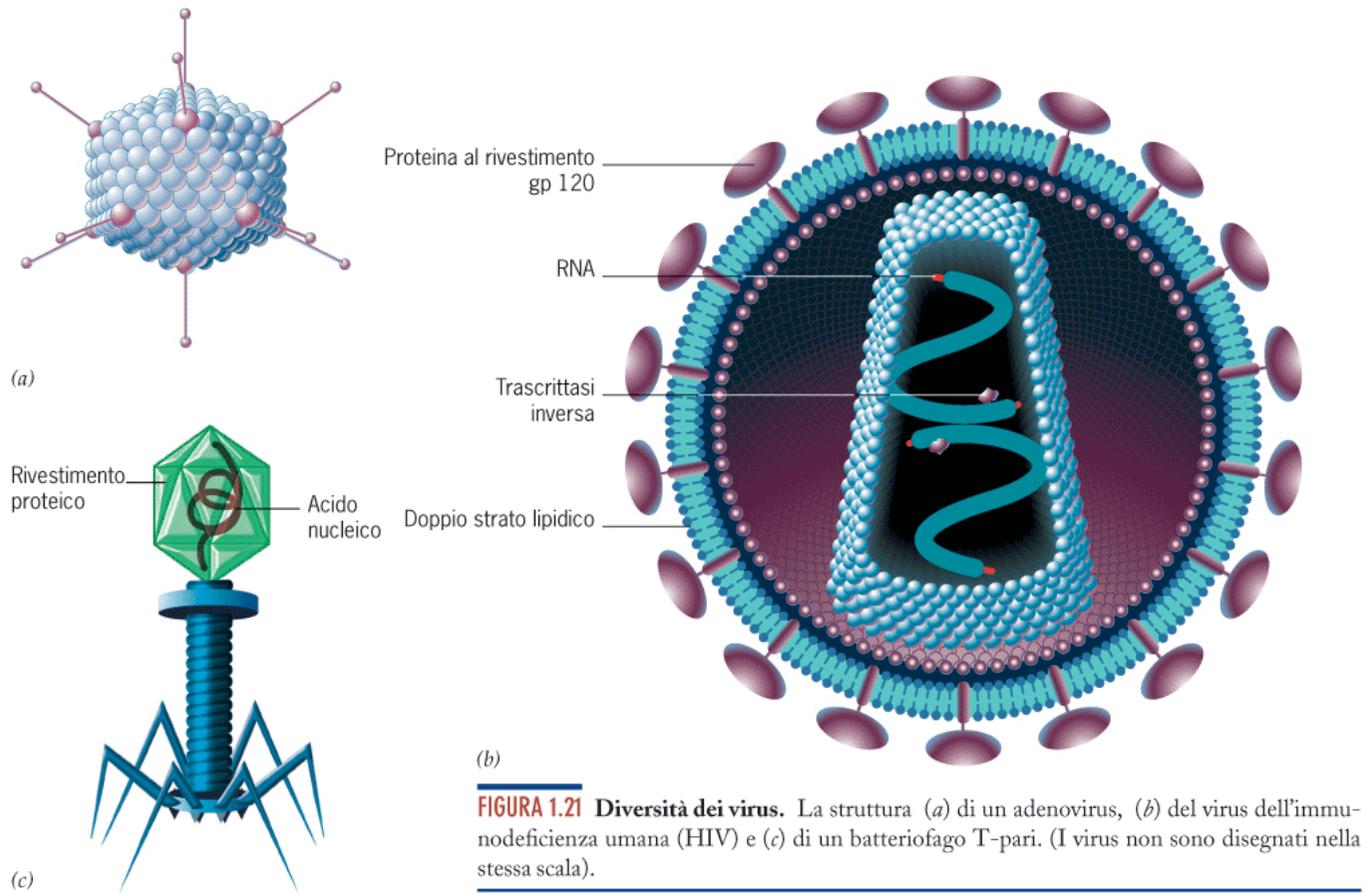
(a)



(b)

60 nm

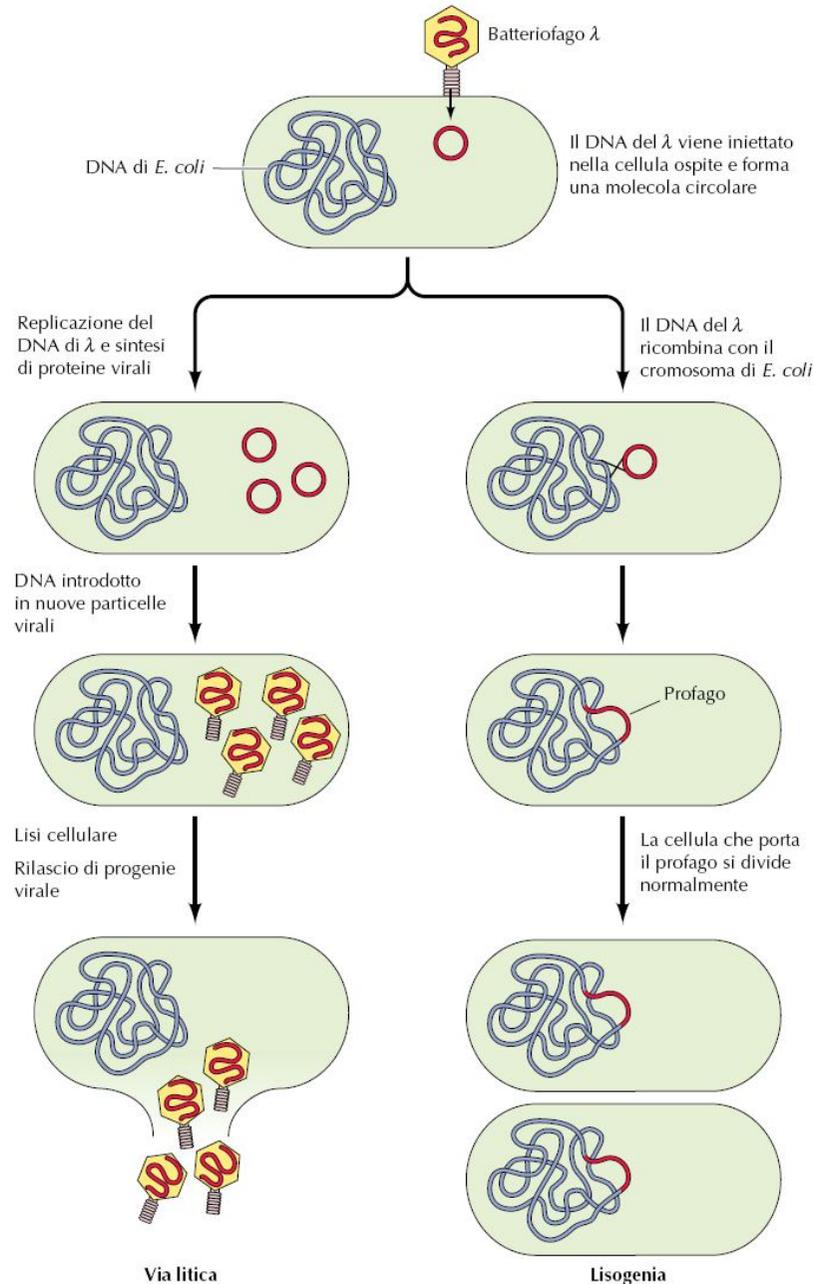
**FIGURA 1.20 Il virus del mosaico del tabacco (TMV).** (a) Disegno schematico di una porzione di una particella di TMV. Le subunità proteiche, che sono identiche lungo l'intera particella a forma di bacchetta, racchiudono un'unica molecola di RNA a singola elica (in rosso). (b) Micrografia elettronica di TMV dopo trattamento con fenolo, che ha rimosso le subunità proteiche nel mezzo della particella virale in alto e alle estremità di quella in basso. Le particelle intatte sono lunghe circa 300 nm ed hanno un diametro di 18 nm. (A: PER GENT. CONC. DI GERALD STUBBS, KEIICHI NAMBA E DONALD CASPAR; B: PER GENT. CONC. DI M. K. CORBETT).



# Le infezioni virali sono fondamentalmente di due tipi

## Via litica:

Il virus blocca le normali attività dell'ospite e costringe la cellula a costruire proteine ed acidi nucleici per assemblare nuovi virioni, che alla fine la cellula, rompendosi, libererà.



## Via lisogena:

Il virus non provoca la morte della cellula ospite ma **integra** il proprio DNA (che viene così chiamato **provirus**) in quello dell'ospite.

Sotto determinati stimoli il provirus silente può attivarsi e causare la lisi; in altri casi si produce nuova progenie virale per gemmazione, senza lisi; in altri casi la cellula ospite perde il controllo della crescita divenendo maligna.

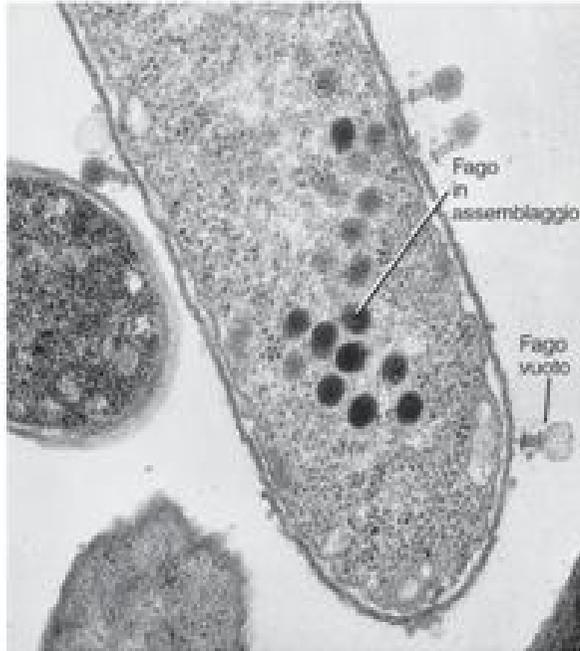
## Qualche virtù:

Usati come modello sperimentale per capire meccanismi di organismi molto più complessi.

Introdurre geni estranei nelle cellule umane (terapia genica)

Uccidono insetti

Trattamento contro infezioni batteriche



(a) 0,2 µm



(b) 0,1 µm