

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

Esperimento di Miller - Urey

Miscele di gas come CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2 riscaldate con acqua, eccitate con scariche elettriche o radiazioni ultraviolette, reagiscono dando luogo a piccole molecole organiche

Amminoacidi
Zuccheri

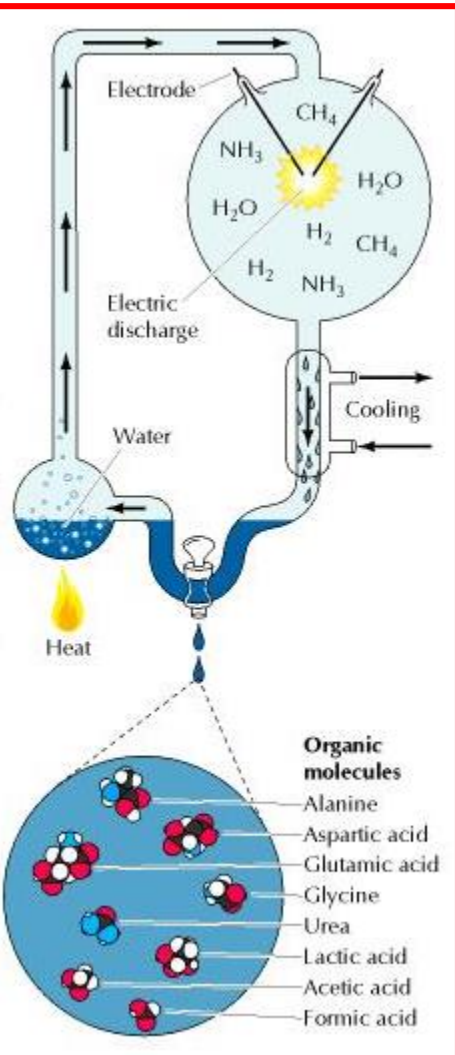
Nucleotidi
Acidi grassi

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

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

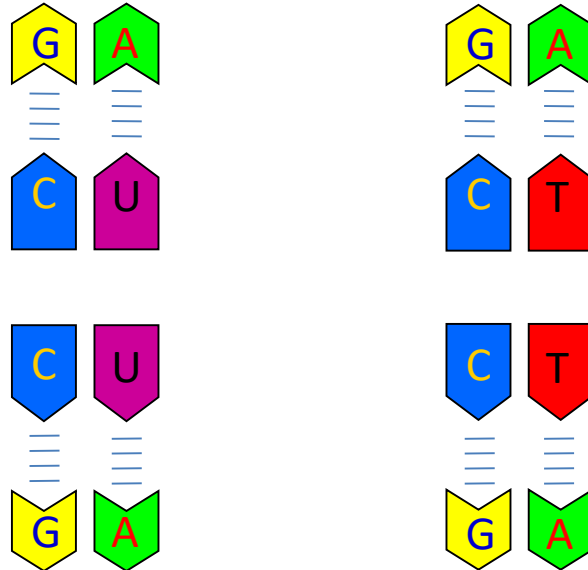
Proteine

Acidi ribonucleici (RNA) e deossiribonucleici (DNA)



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

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



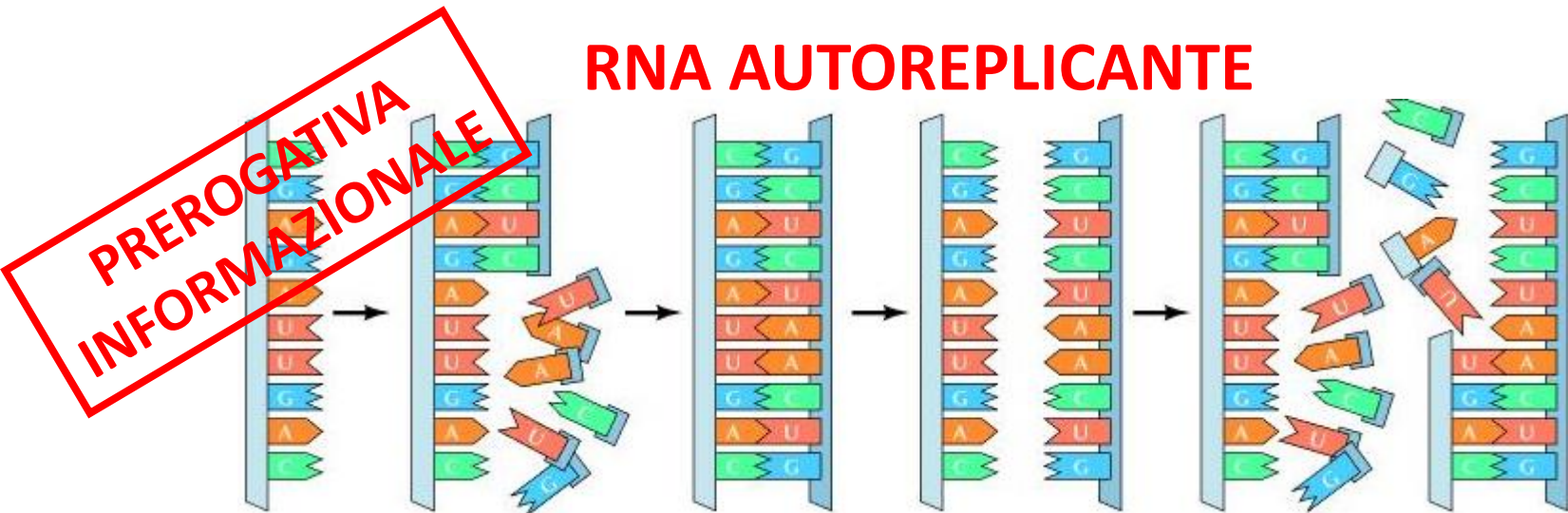
Duplicazione complementare a stampo

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 **systemi autoreplicanti di RNA** avrebbero iniziato il processo evolutivo

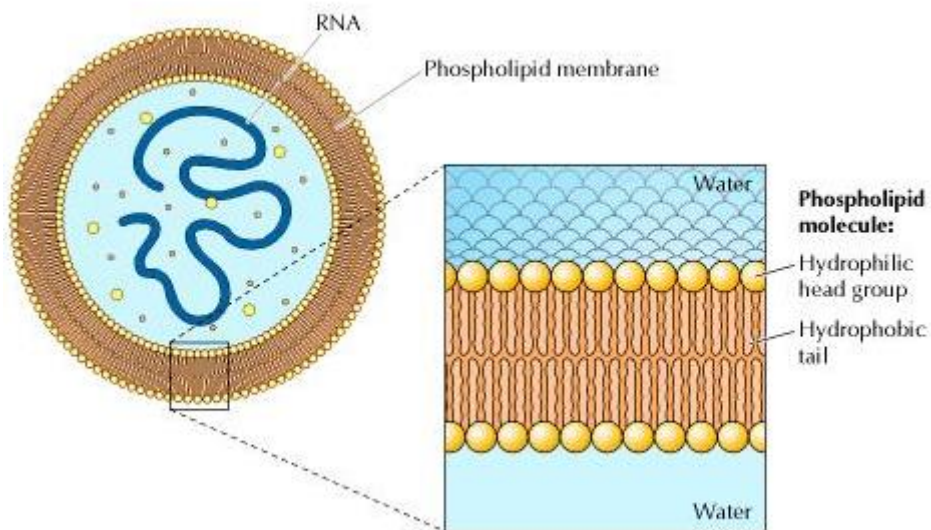
Poi però i **polipeptidi** avrebbero mostrato maggiore **versatilità ed efficienza** come catalizzatori

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**

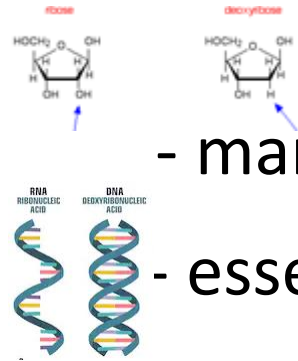


COMPARTIMENTI

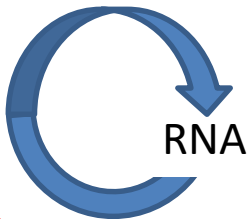
Molecole **anfipatiche**:
- porzione idrofoba
- porzione idrofila

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

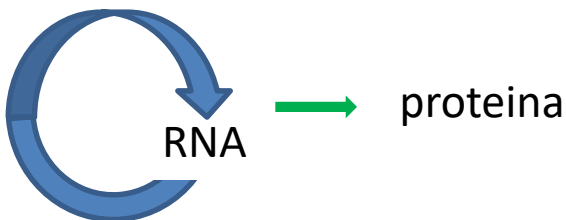


Sistemi basati sull'RNA

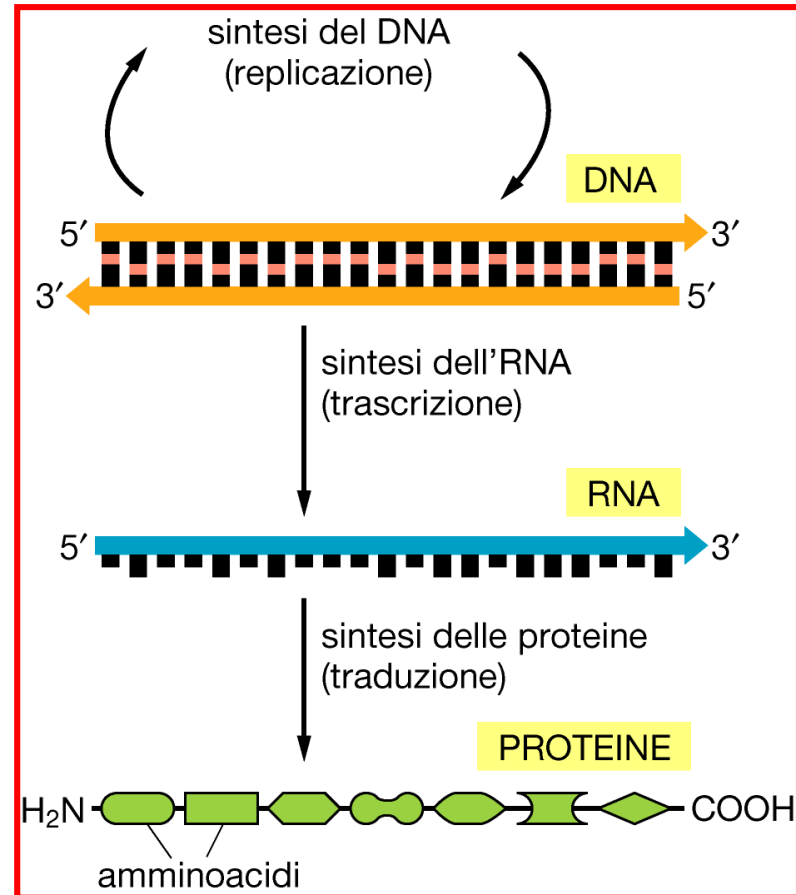


Evoluzione degli RNA adattatori

Sistemi basati su RNA e proteine



Evoluzione di nuovi enzimi che generano DNA e ne ricavano copie di RNA



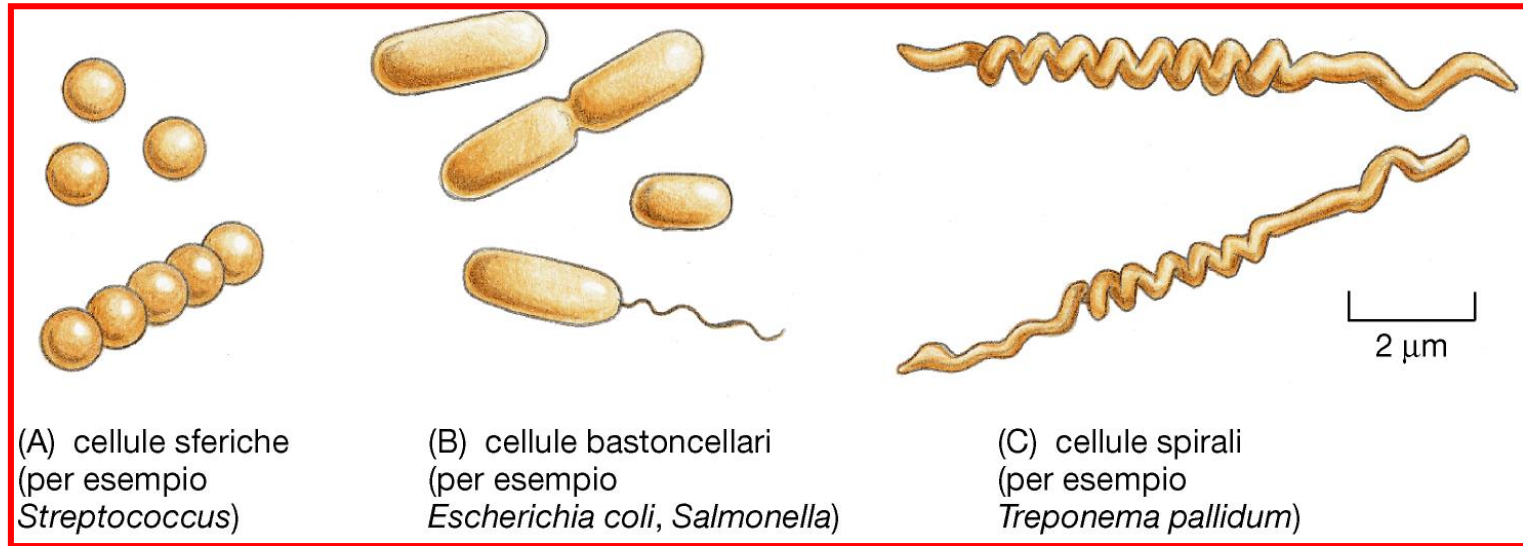
Dai procarioti agli eucarioti

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

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

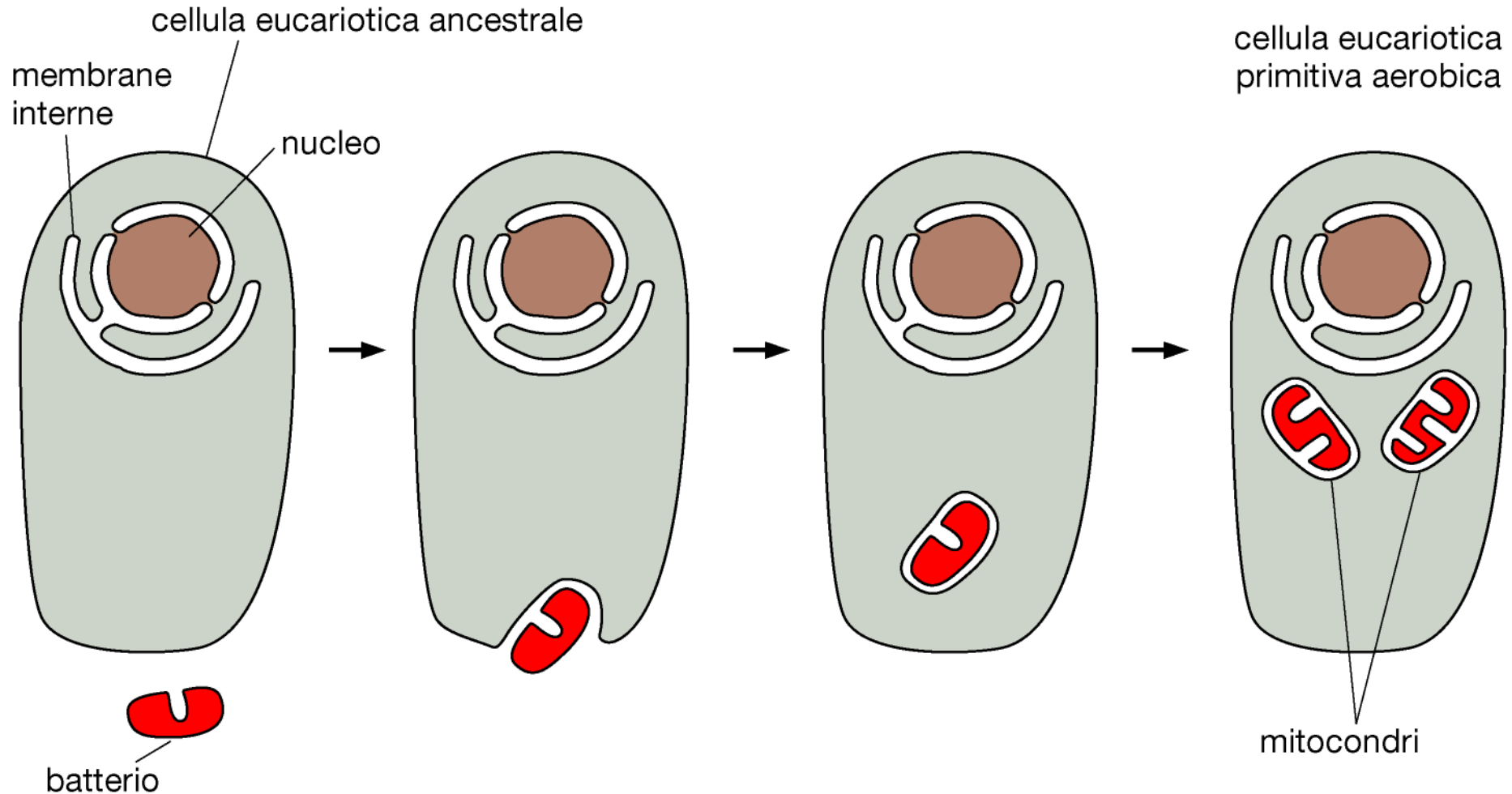
Il glucosio in assenza di O_2 viene degradato solo ad acido lattico ed etanolo mediante la glicolisi anaerobica, mentre in presenza di O_2 viene degradato completamente a CO_2 ed H_2O

RESPIRAZIONE: ossidazione aerobica delle molecole nutritive che porta alla sintesi di **ATP**

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

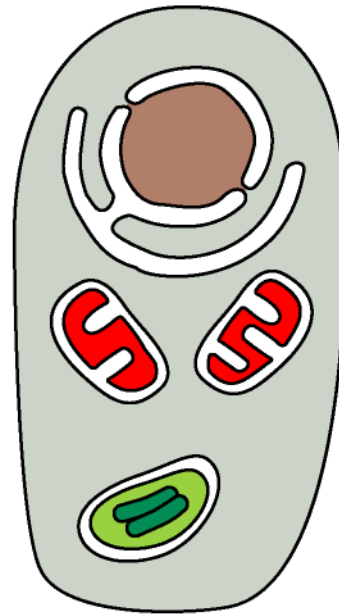
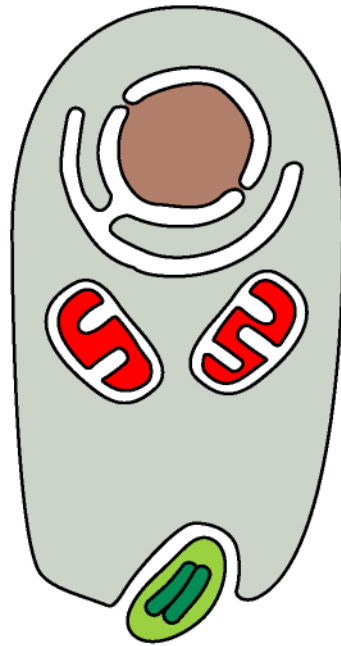
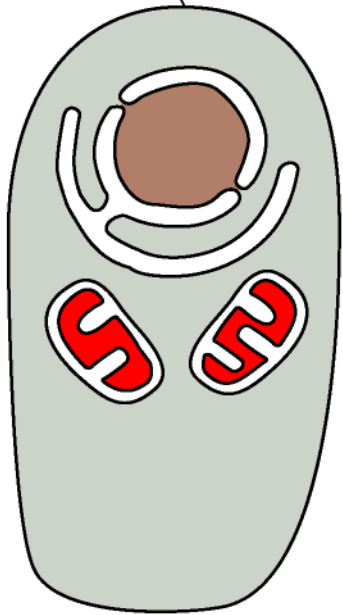
Alcuni si saranno estinti, altri avranno imparato a respirare, altri avranno trovato nicchie quasi prive di O_2

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

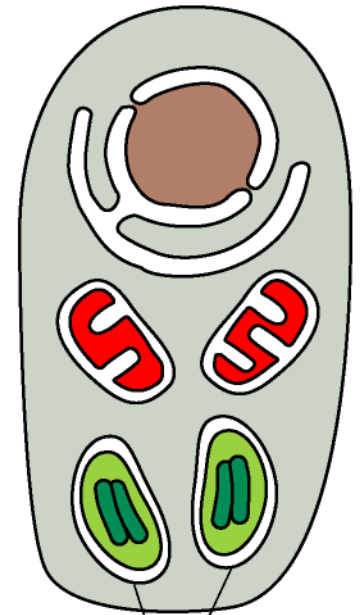


e con cellule in grado di fotosintetizzare

cellula eucariotica
primitiva



cellula eucariotica
primitiva
capace di fotosintesi

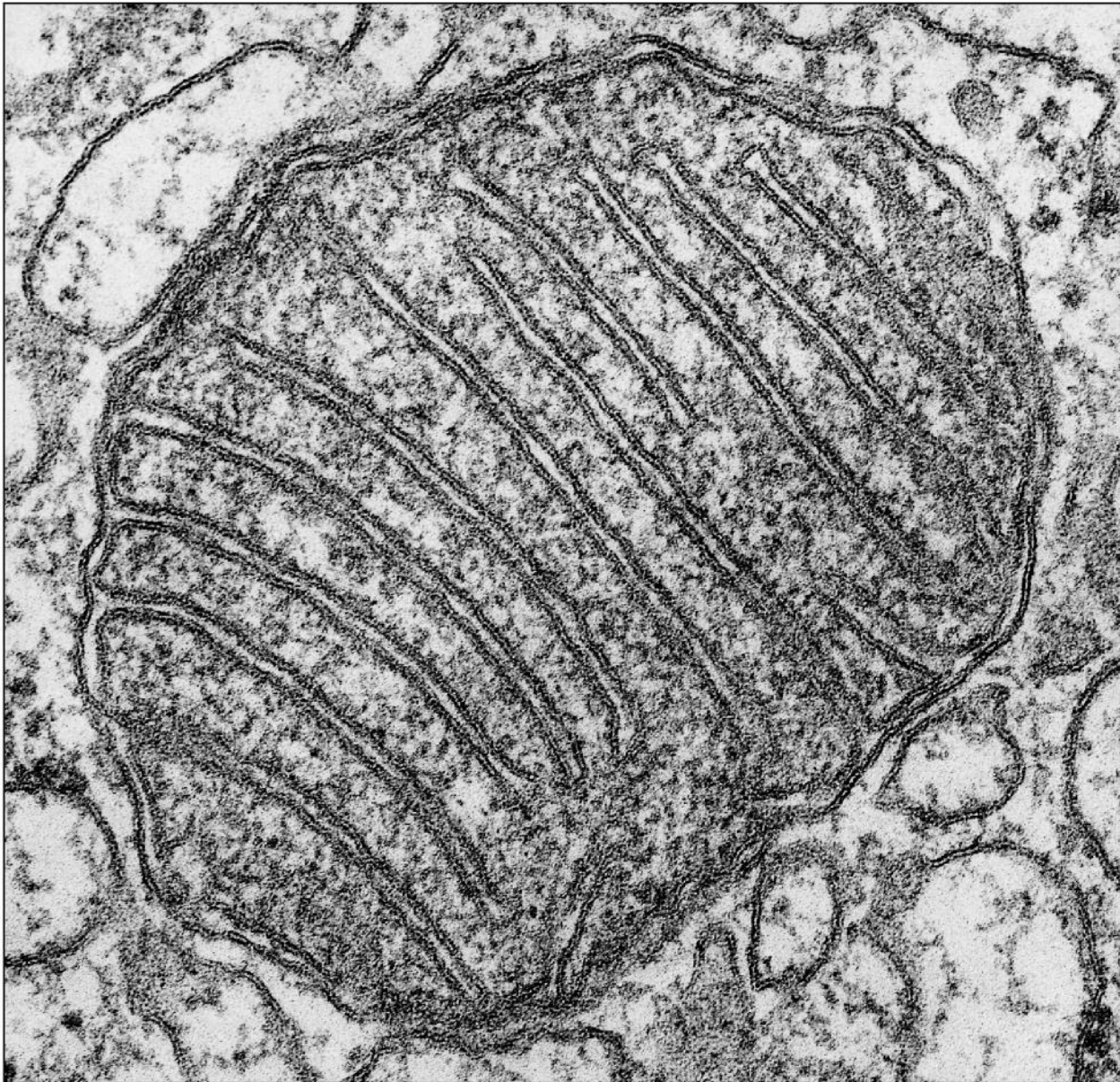


cloroplasti

batterio fotosintetico

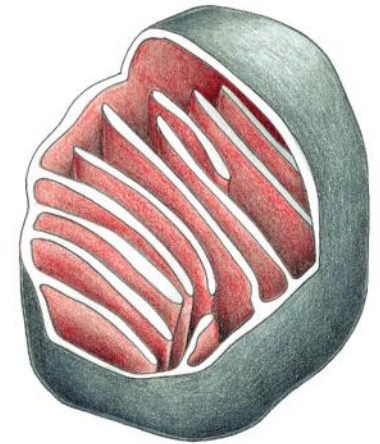


Metabolismo ossidativo degli eucarioti: i MITOCONTRI

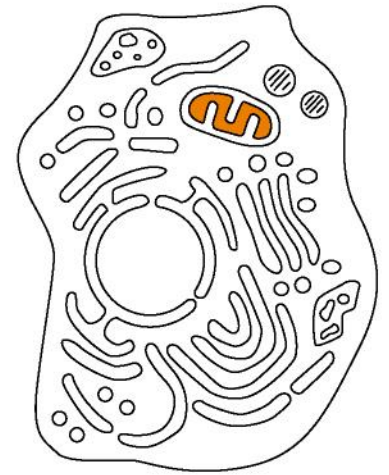


(A)

100 nm



(B)



(C)

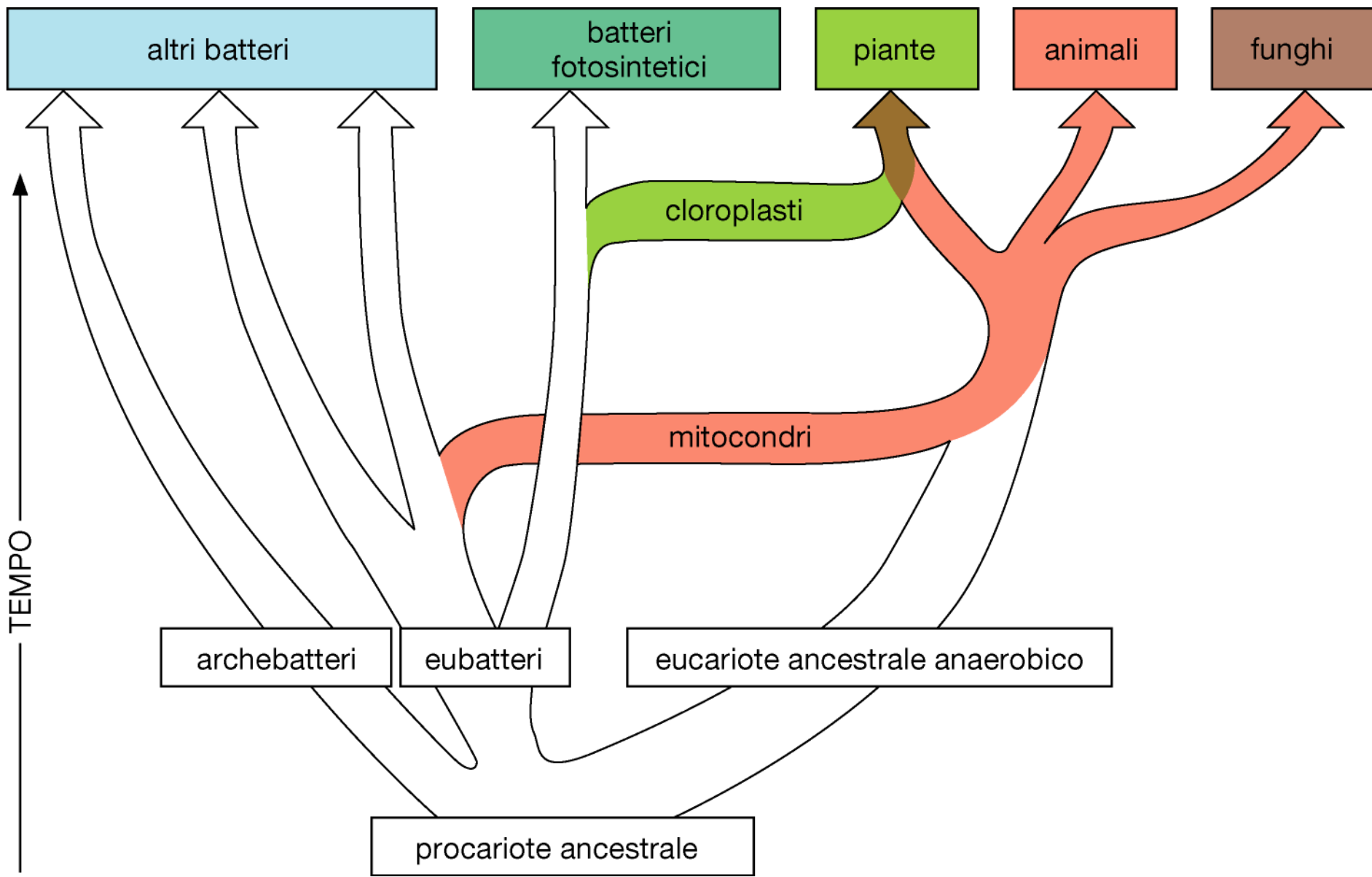
I **mitocondri assomigliano ai batteri** per forma, dimensioni, perché contengono DNA, fabbricano proteine e si riproducono per divisione

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 della membrana plasmatica per produrre ATP, così può sfruttare i mutamenti controllati della permeabilità ionica della membrana per lo **scambio di segnali fra cellule**

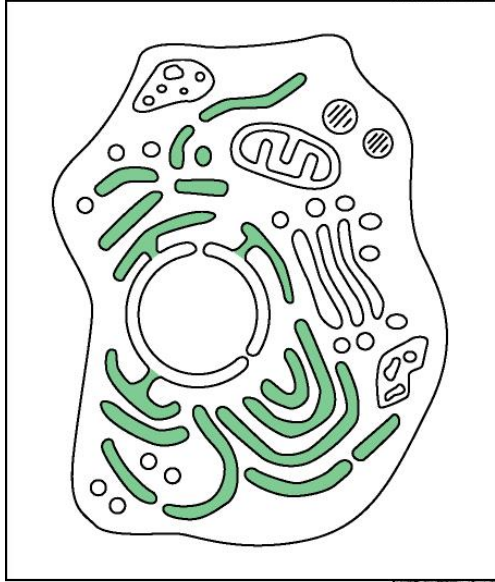


Le **cellule eucariotiche** contengono un ampio spiegamento

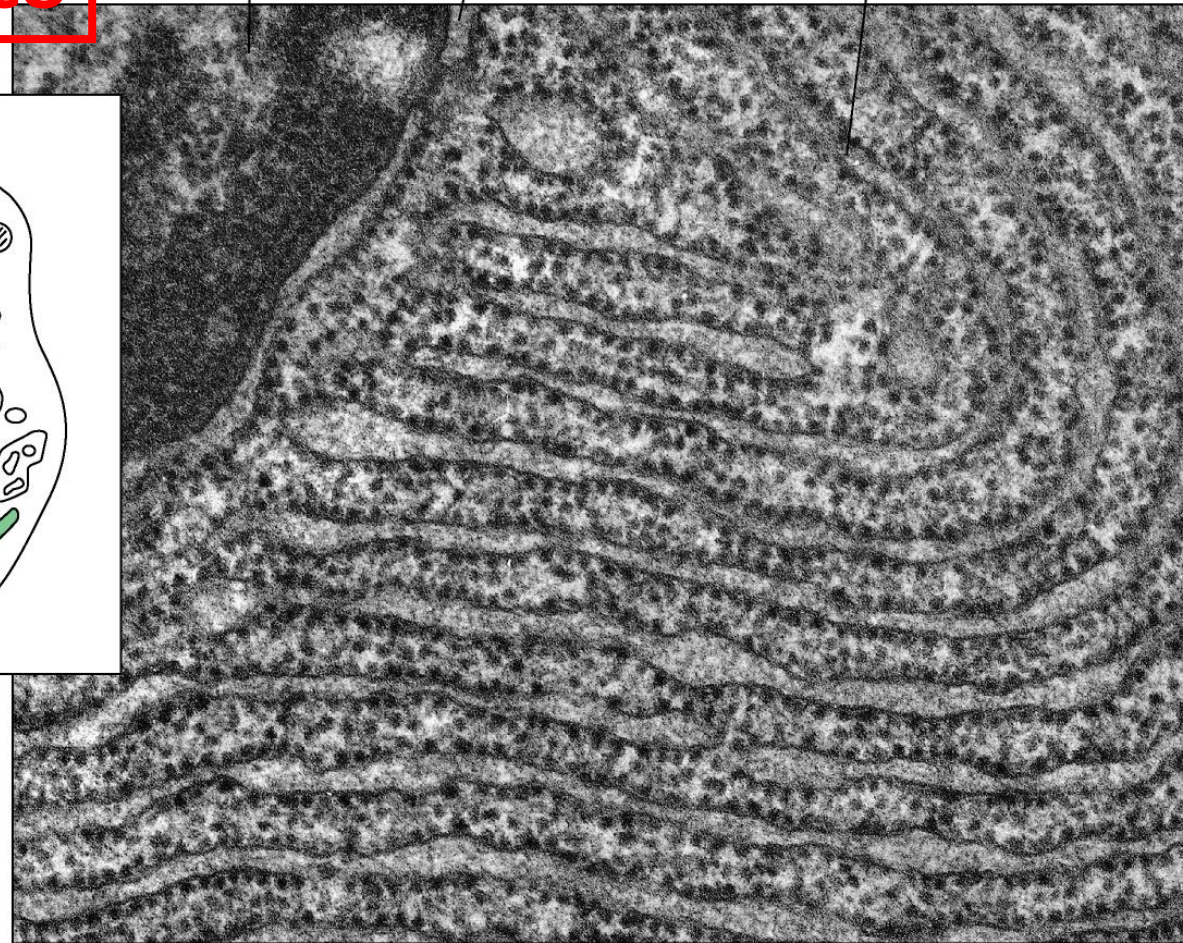
di **membrane interne**

**RETICOLO
ENDOPLASMATICO**

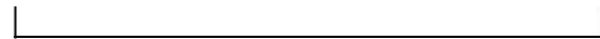
nucleo involucro nucleare reticolo endoplasmatico
"ruvido" con ribosomi



(A)



(B)



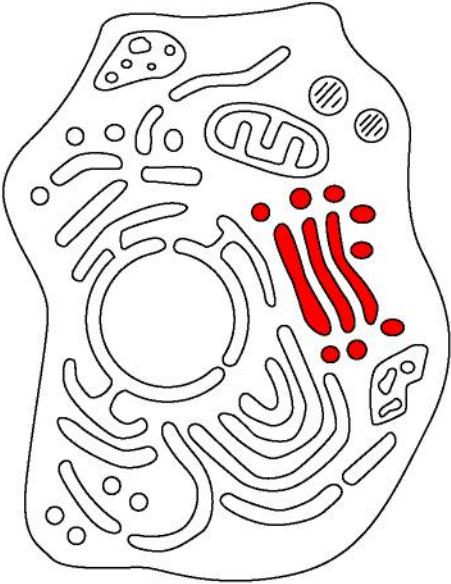
1 μ m

- **lipidi e proteine**
delle membrane
cellulari

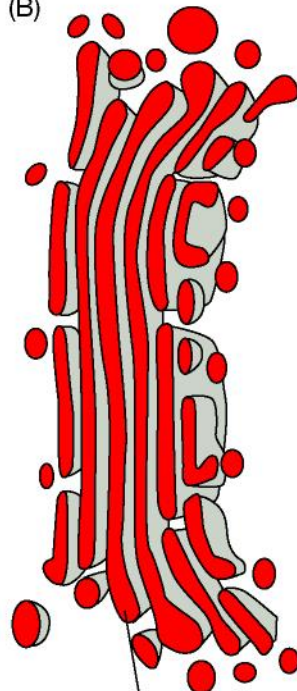
- **"materiali" destinati**
ad essere esportati
dalla cellula

APPARATO DEL GOLGI

(A)



(B)



vescicole delimitate da membrane

apparato di Golgi

reticolo endoplasmatico

involucro nucleare

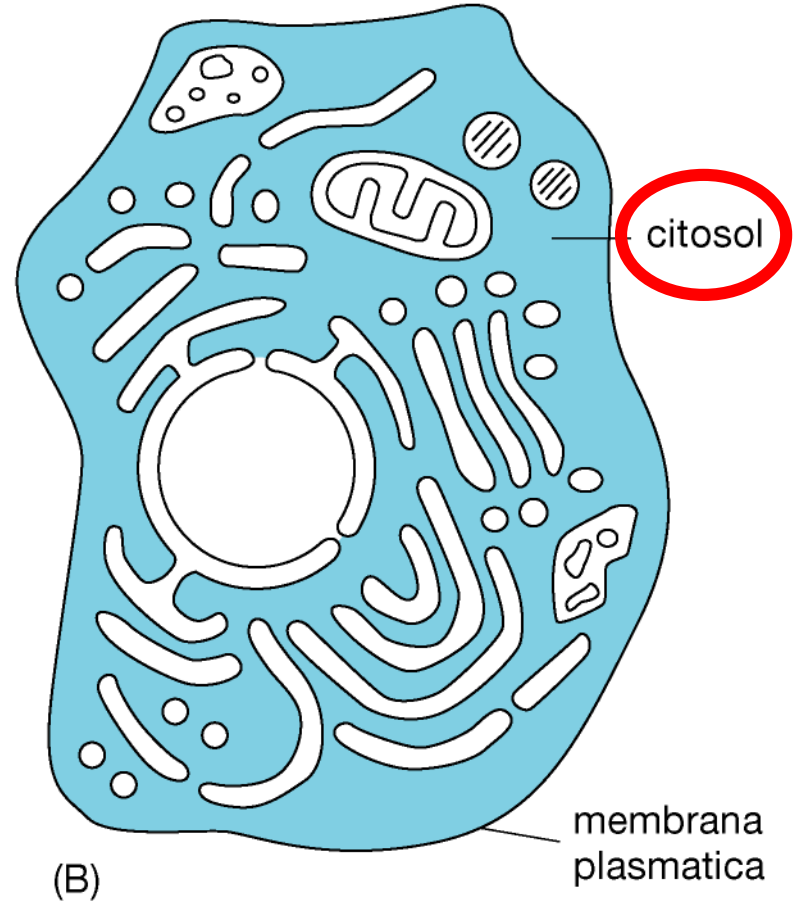
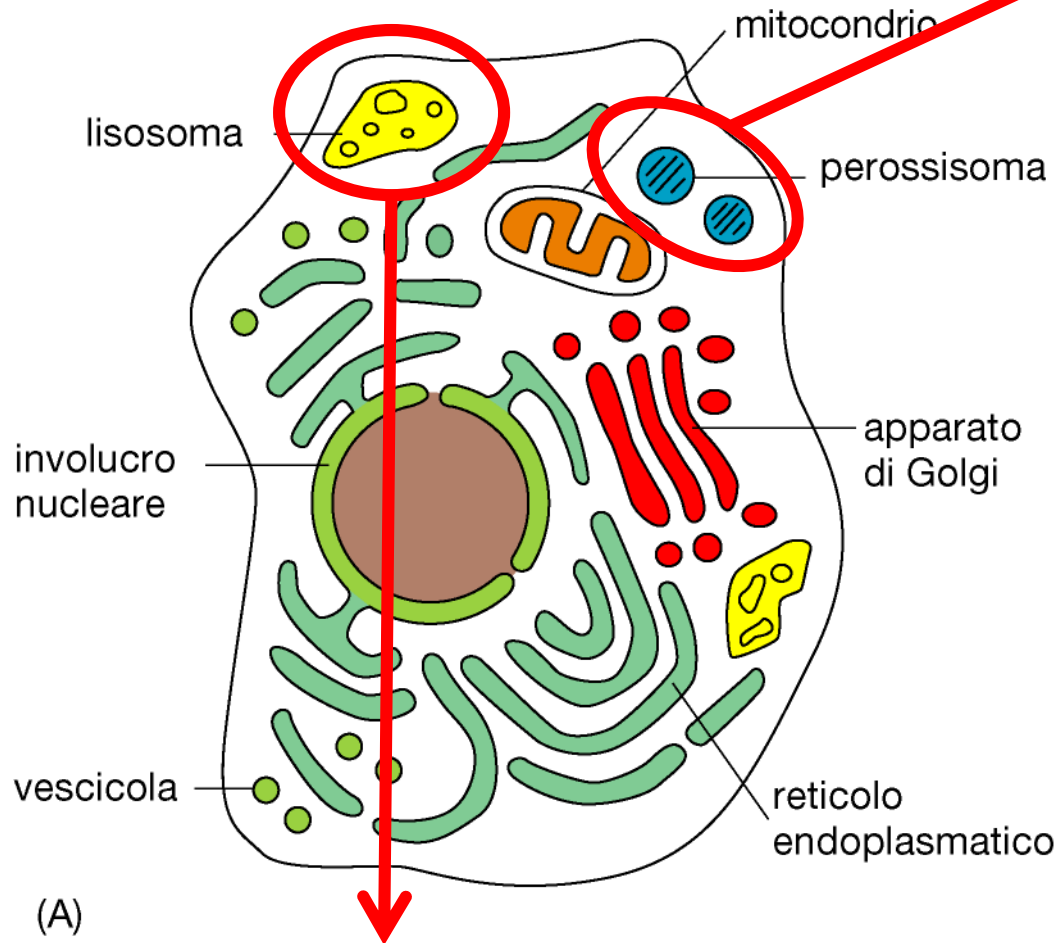
(C)



1 μ m

modificazione e trasporto delle molecole costruite nel reticolo endoplasmatico

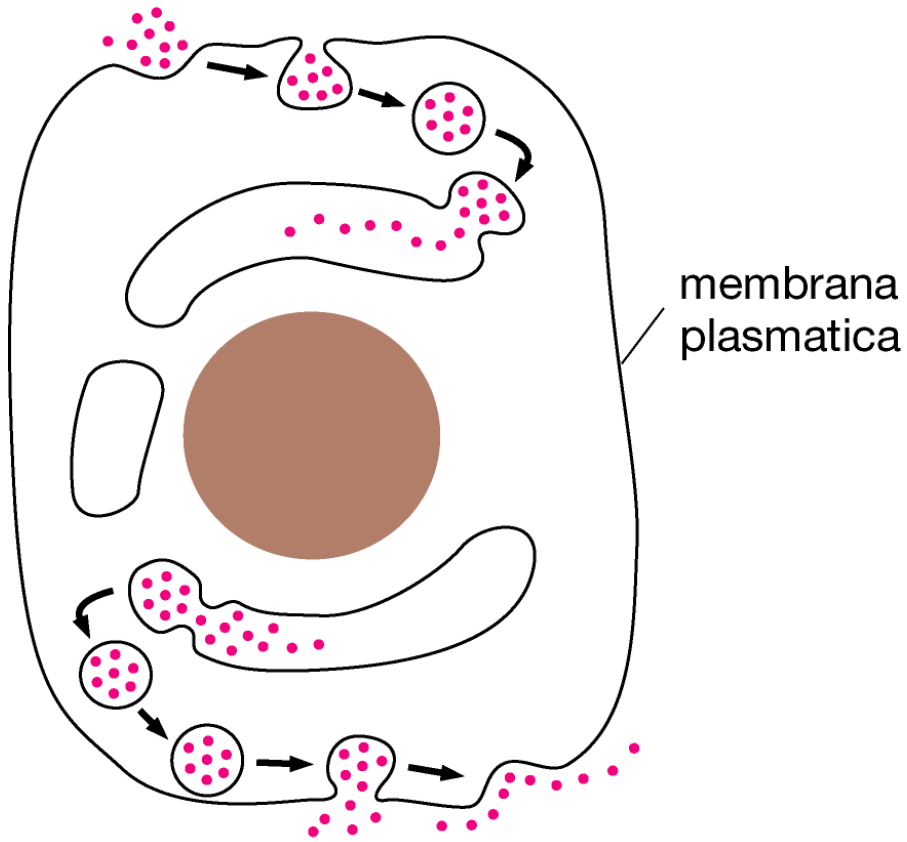
all'interno si produce perossido di idrogeno



**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

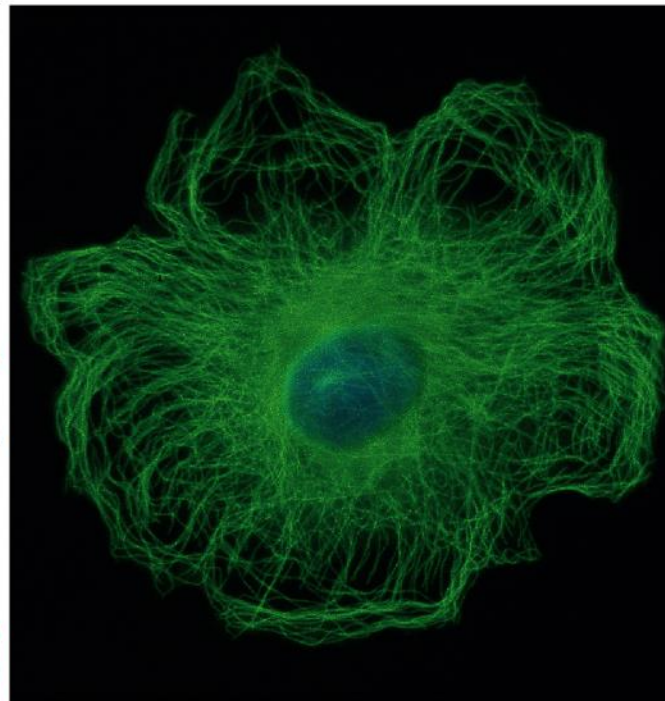
Le cellule eucariotiche possiedono un **CITOSCHELETRO**

- 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)

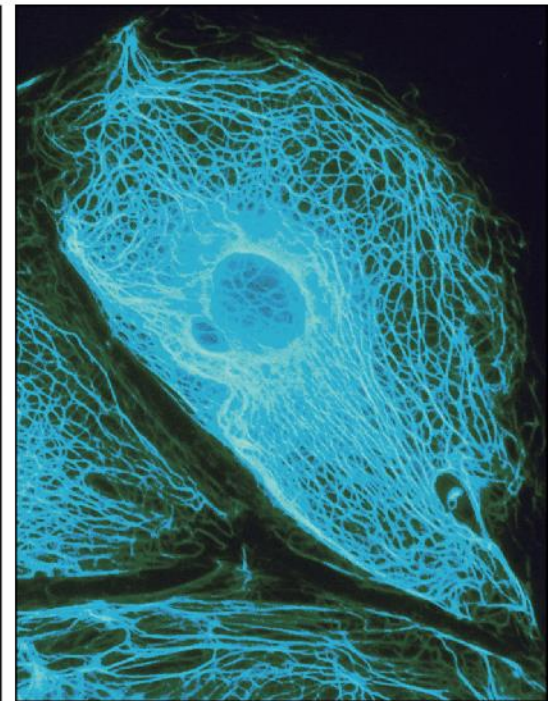


(A)

50 μm



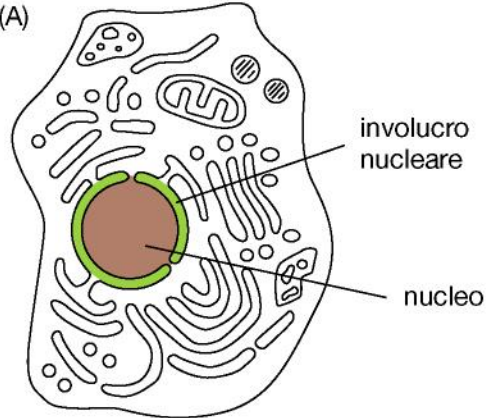
(B)



(C)

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

(A)



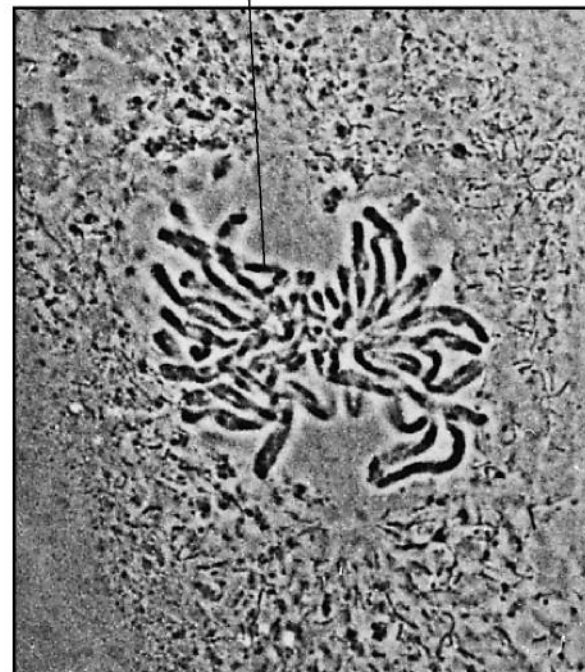
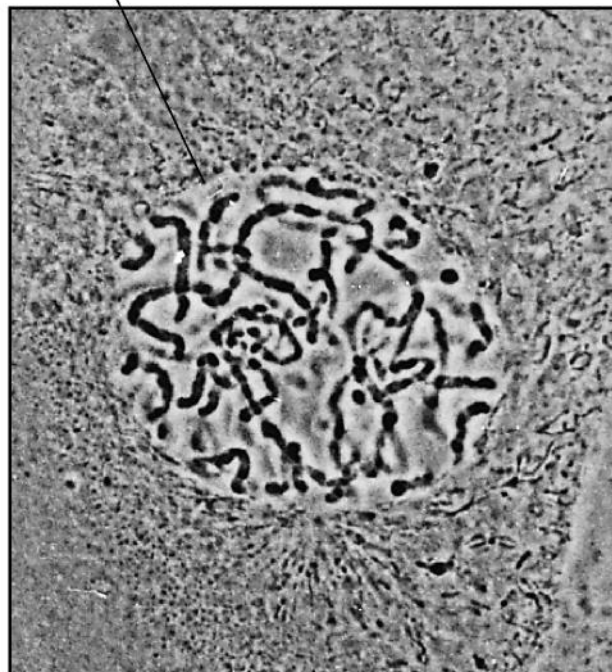
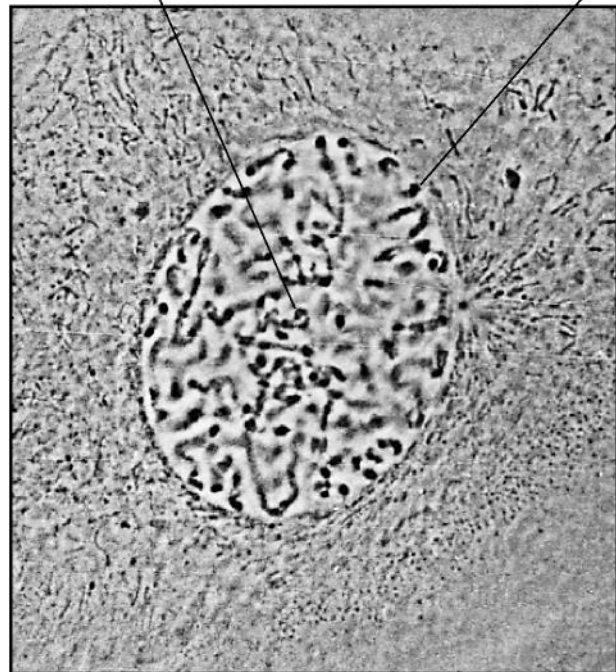
(B)

2 μ m

nucleo

involucro nucleare

cromosomi condensati

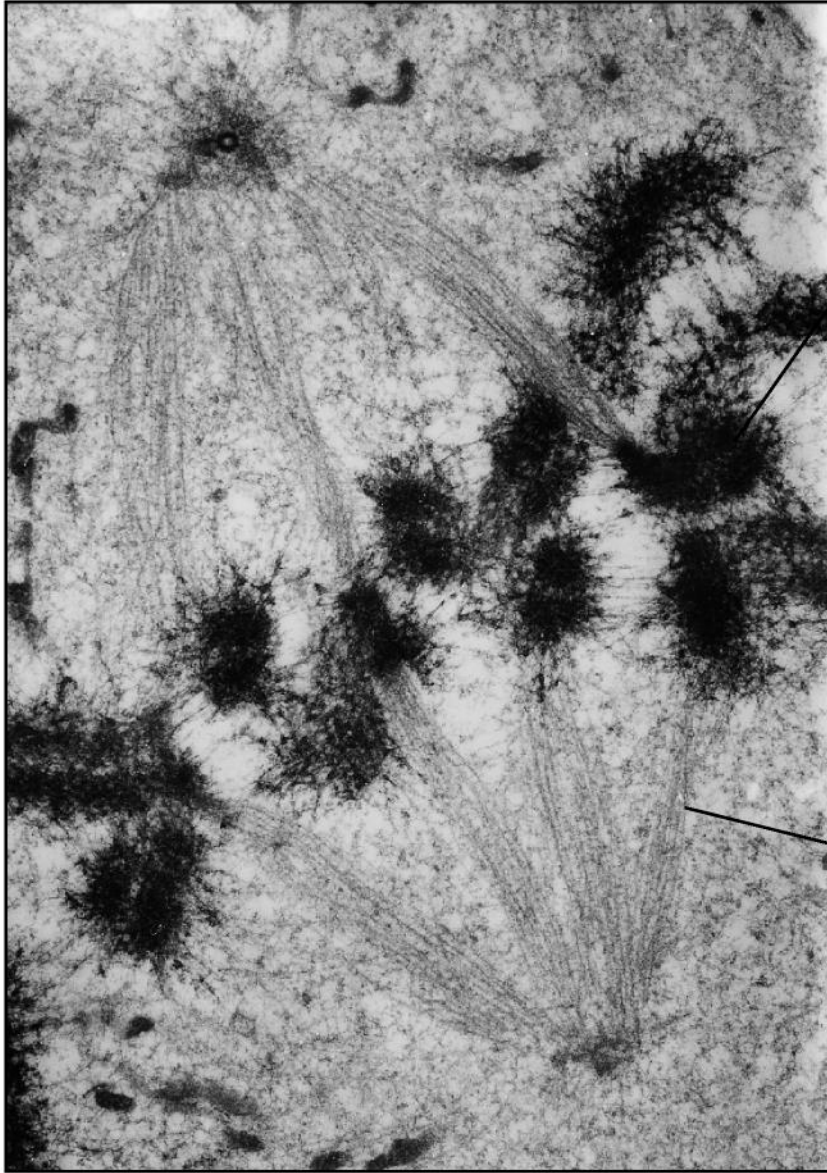


(A)

(B)

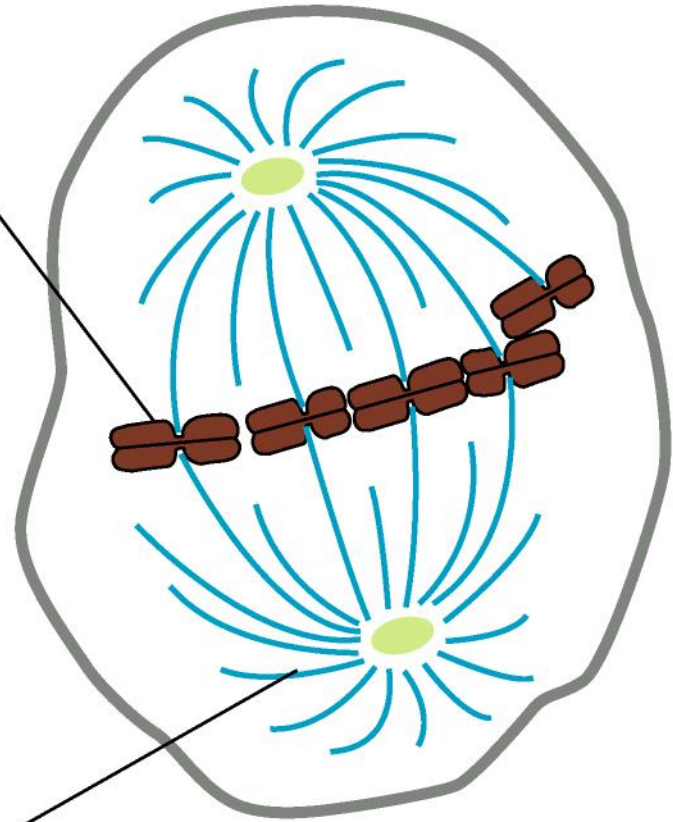
(C)

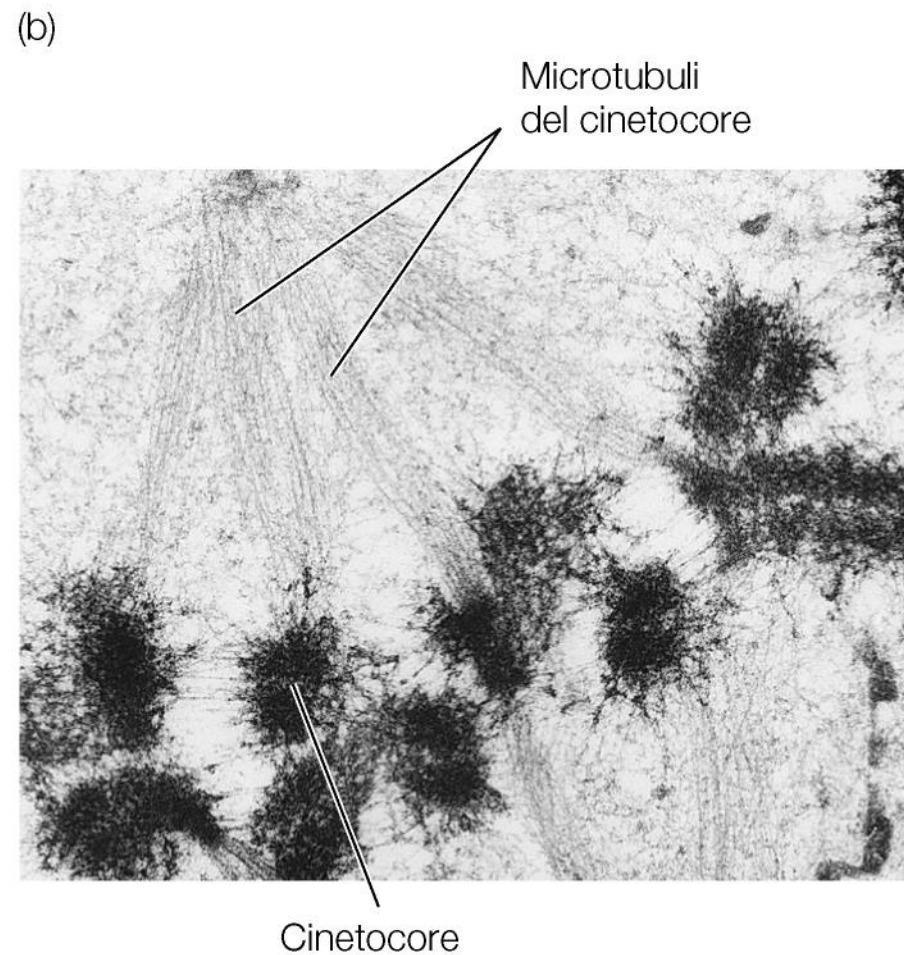
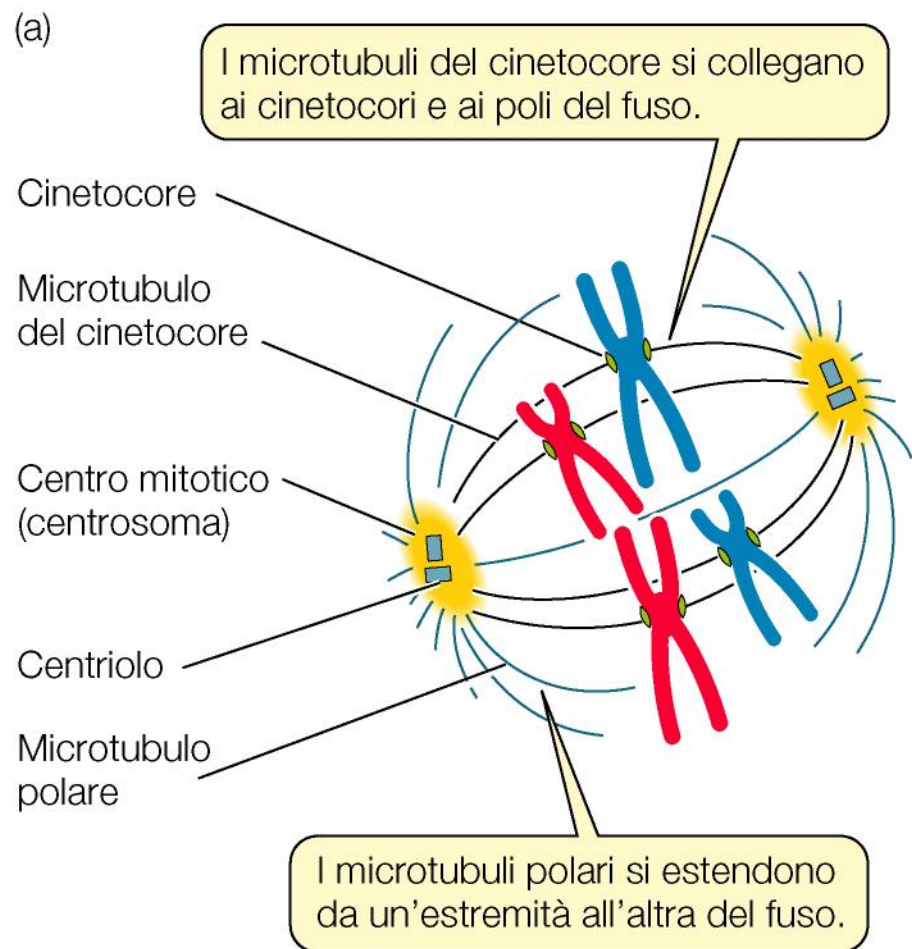
25 μm

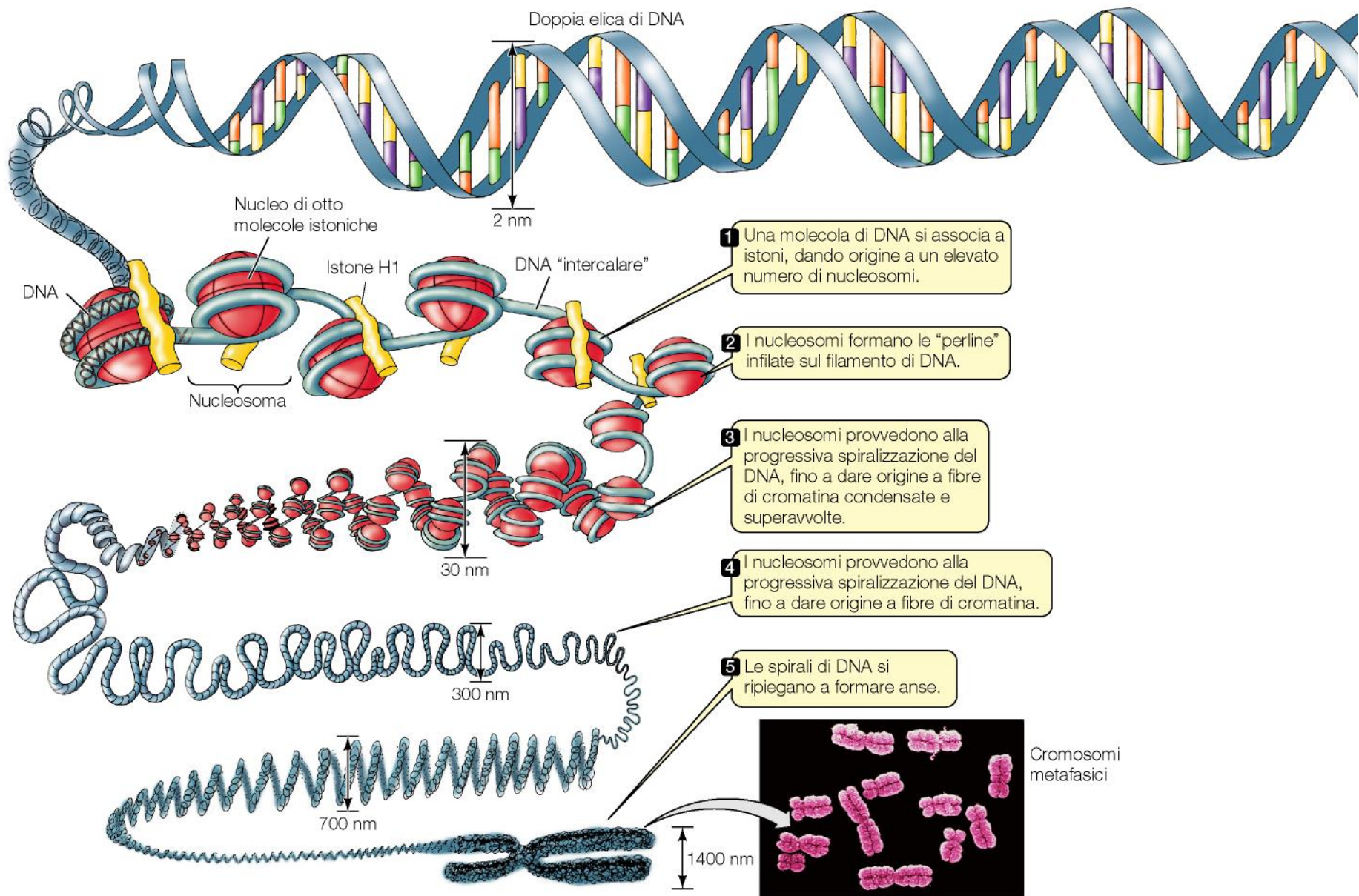


cromosomi

fascio
di microtubuli

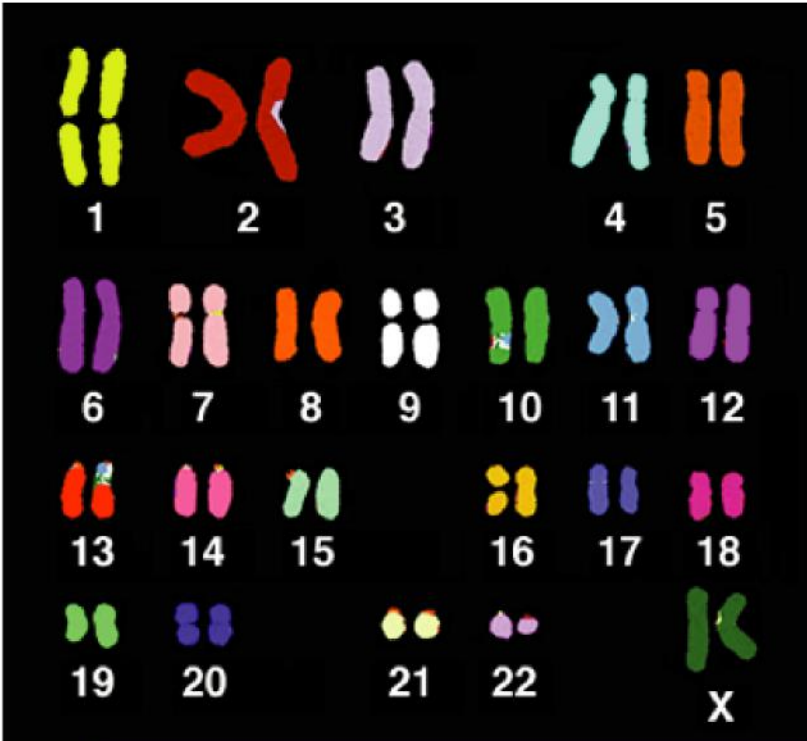
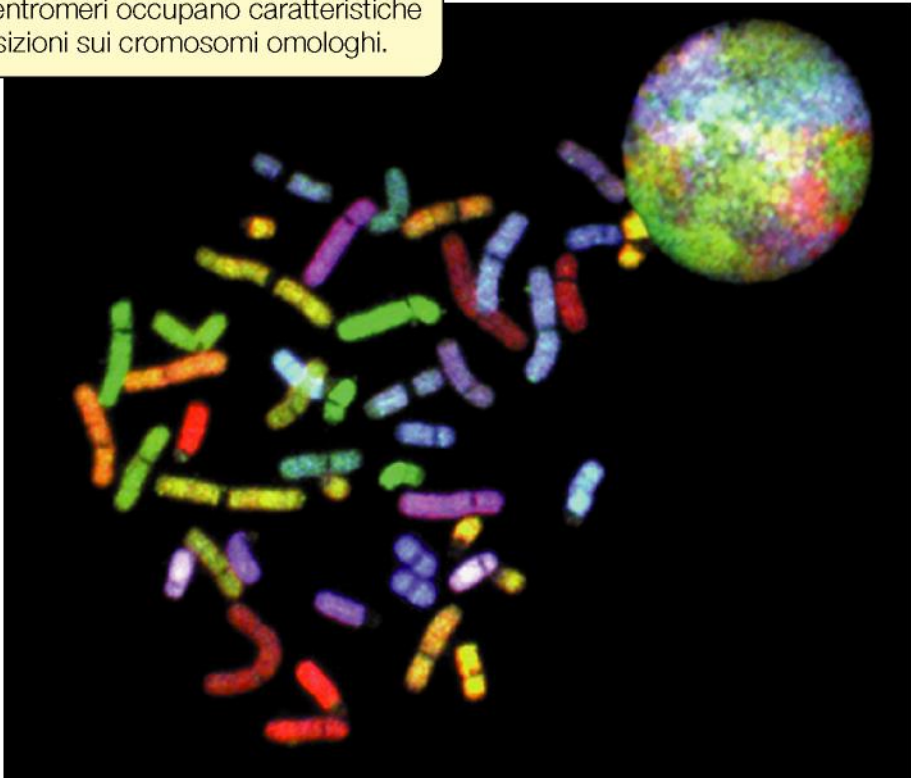






Cromosomi metafasi

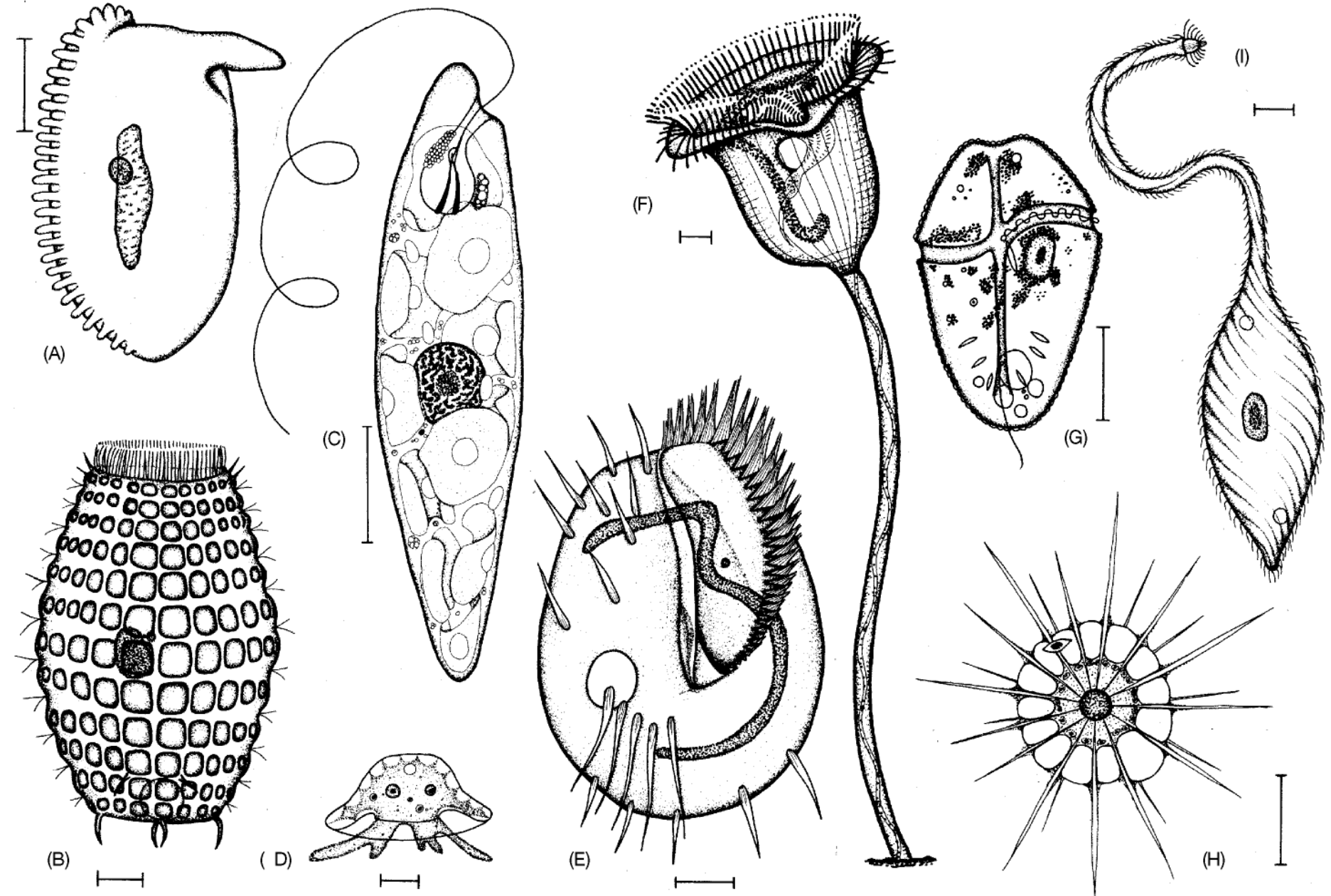
I centromeri occupano caratteristiche posizioni sui cromosomi omologhi.



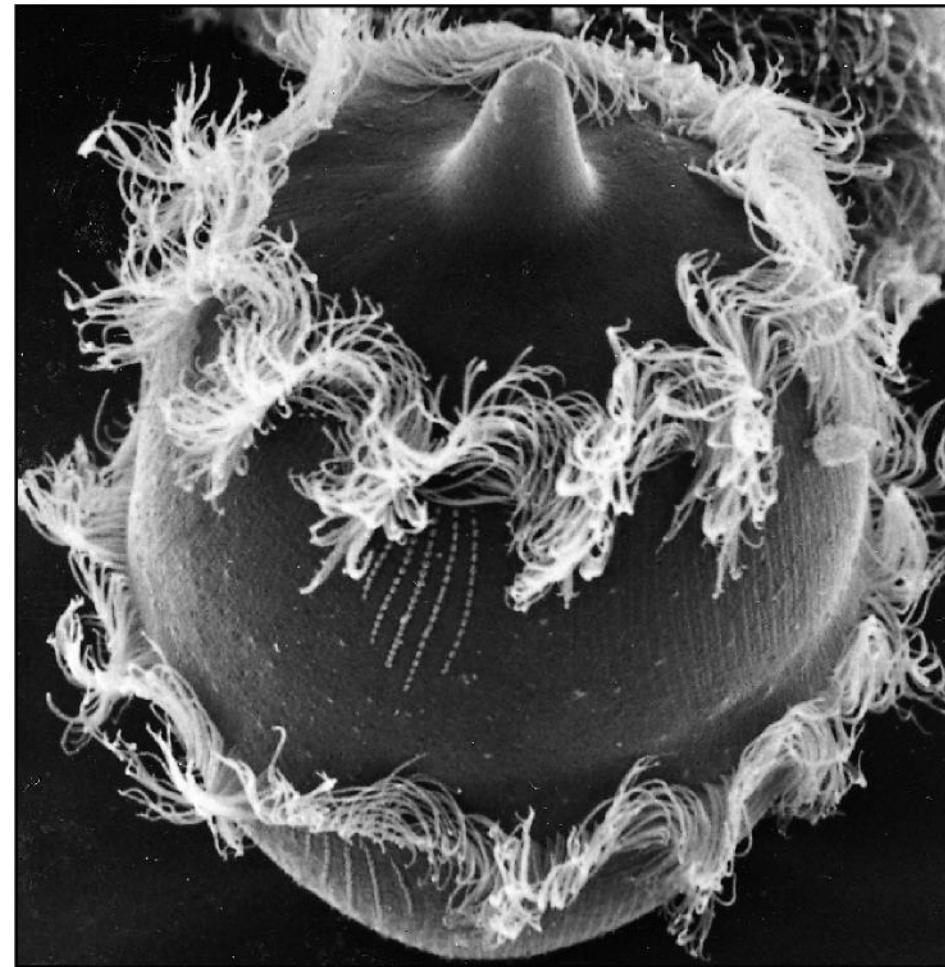
Il cariotipo umano è costituito da 23 coppie di cromosomi, compresi i cromosomi sessuali. I cromosomi sessuali della femmina sono X e X; il maschio ha un cromosoma X e uno Y.

Organism	Haploid DNA content (millions of base pairs)
Bacteria	
<i>Mycoplasma</i>	0.6
<i>E. coli</i>	4.6
Unicellular eukaryotes	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (yeast)	12
<i>Dictyostelium discoideum</i>	70
<i>Euglena</i>	3000
Plants	
<i>Arabidopsis thaliana</i>	130
<i>Zea mays</i> (corn)	5000
Animals	
<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

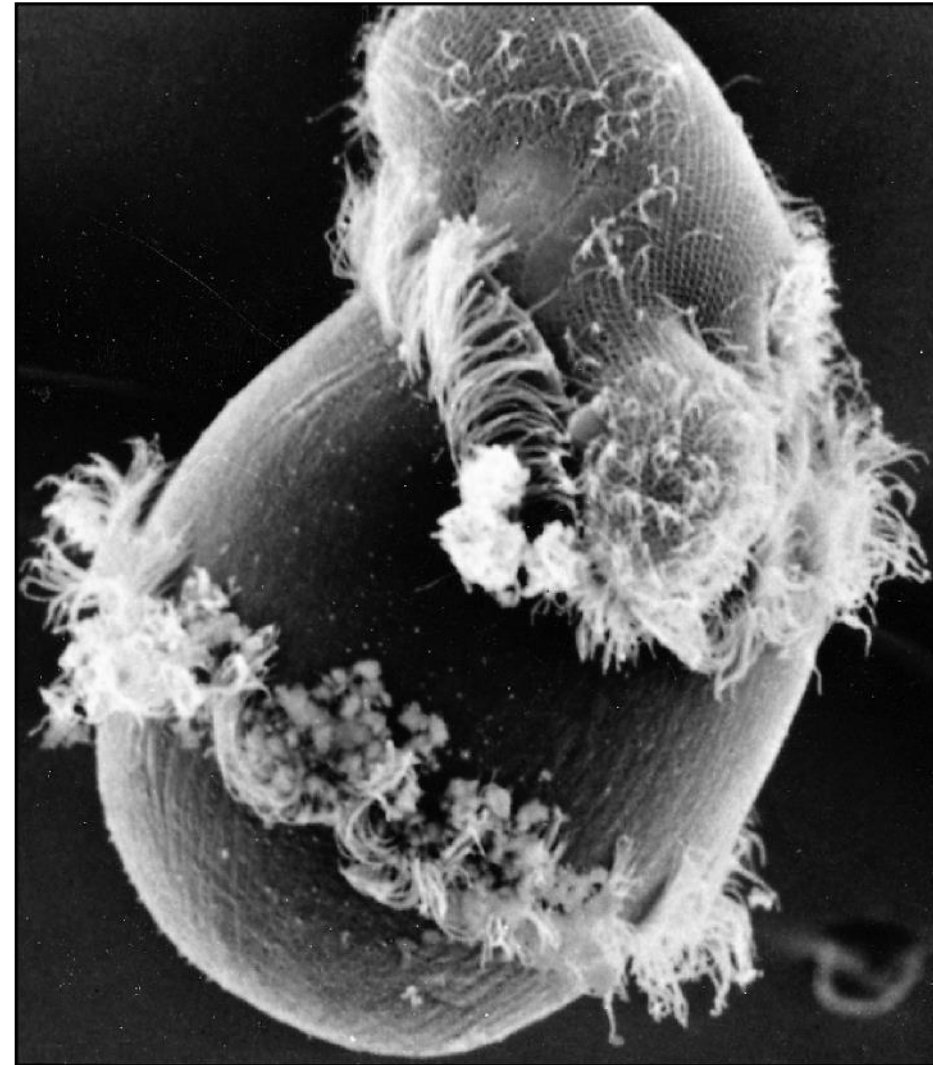


Si tratta di **PROTISTI**: eucarioti indipendenti unicellulari, che presentano variegata forme e comportamenti



(A)

100 μ 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, COVID-19, 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**.

Genomi virali

RNA monofilamento



DNA monofilamento



DNA circolare a filamento doppio



RNA a filamento doppio



DNA circolare monofilamento



DNA a filamento doppio

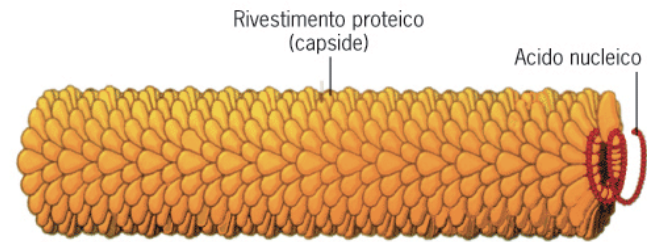


DNA a filamento doppio con terminali chiusi covalentemente

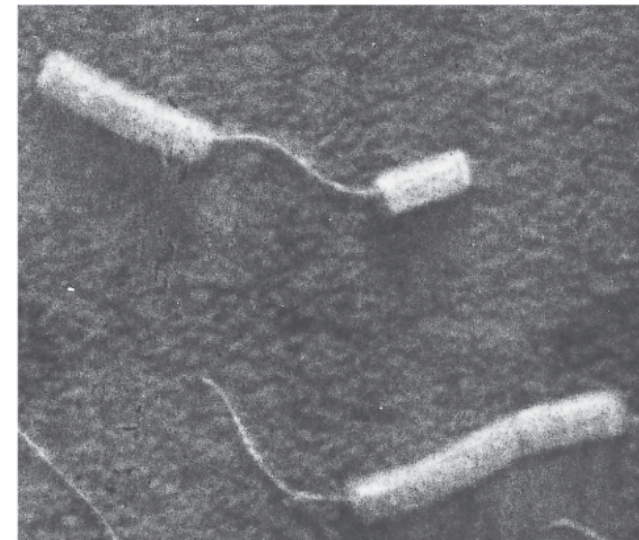


DNA a filamento doppio con proteina terminale legata covalentemente





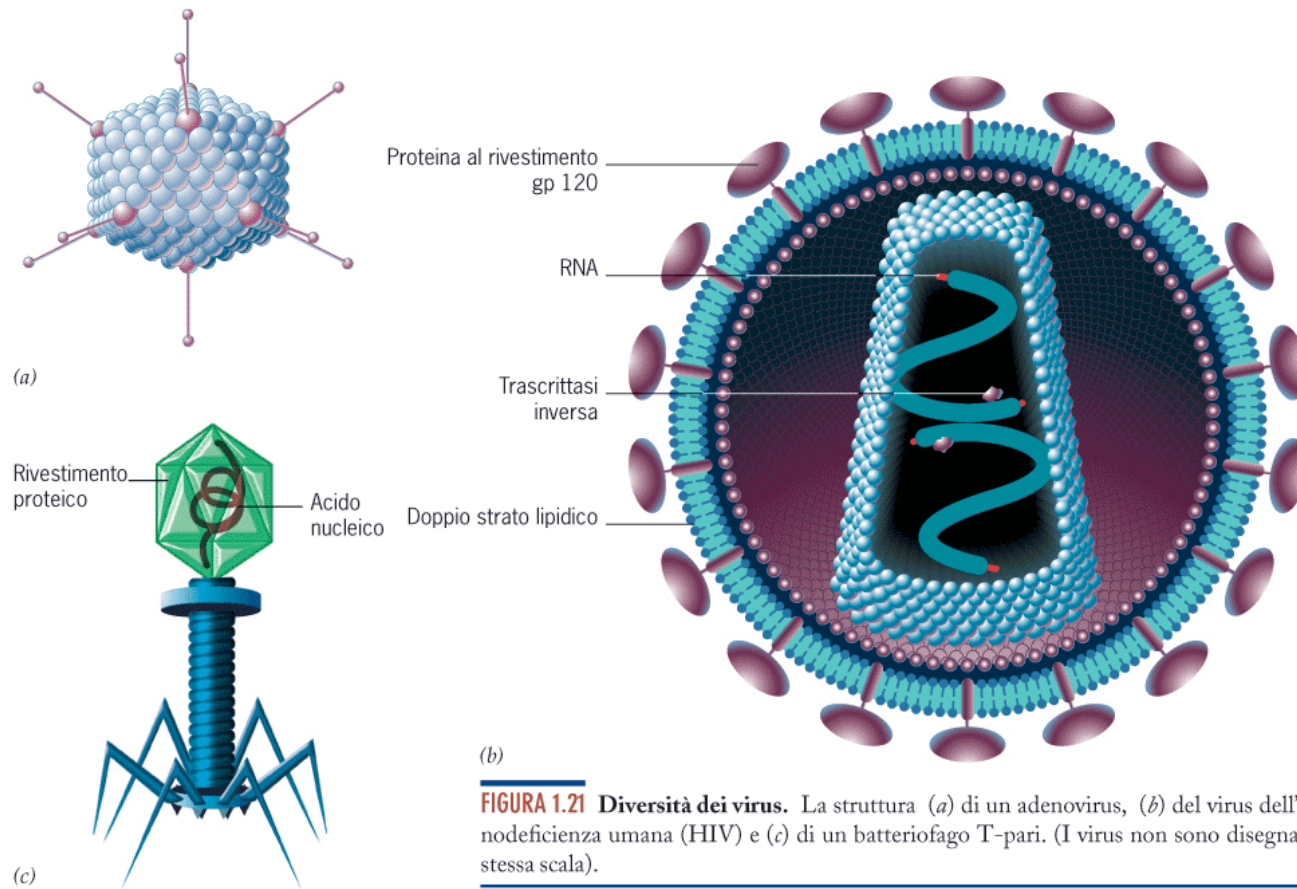
(a)



(b)

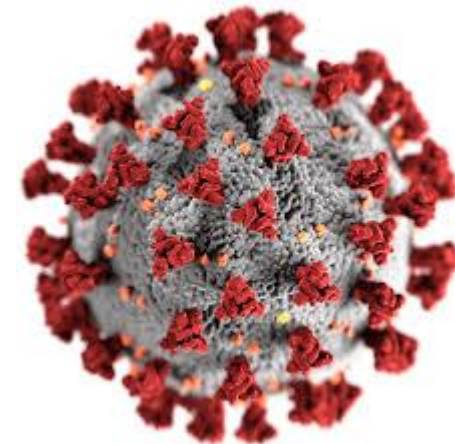
60 nm

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).



(b)

FIGURA 1.21 Diversità dei virus. La struttura (a) di un adenovirus, (b) del virus dell'immunodeficienza umana (HIV) e (c) di un batteriofago T-pari. (I virus non sono disegnati nella stessa scala).



Le infezioni virali sono fondamentalmente di due tipi

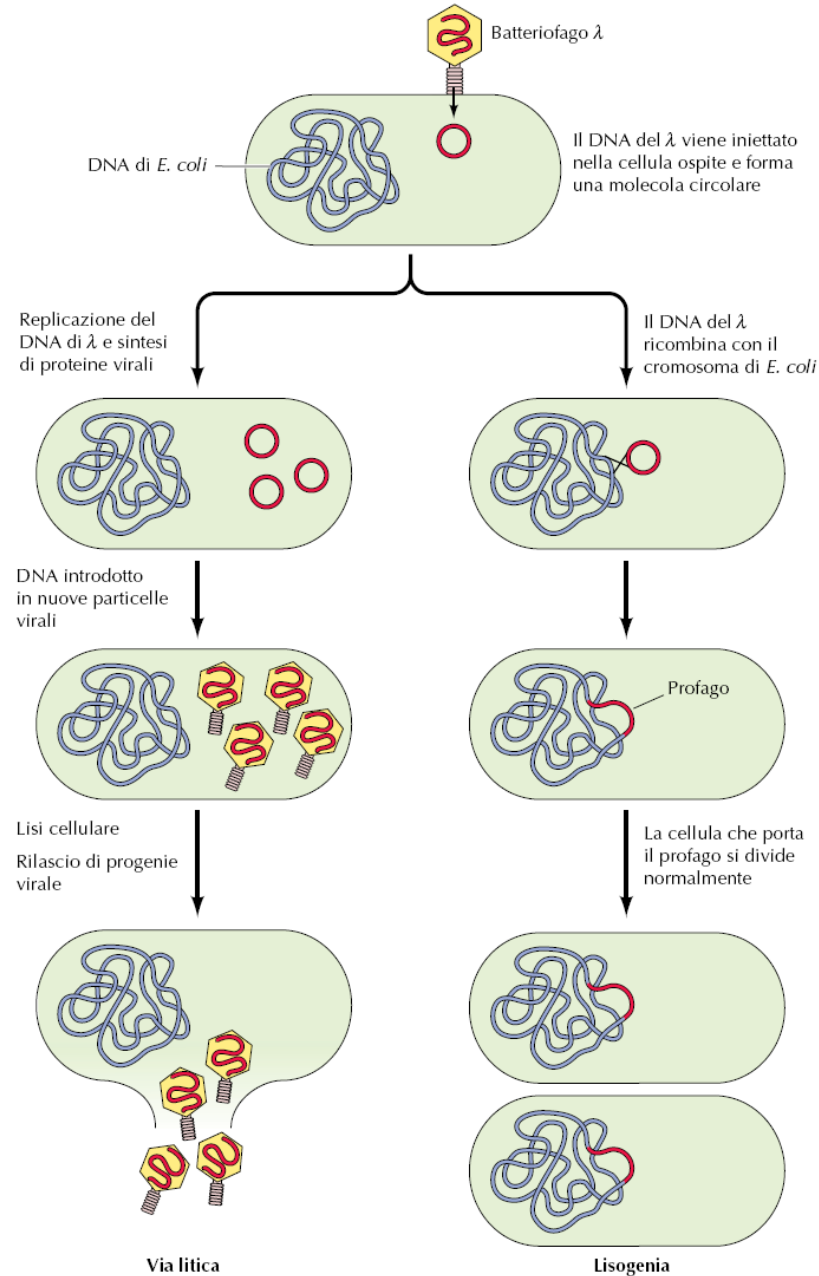
Via litica:

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.

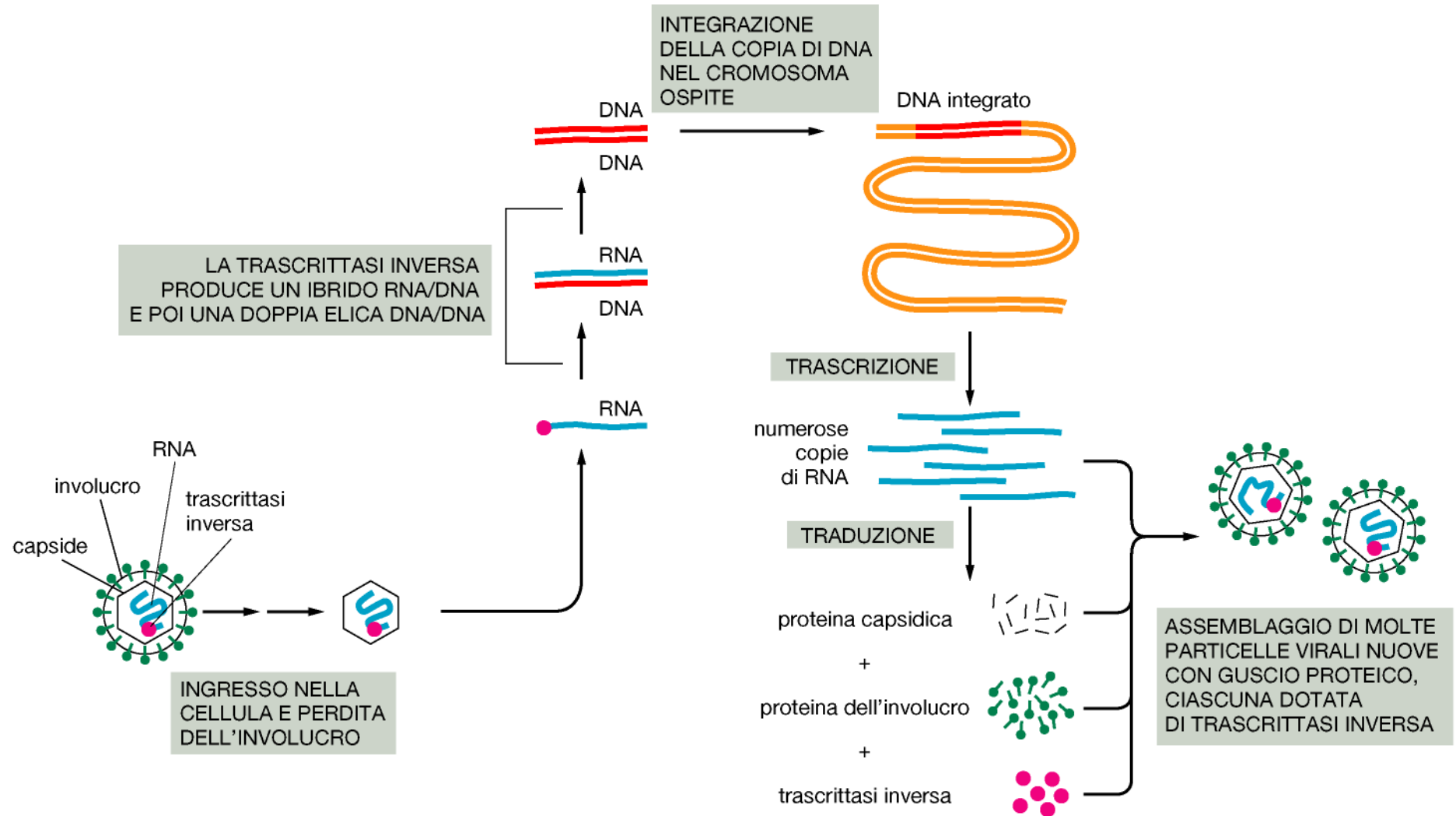
Via lisogena:

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.



Nel retrovirus l'informazione genetica fluisce in direzione opposta a quella consueta



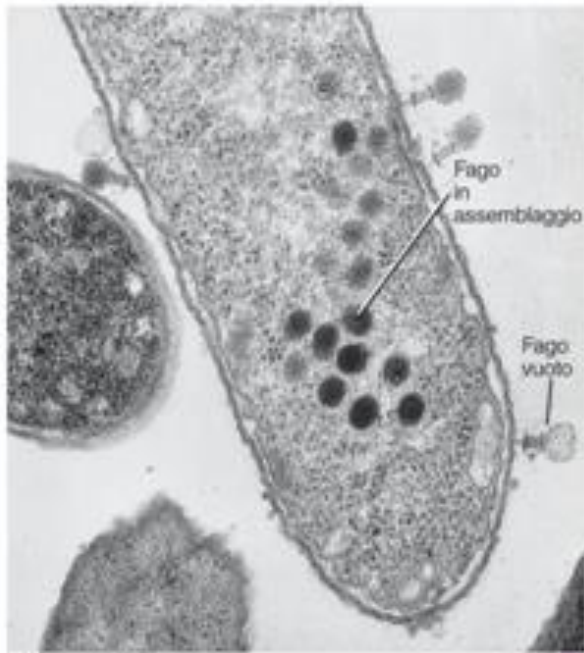
Qualche virtù:

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