

I due cromosomi di una coppia omologa alloggianno le informazioni genetiche relative alla stessa serie di tratti ereditari.

Le cellule che trasportano due serie di informazioni genetiche si chiamano DIPLOIDI.

La ploidia di una cellula indica quante serie di informazioni genetiche essa possiede.

Le cellule riproduttive, contengono un'unica serie di cromosomi e vengono definite APLOIDI. Le cellule di alcuni organismi contengono più di due serie di informazioni genetiche, e vengono allora chiamate POLIPLLOIDI (epatociti).

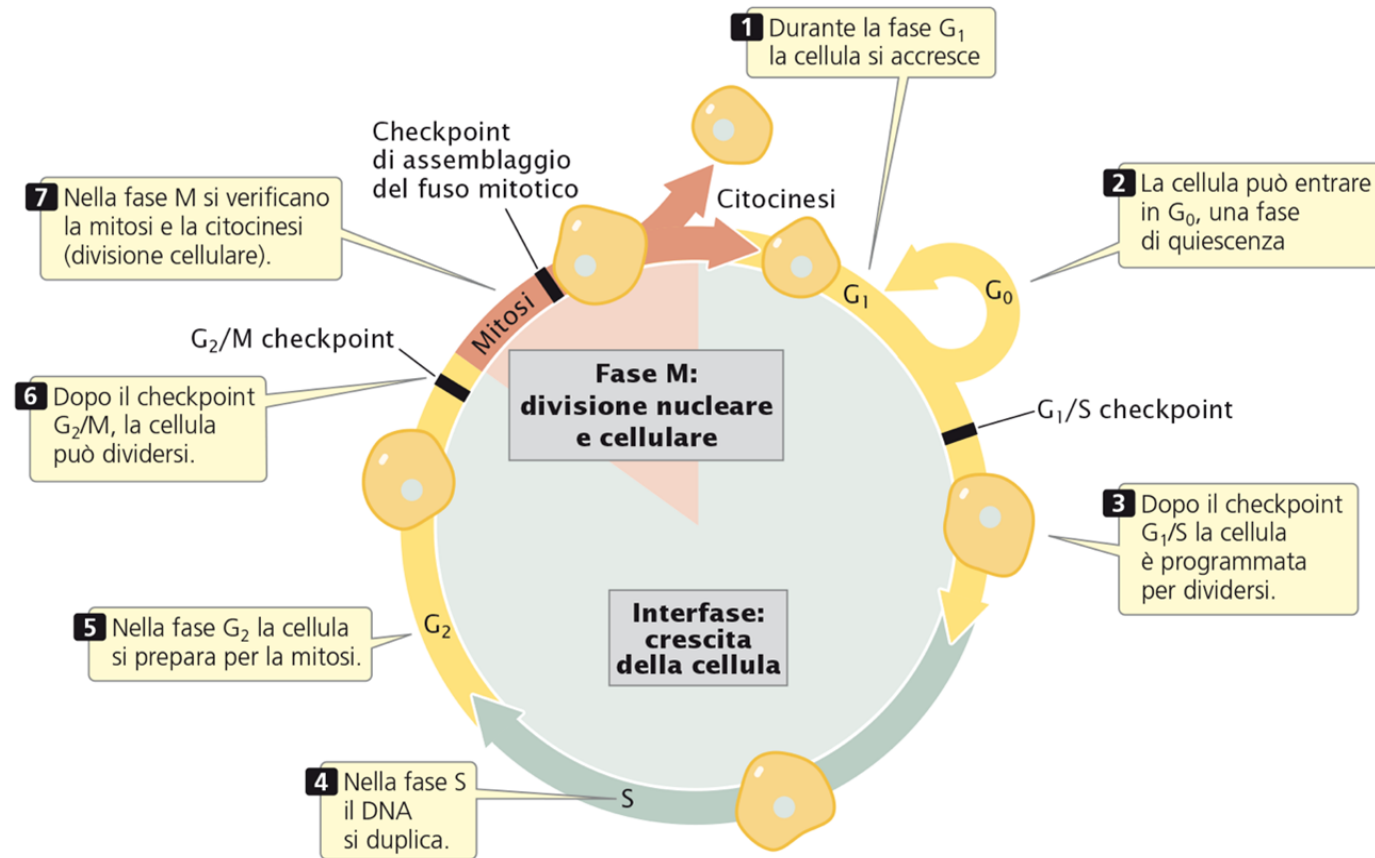
La cellula diploide ha:

- A) due cromosomi;
- B) due serie di cromosomi;
- C) una serie di cromosomi;
- D) due coppie di cromosomi omologhi

IL CICLO CELLULARE

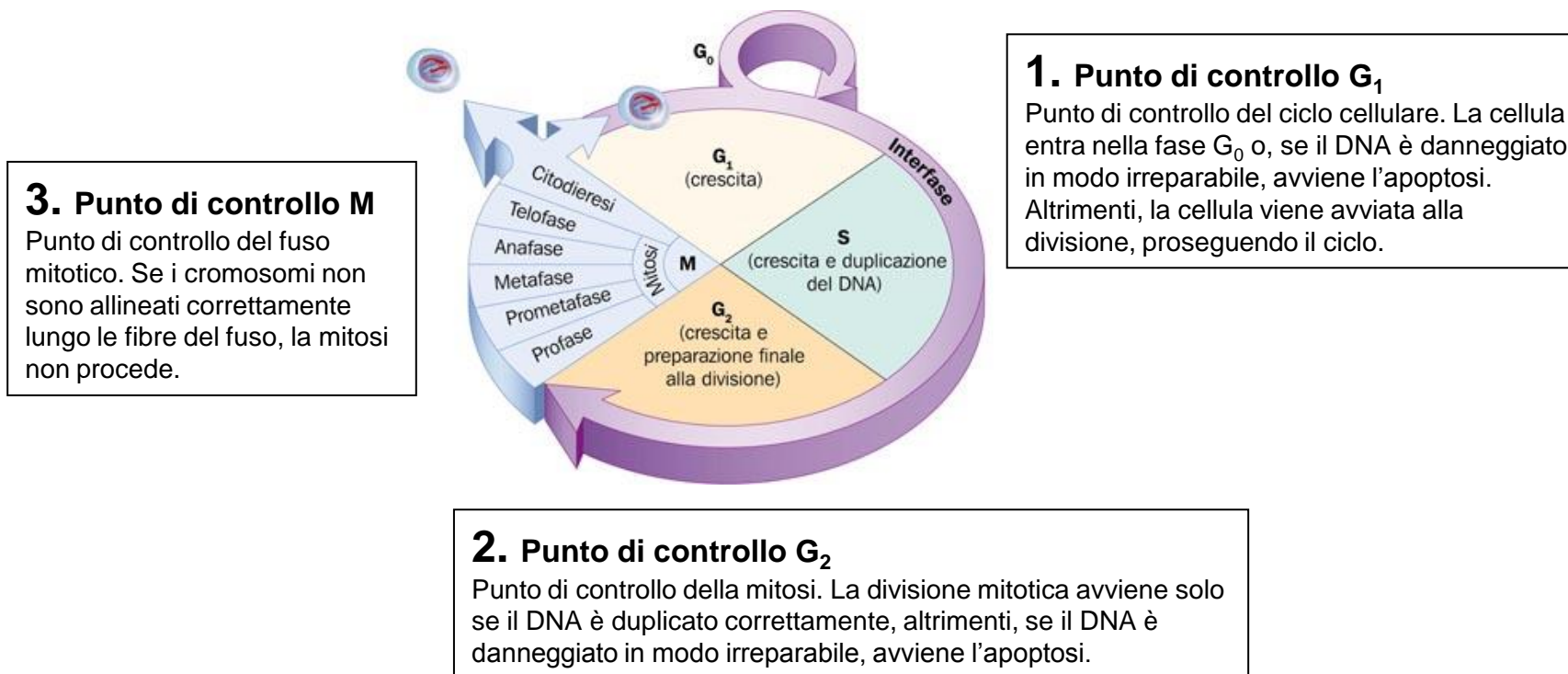
La progressione attraverso il ciclo cellulare viene regolata da punti di transizione, chiamati checkpoint, che consentono o arrestano il passaggio della cellula allo stadio successivo.

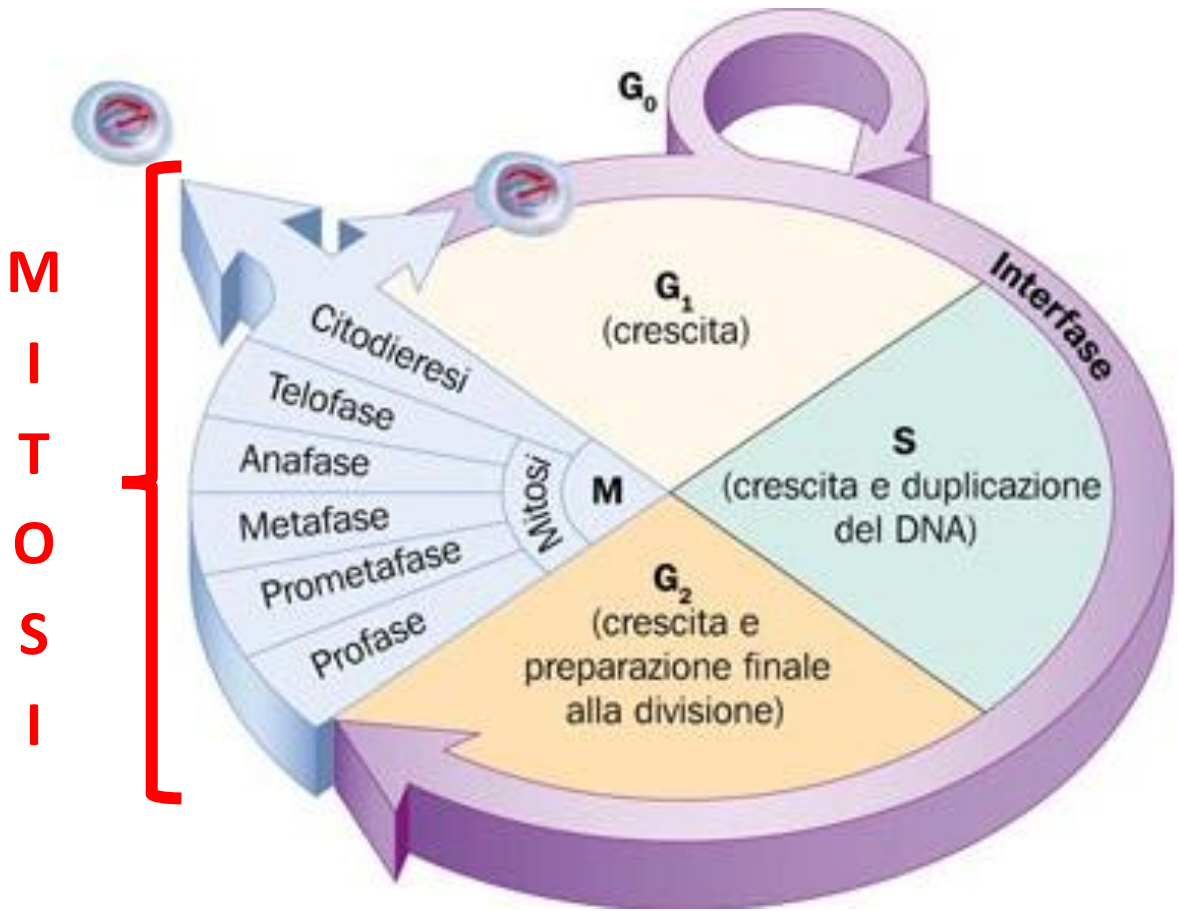
I checkpoint, oltre ad assicurare che tutti i componenti cellulari siano presenti e operino in una corretta successione temporale sono necessari a evitare che cellule danneggiate o con cromosomi mancanti possano moltiplicarsi.



IL CICLO CELLULARE È SOGGETTO A VARI SISTEMI DI CONTROLLO

Il ciclo cellulare presenta precisi *punti di controllo* che fanno continuare il ciclo solo se tutto procede nel verso giusto. In caso contrario, la cellula va incontro all'**apoptosi** (distruzione cellulare programmata).

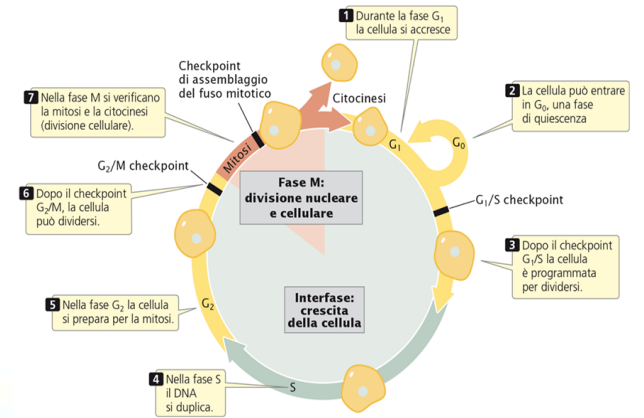




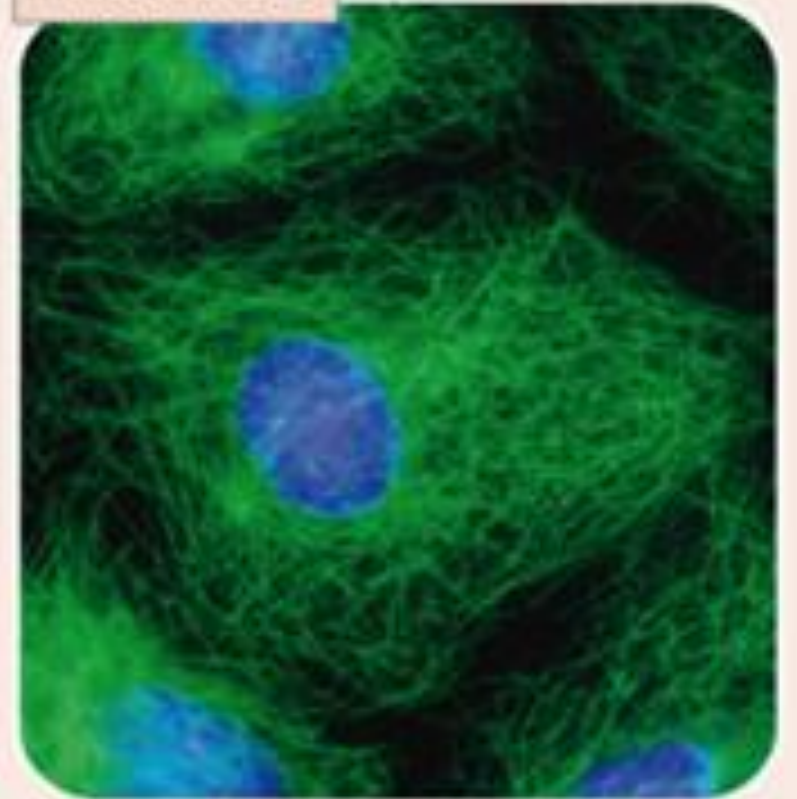
Il ciclo cellulare è costituito da due fasi principali. **La prima è l'interfase**, il periodo che intercorre fra due divisioni cellulari, durante le quali la cellula cresce, si sviluppa e svolge la sua funzione. Durante l'interfase si verificano gli eventi critici che preparano la divisione cellulare. **La seconda fase fondamentale è chiamata fase M o fase mitotica** ed è il periodo in cui si verifica la divisione cellulare attiva. La fase M comprende la mitosi, il processo di divisione del nucleo, e la citocinesi, la divisione del citoplasma.

L'interfase

L'interfase è il periodo di crescita e sviluppo compreso fra due divisioni cellulari. Durante questo periodo avvengono la sintesi proteica, la trascrizione dell'mRNA, la sintesi del DNA e centinaia se non migliaia di reazioni biochimiche necessarie al funzionamento della cellula.

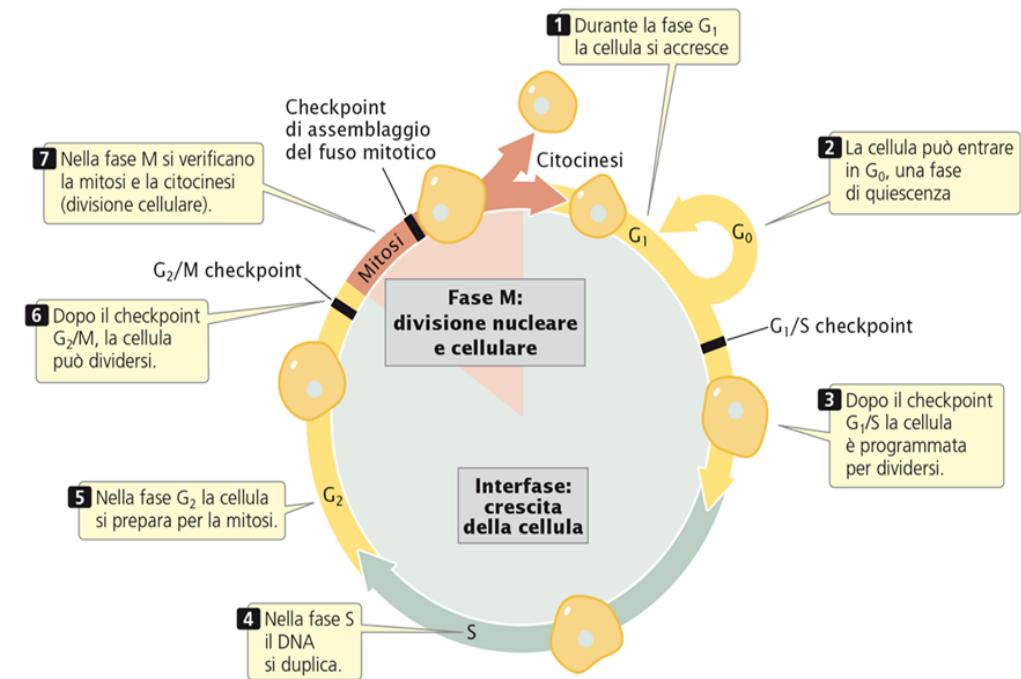


Interfase



L'interfase

Oltre alla crescita e allo sviluppo della cellula, l'interfase comprende numerosi checkpoint. Convenzionalmente l'interfase viene a sua volta divisa in tre fasi G₁, S e G₂. L'interfase inizia con G₁, la cellula si accresce e vengono sintetizzate le proteine necessarie alla divisione cellulare. Verso la fine di G₁ un punto critico, chiamato **checkpoint G₁/S**, mantiene la cellula in G₁ finché non siano pronti gli enzimi necessari alla replicazione del DNA. Una volta superato questo checkpoint, la cellula è programmata per dividersi. Prima di raggiungere il checkpoint G₁/S la cellula può uscire dal ciclo cellulare attivo in risposta a segnali regolatori e passare a una fase di non divisione chiamata G₀ dove possono rimanere anche per sempre.

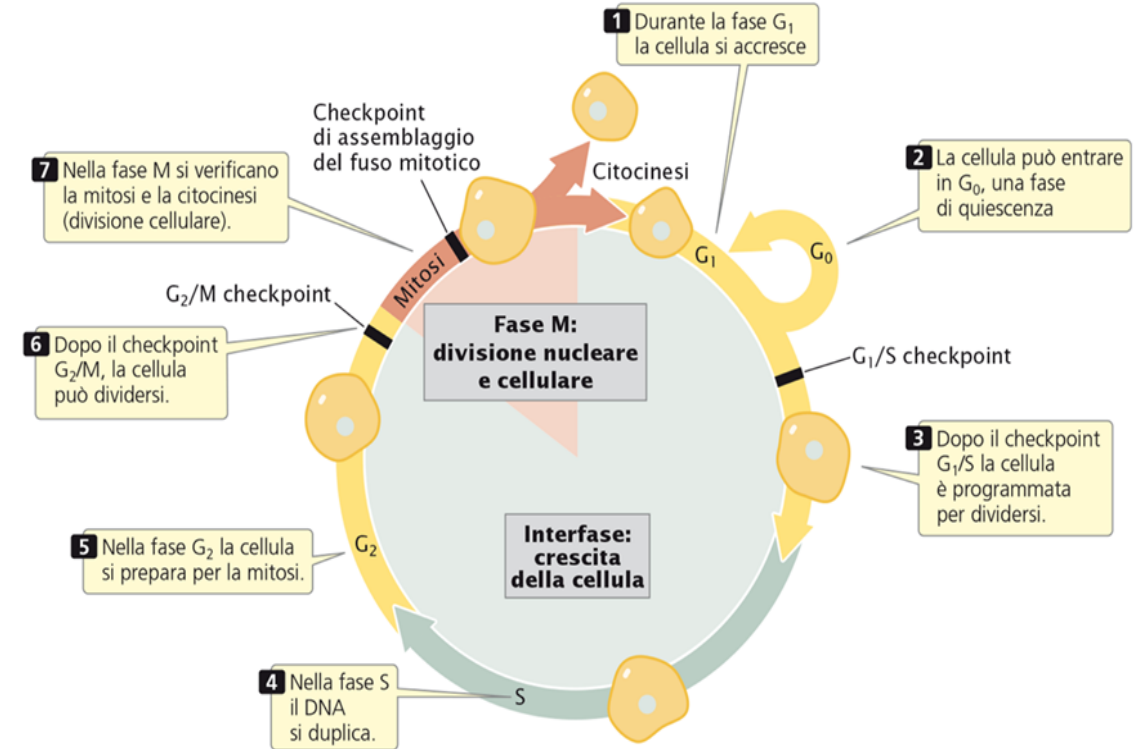


L'interfase

Dopo G1 la cellula entra nella fase S (Sintesi del DNA) in cui ogni cromosoma si duplica.

Prima della fase S ogni cromosoma è costituito da un cromatidio, dopo è costituito da due cromatidi (fratelli).

Dopo la duplicazione del DNA la cellula entra in fase G2 (Gap 2). Verso la fine della fase G2 si raggiunge l'importante **checkpoint G2/M**. Questo punto di controllo viene superato solo se il DNA della cellula è completamente replicato e privo di danni. Una volta superato il checkpoint G2/M la cellula è pronta per dividersi ed entrare nella fase M.

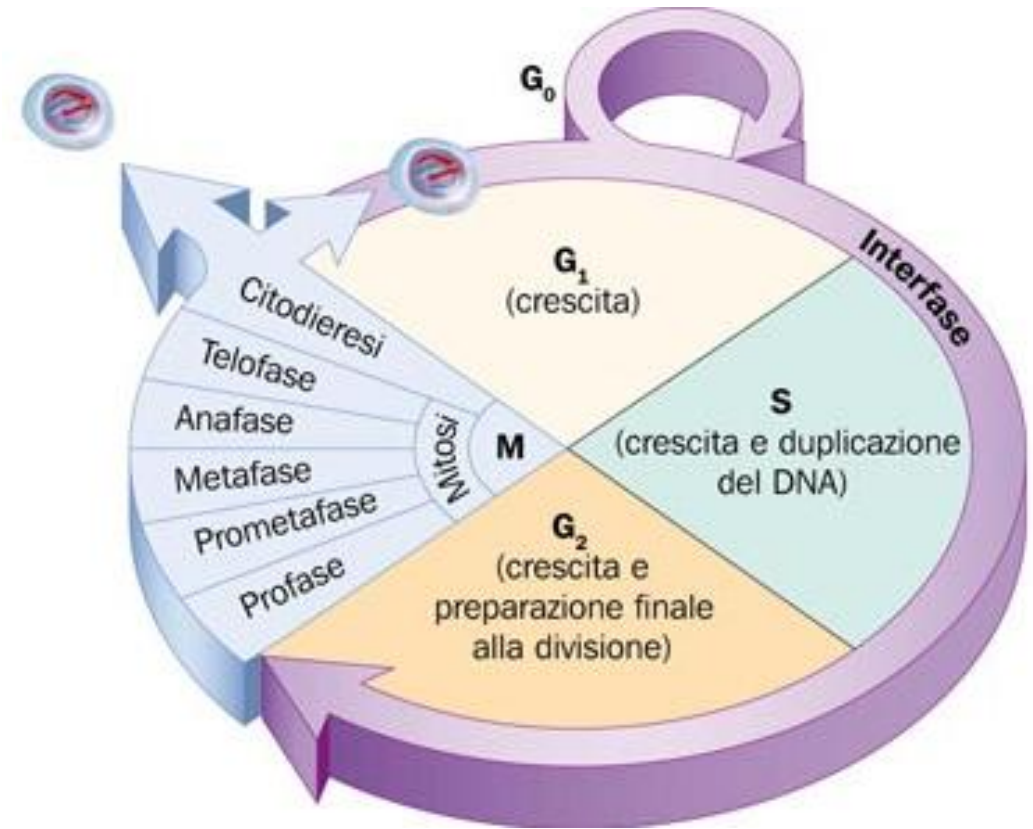


La fase M (Mitosi)

La fase M è la parte del ciclo cellulare nella quale le copie dei cromosomi della cellula, i cromatidi fratelli, si separano e la cellula va incontro a divisione. La separazione dei cromatidi fratelli nella fase M è un processo cruciale che determina la presenza di una serie completa di informazioni genetiche in ognuna delle cellule risultanti.

L'Enigma dei Ciechi

E' possibile dividere la Mitosi in sei stadi: i cinque stadi chiamati profase, prometafase, metafase, anafase e telofase e la citocinesi.

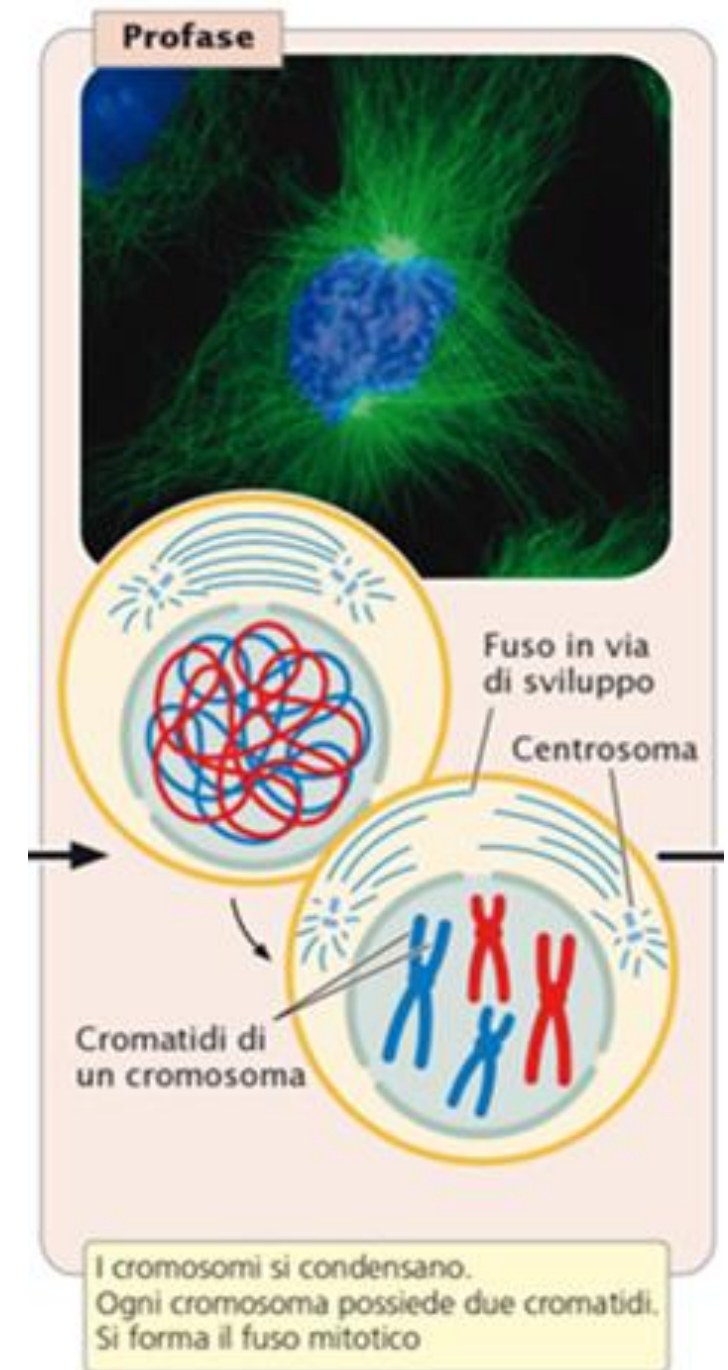


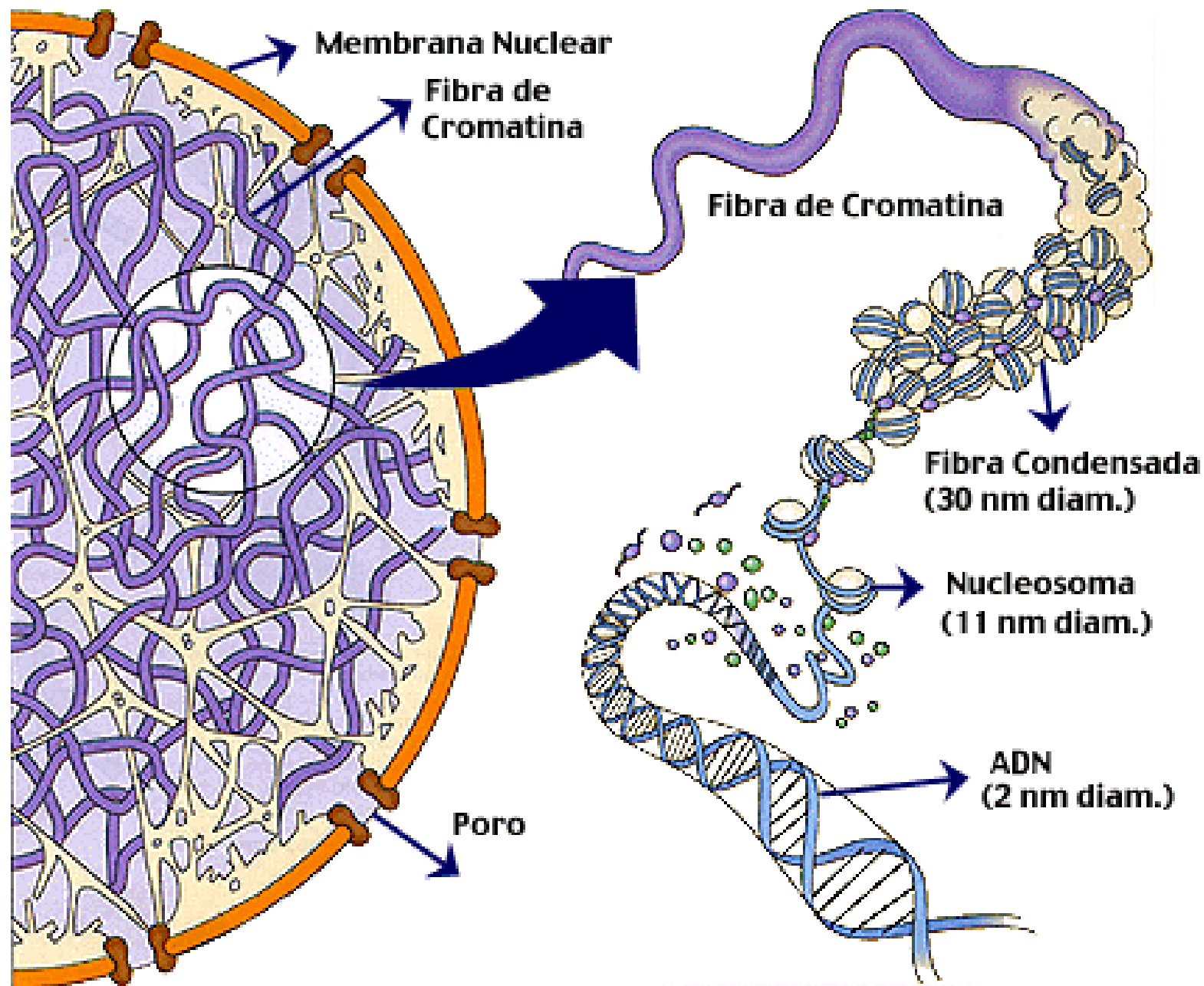
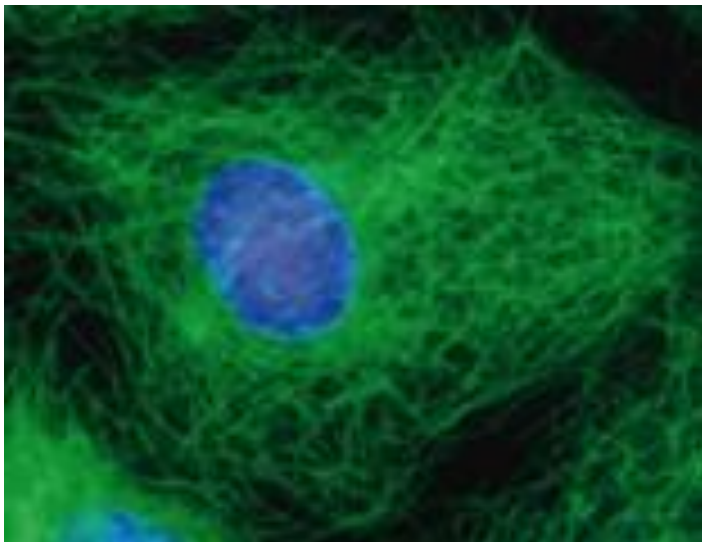
La profase.

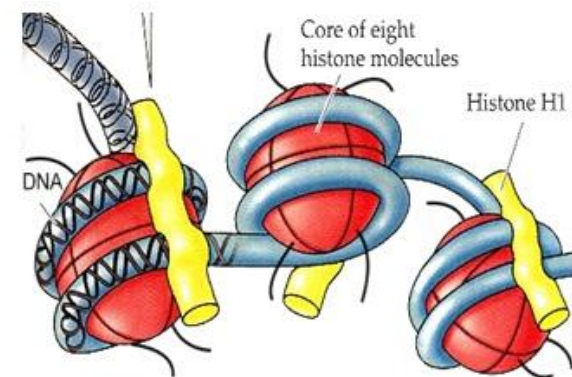
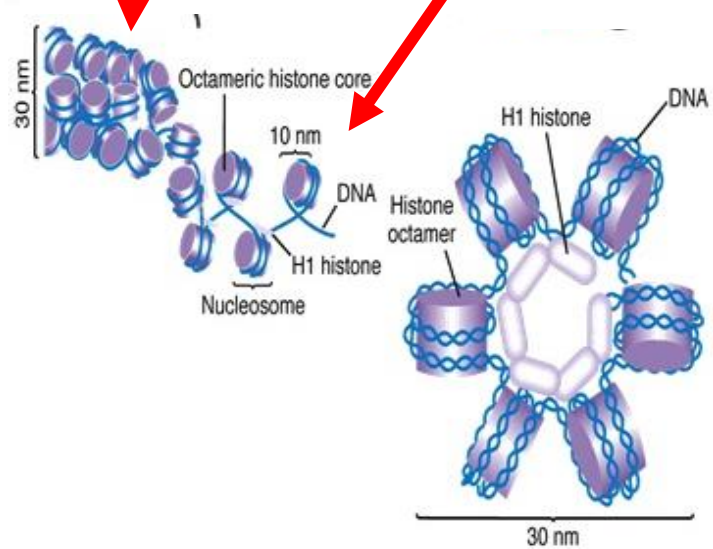
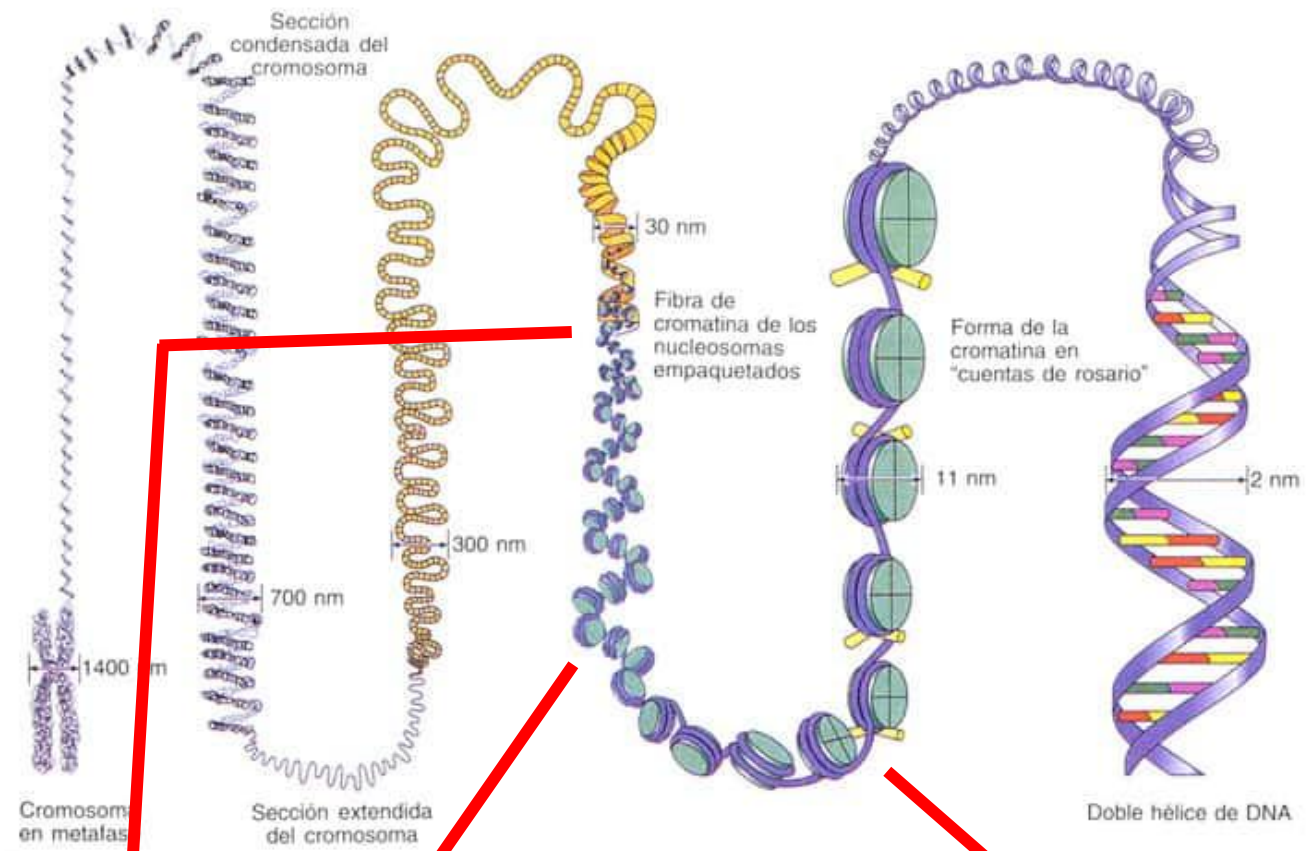
Poiché il cromosoma è stato duplicato nella precedente fase S, ogni cromosoma possiede due cromatidi attaccati a livello del centromero. Si forma il fuso mitotico, una struttura organizzata di microtubuli che determinano il movimento dei cromosomi nel corso della mitosi.

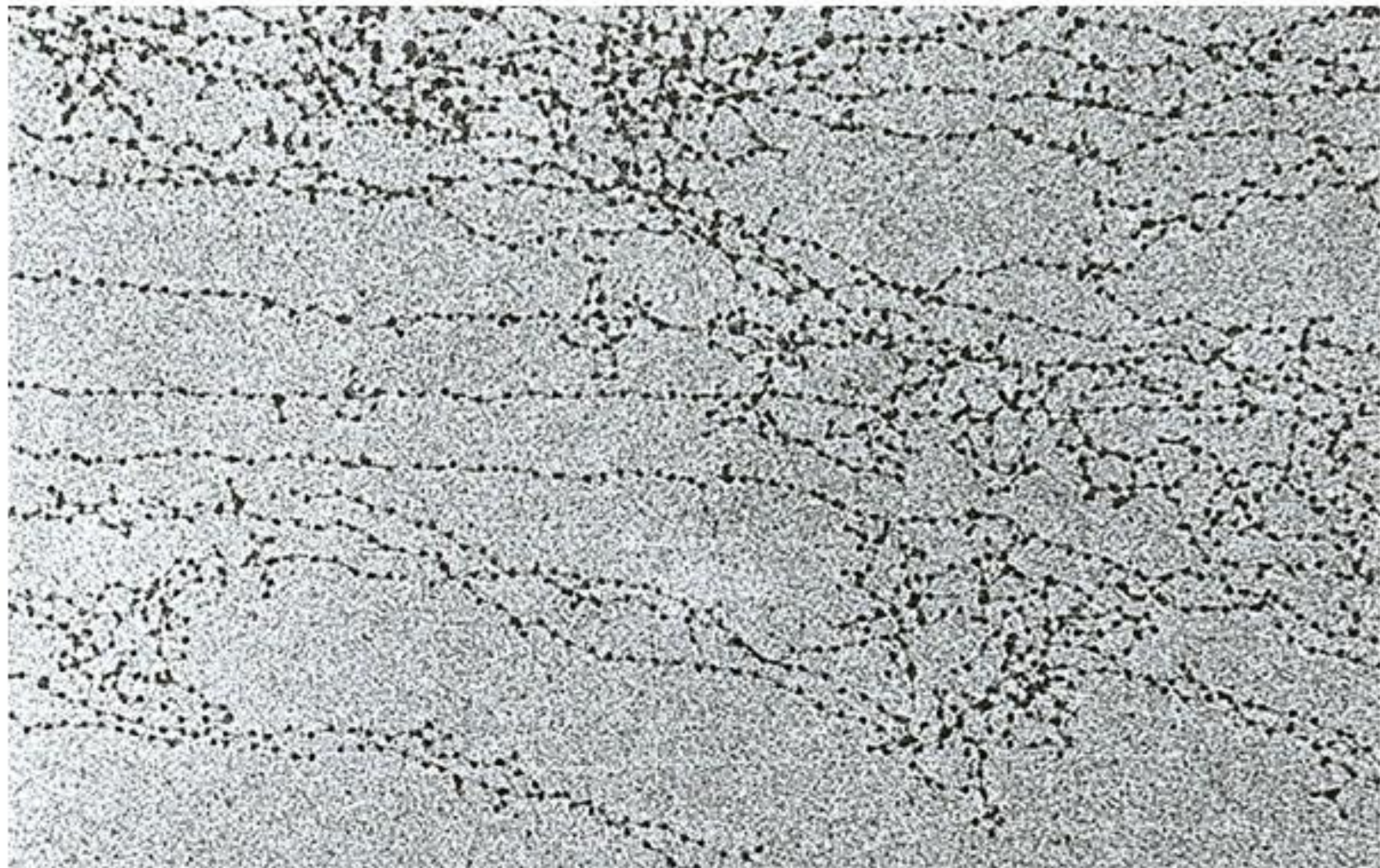
All'interno di ogni centrosoma si trova uno speciale organello, chiamato **Centriolo**.

I cromosomi si condensano ed assumono l'aspetto di bastoncini.

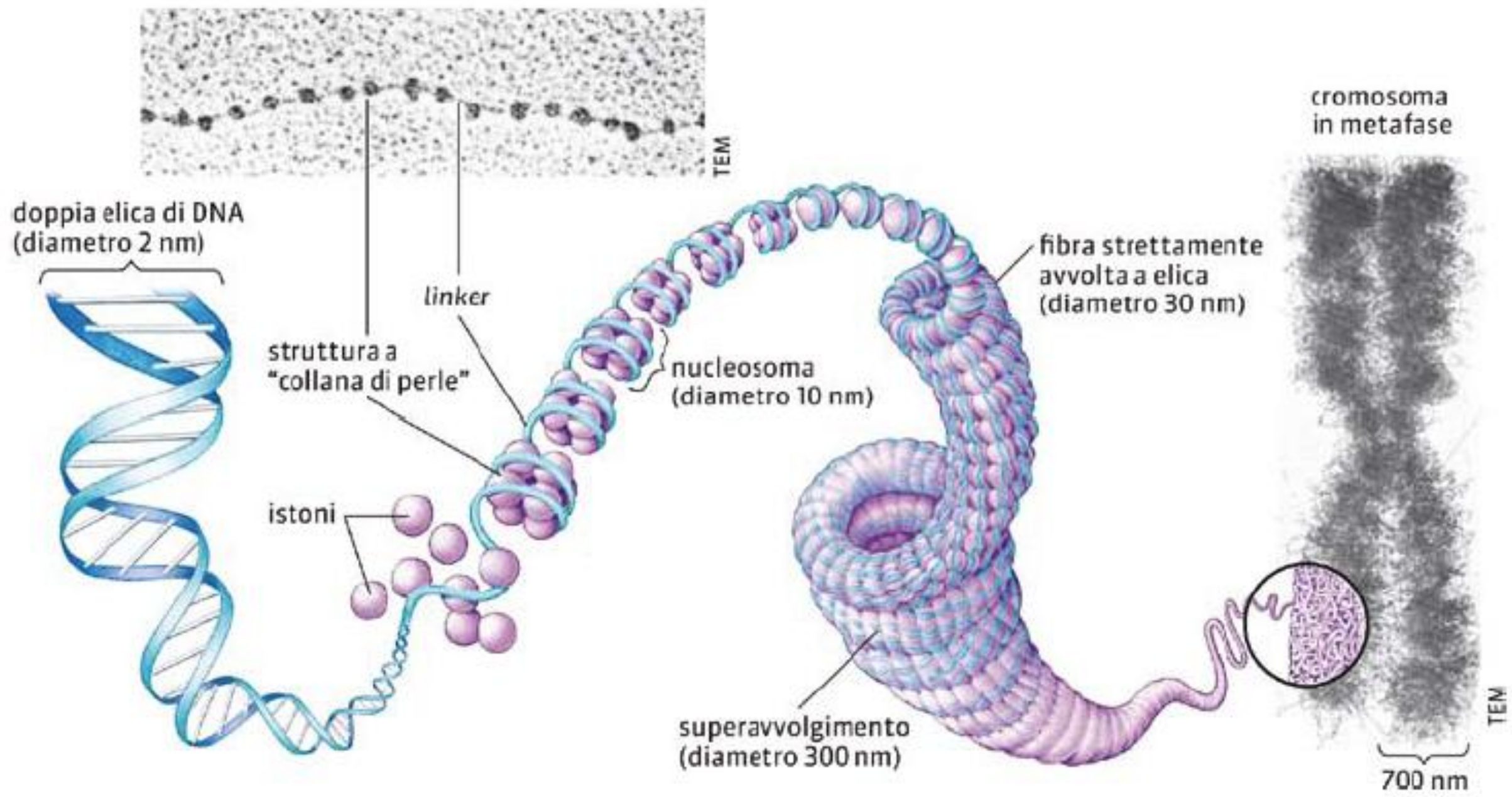


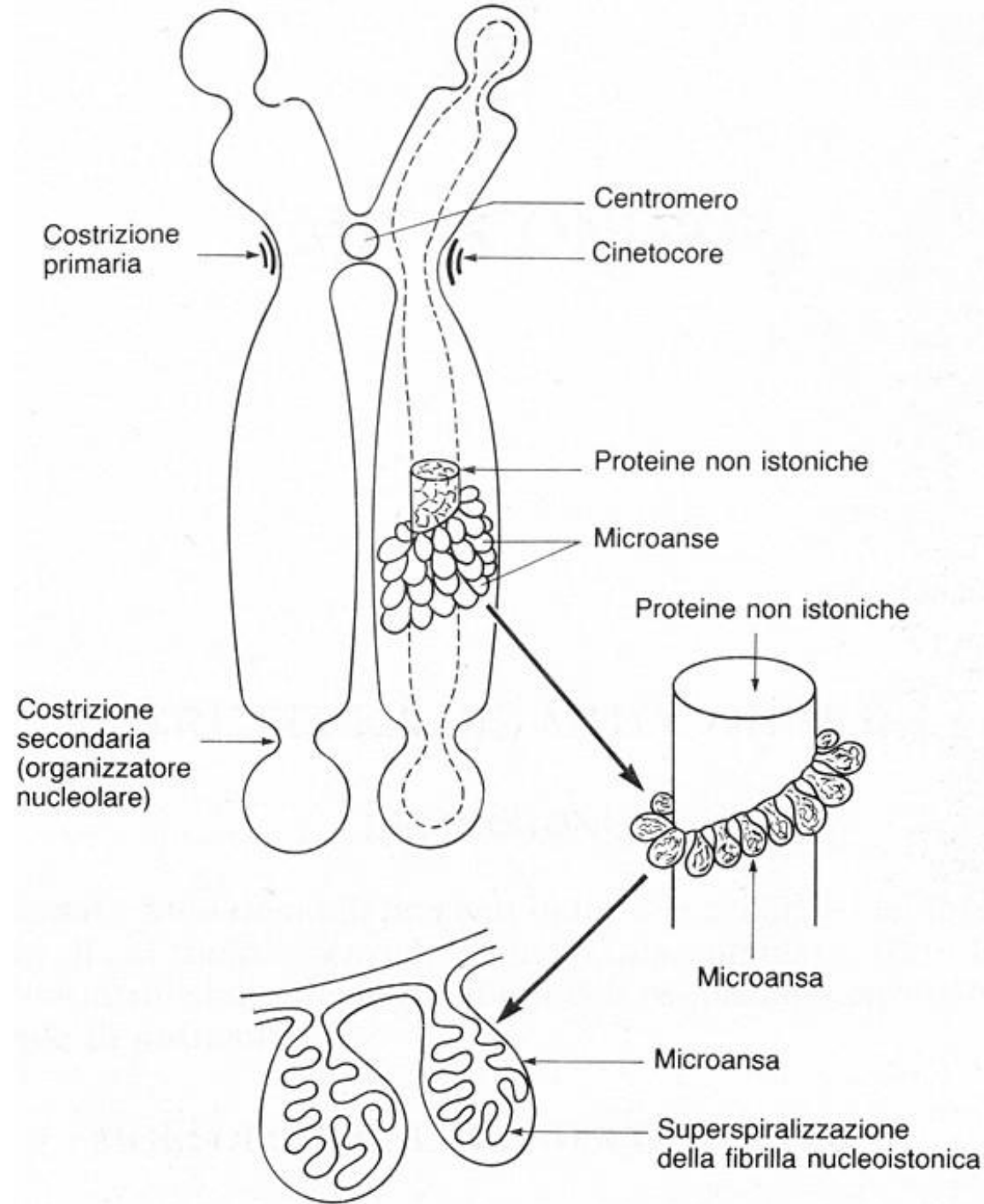


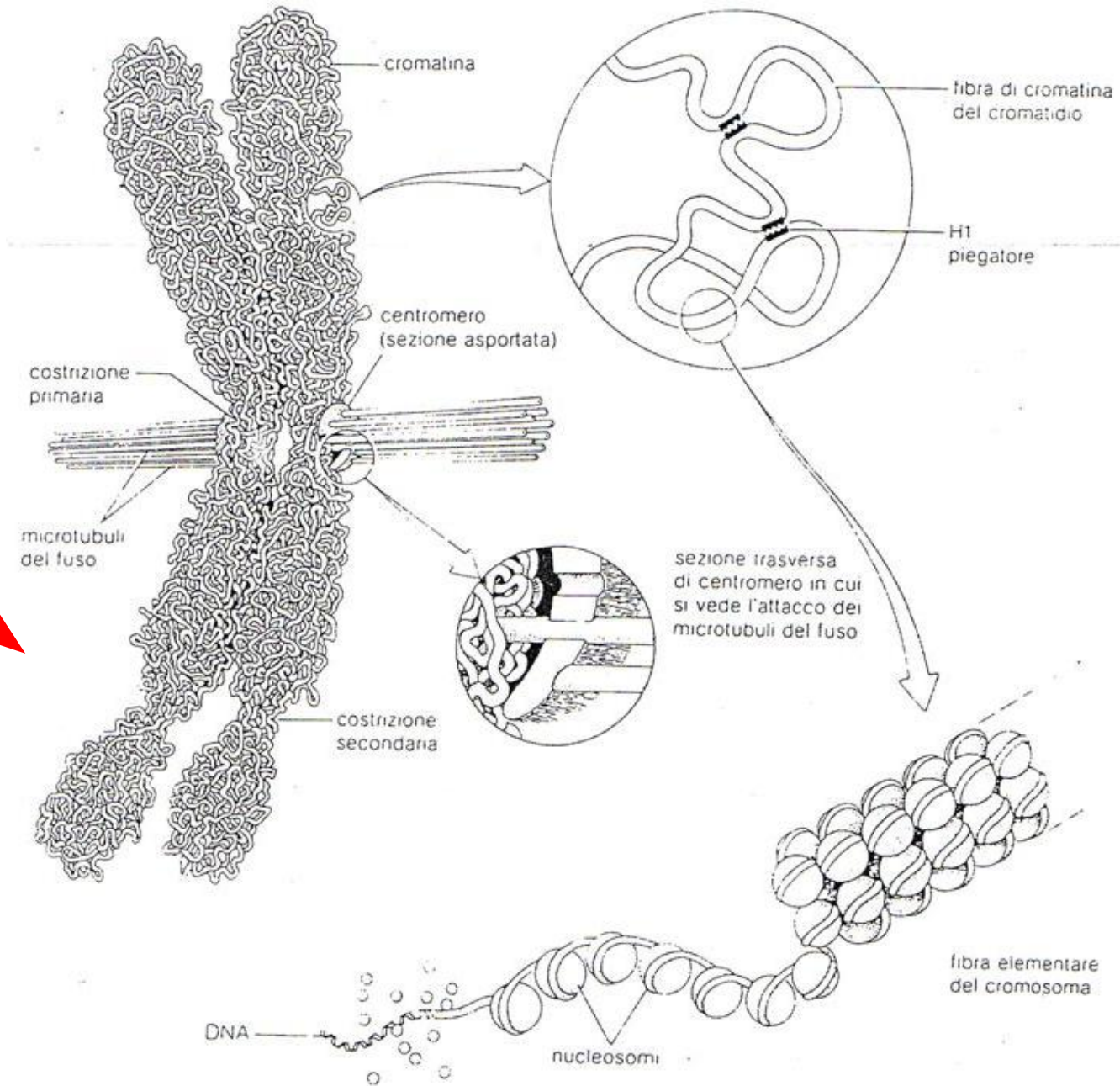




Courtesy of Dr. B. Hamkalo, University of California, Irvine. Noncommercial, educational use only.

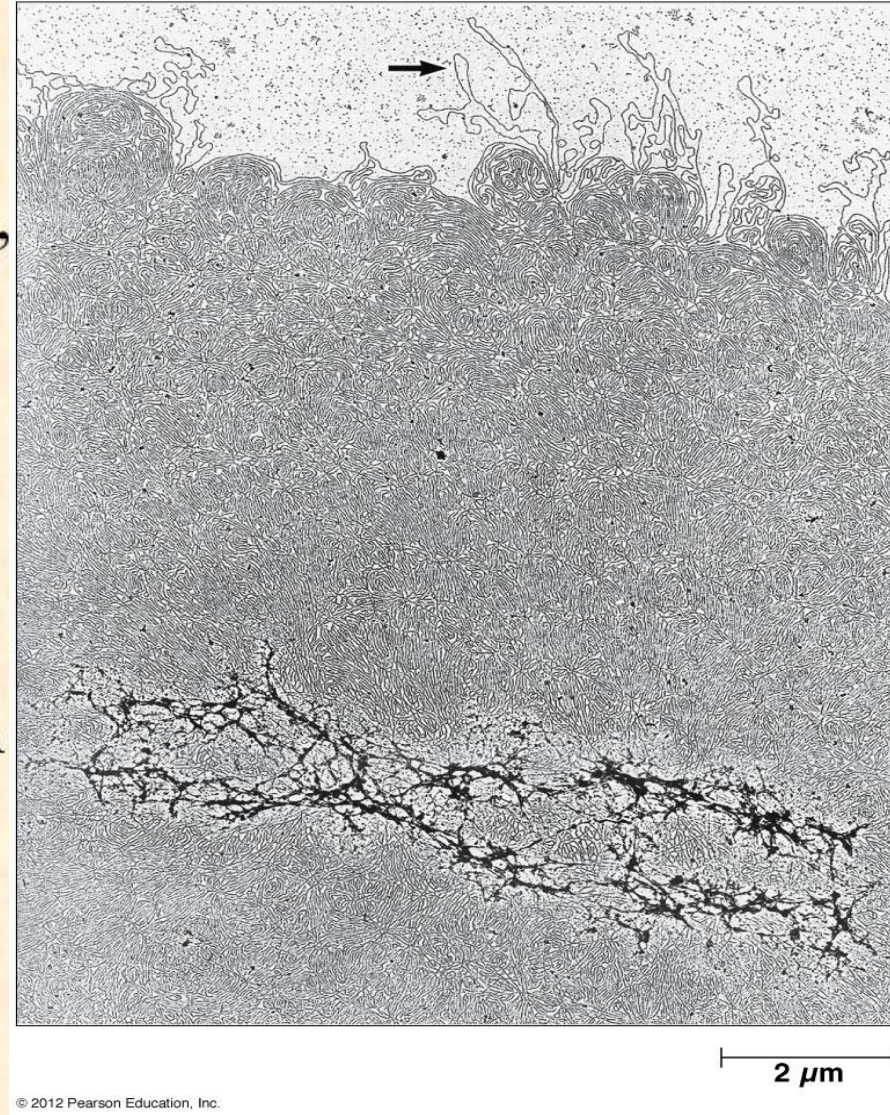




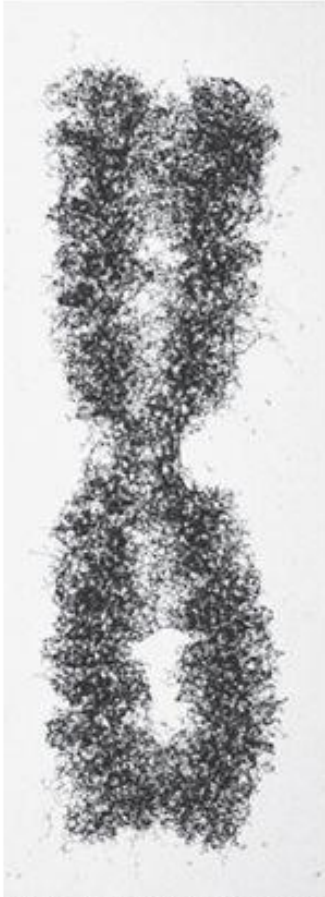


Loop of Chromosome Fiber

The chromatin solenoid is also called 30 nm chromatin fiber. In the condensed form, the fiber is associated with scaffold proteins (notably topoisomerase II) to form loops. Each loop contains about 75 kb DNA. Scaffold proteins are attached to DNA at specific regions, called scaffold attachment regions (SARs), which are rich in nucleotides A and T.

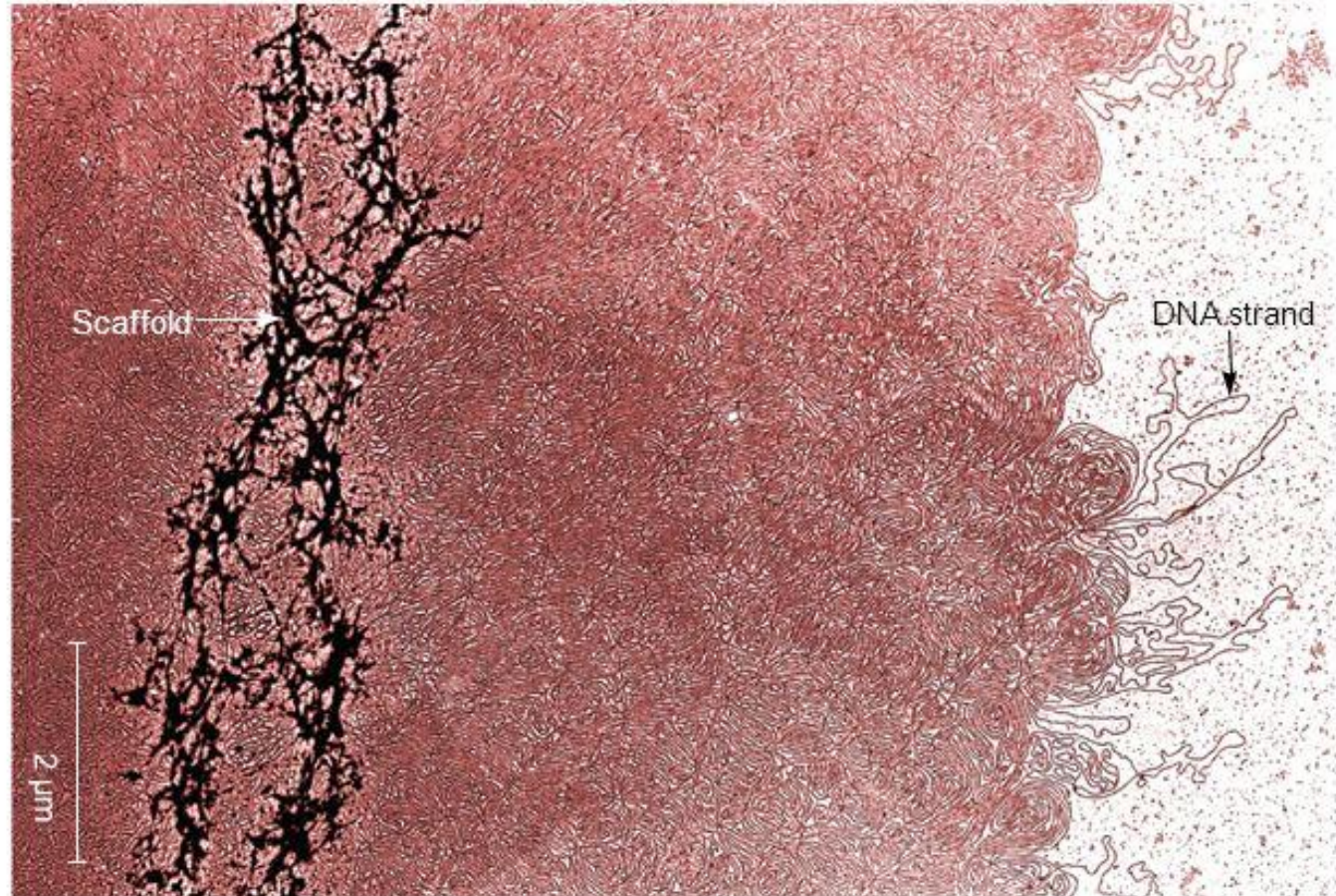


Metaphase Chromosomes



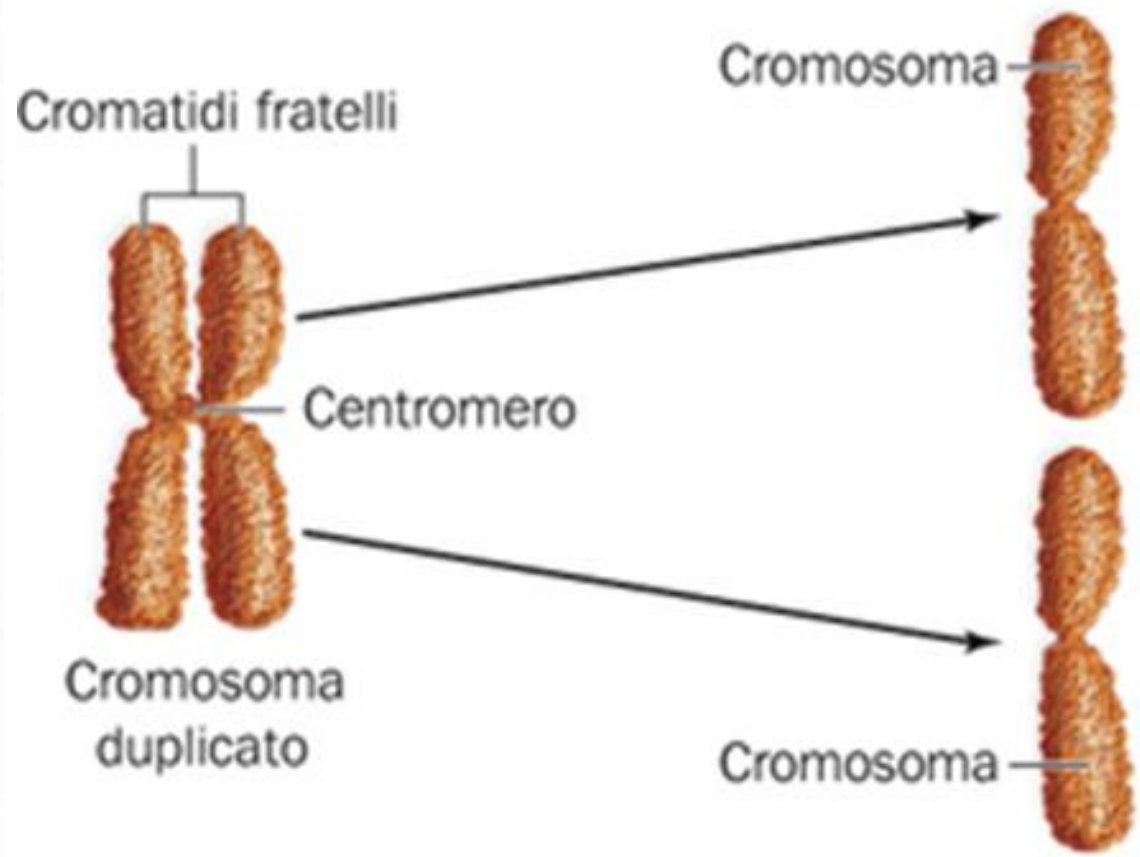
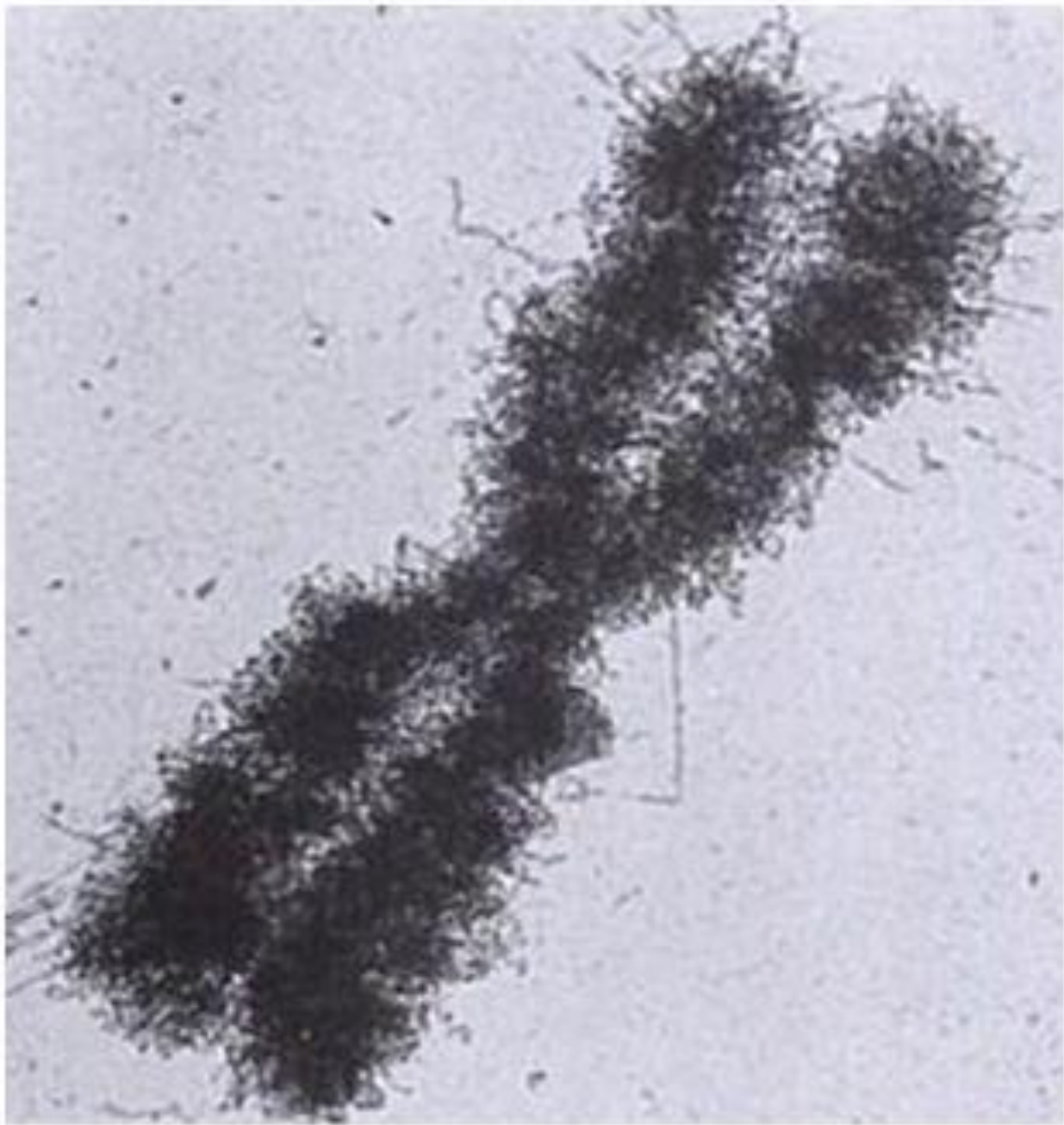
© Peter Engelhardt, Department of Virology, Heinrich Institute

**Metaphase
chromosome**



© Dr. Donald Fawcett Visuals Unlimited

**Metaphase chromosome treated with high salt to remove
histone proteins**



La prometafase.

Inizia con la dissoluzione della membrana nucleare.

I microtubuli del fuso ora possono entrare nella regione nucleare.

Essi sono composti di subunità di una proteina chiamata tubulina.

Alla fine, ogni cromosoma si fissa a microtubuli che provengono

dai poli opposti del fuso in questo modo: in ogni cromosoma un

microtubulo proveniente da uno dei centrosomi, si fissa al

cinetocore di uno dei cromatidi fratelli; a questo punto un

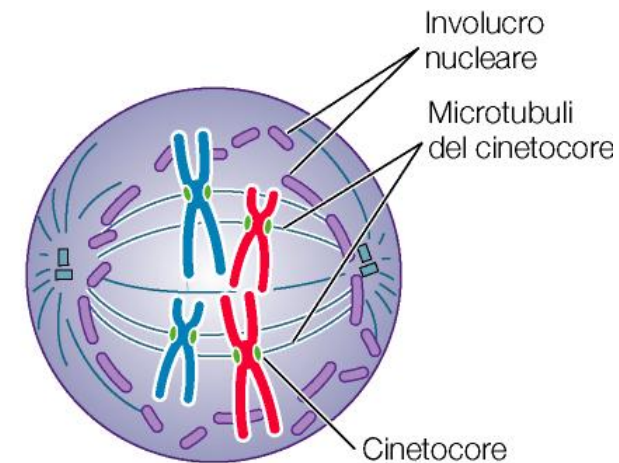
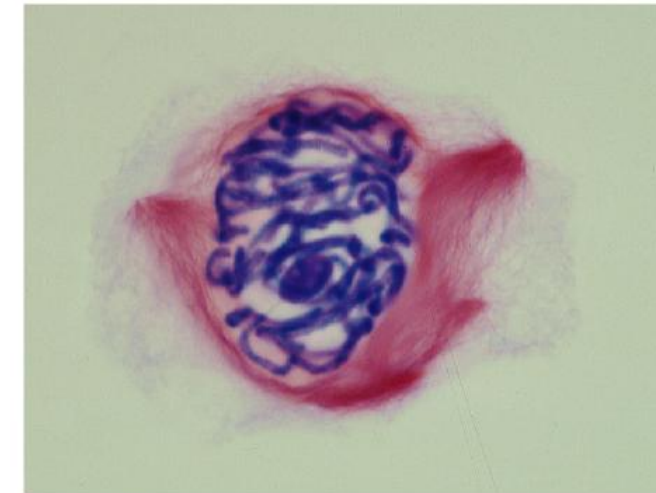
microtubulo proveniente dal centrosoma opposto si fissa all'altro

cromatidio fratello, assicurando così il cromosoma a entrambi i

centrosomi. Questa disposizione è nota come **BIORIENTAMENTO**

CROMOSOMICO.

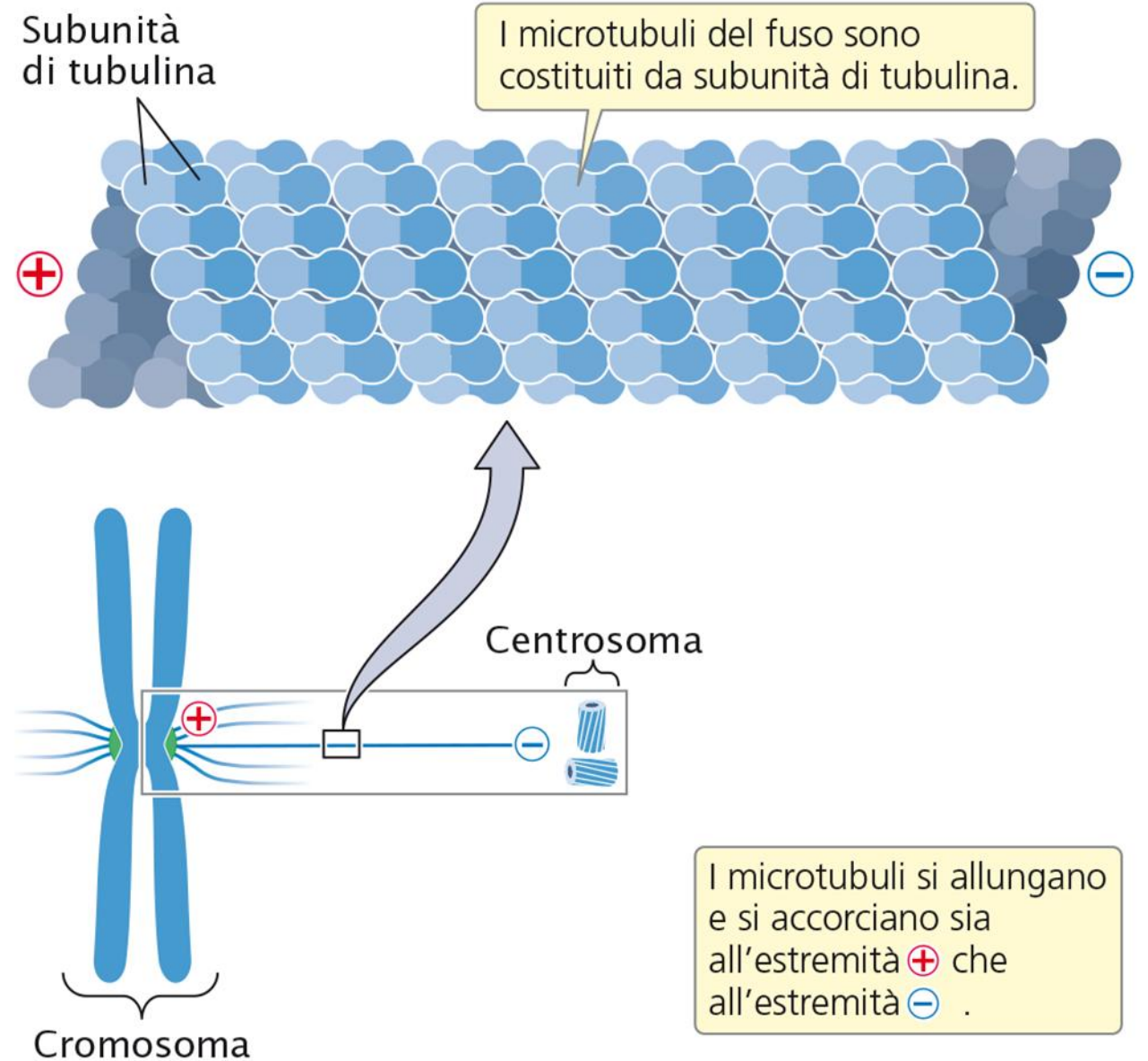
Prometafase



3 L'involucro nucleare si dissolve, i microtubuli del cinetocore iniziano a organizzarsi e collegano i cinetocori con i centri di organizzazione dei microtubuli.

I microtubuli sono costituiti da subunità di tubulina.

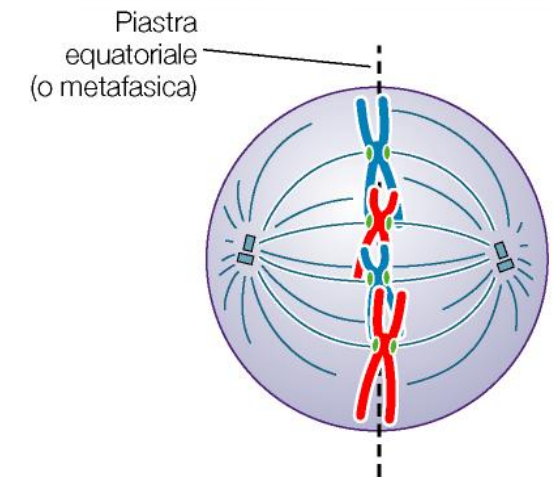
Ogni microtubulo ha la sua estremità positiva (+) verso il cinetocore e quella negativa (-) verso il centrosoma.



La metafase.

I cromosomi si dispongono su un piano → **PIASTRA METAFASICA**. I centrosomi rappresentano i poli del fuso. Un checkpoint di assemblaggio del fuso mitotico (spindle assembly checkpoint S.A.C.) garantisce che ogni cromosoma sia allineato sulla piastra metafasica e assicurato alle fibre dei poli opposti del fuso. Il superamento del checkpoint è in funzione della tensione generata sul cinetocore quando i due cromatidi, vengono tirati in direzioni opposte dalle fibre del fuso. Questa tensione è indispensabile per il superamento del S.A.C. Se un solo cromatidio viene attaccato al microtubulo non si determina alcuna tensione e la cellula non riesce a progredire verso lo stadio successivo del suo ciclo. L'importanza di questo checkpoint è evidente nelle cellule che presentano un difettoso assemblaggio del fuso → cellule con numero anomalo di cromosomi.

Metafase

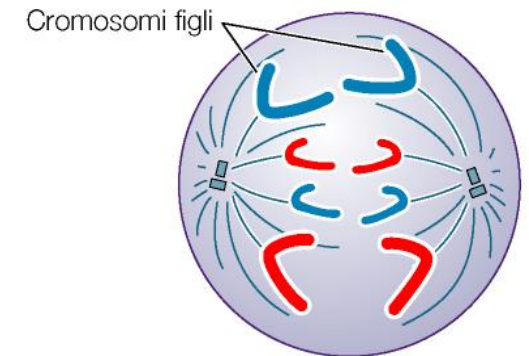
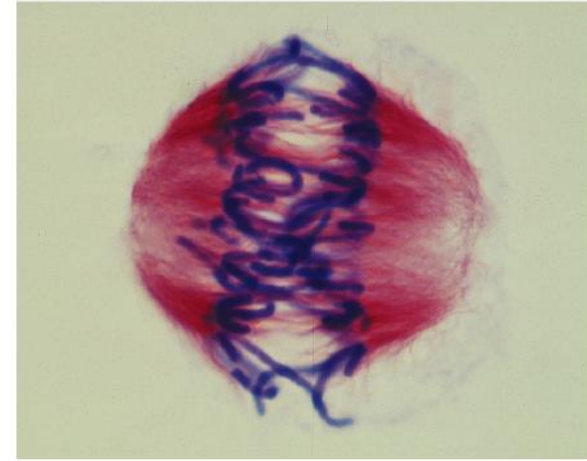


4 I centromeri (regioni che connettono i cromatidi appaiati) si allineano sul piano equatoriale della cellula.

L'anafase.

Una volta che è stato superato il checkpoint di assemblaggio del fuso, la connessione fra i cromatidi fratelli si interrompe ed essi si separano. La separazione dei cromatidi segna l'inizio dell'anafase durante la quale i cromosomi si spostano verso i poli opposti del fuso. Il movimento dei cromosomi è dovuto alla rimozione delle molecole di tubulina sia all'estremità del cinetocore (chiamata estremità positiva) che all'estremità del fuso (chiamata estremità negativa), della fibra del fuso. Speciali proteine chiamate motori molecolari rimuovono le molecole di tubulina dal fuso e generano forze che trascinano il cromosoma verso i poli.

Anafase



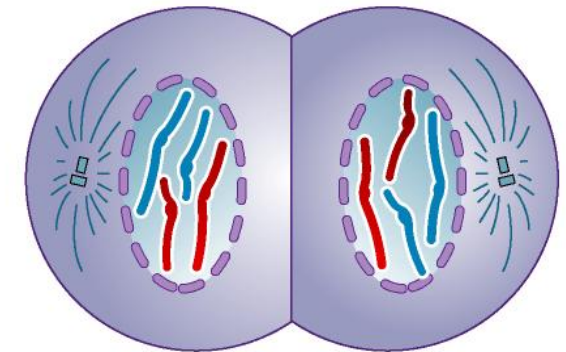
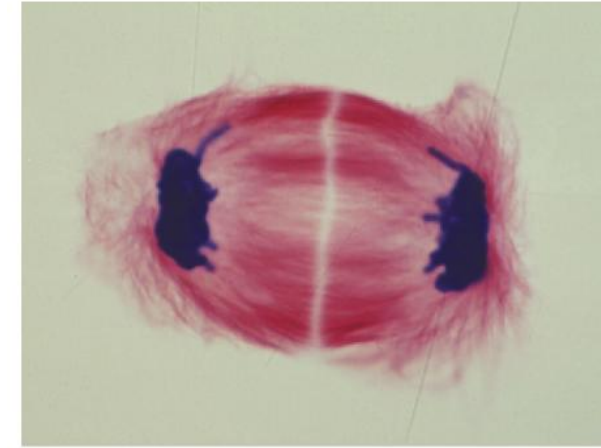
5 I cromatidi appaiati si separano e i cromosomi figli iniziano a migrare verso i poli opposti della cellula.

La telofase.

Dopo che è avvenuta la separazione dei cromatidi, ciascuno di loro è considerato come un cromosoma a sé stante.

La telofase è caratterizzata dall'arrivo dei cromosomi ai poli del fuso. Intorno a ciascuna serie di cromosomi si ricostituisce la membrana nucleare e all'interno della cellula si originano due nuclei separati. I cromosomi ora sono rilassati e distesi, e scompaiono di nuovo alla vista.

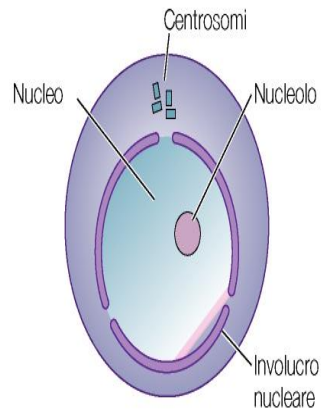
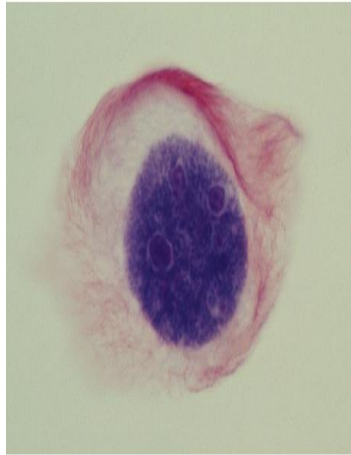
Telofase



3 I cromosomi figli raggiungono i poli della cellula e la cellula entra in interfase quando l'involucro nucleare e i nucleoli si riorganizzano e la cromatina si despiralizza.

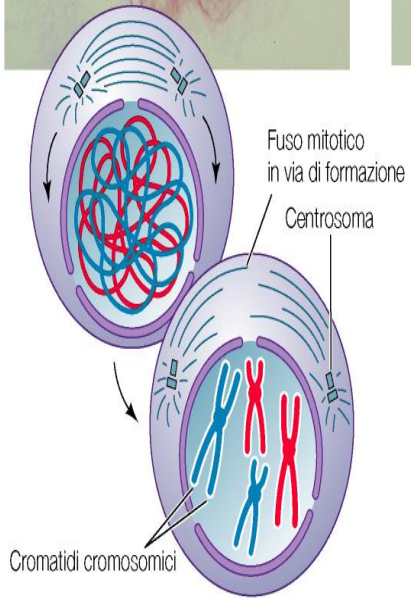
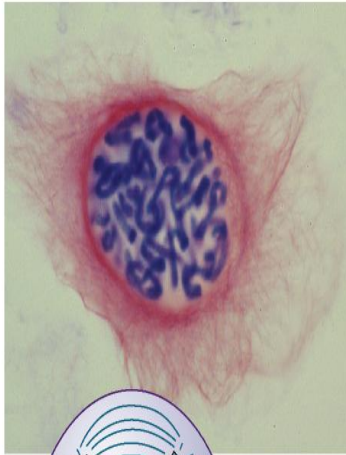
FASI DELLA MITOSI

Interfase



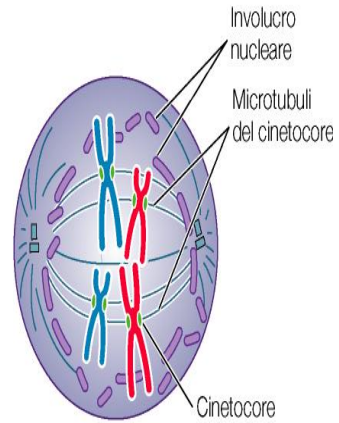
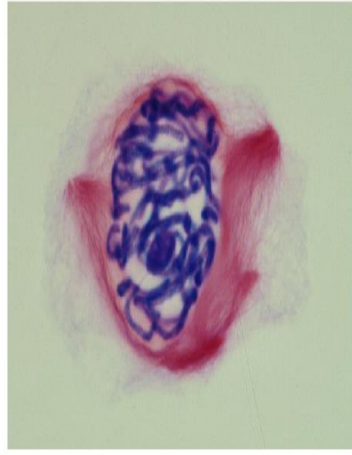
1 Durante la fase S dell'interfase il nucleo duplica il proprio DNA e i centrosomi.

Profase



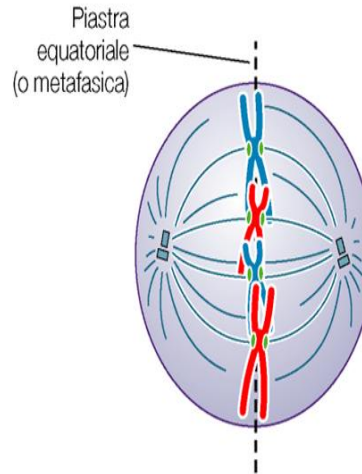
2 La cromatina si spiralizza e si condensa, diventando sempre più compatta fino ad assumere la forma di cromosomi. I cromosomi sono costituiti da cromatidi fratelli appaiati e identici fra loro.

Prometafase



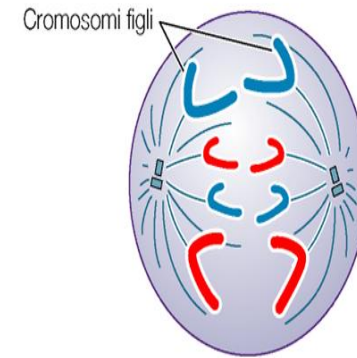
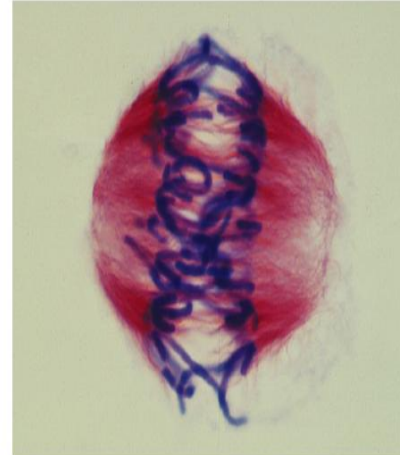
3 L'involucro nucleare si dissolve, i microtubuli del cinetocore iniziano a organizzarsi e collegano i cinetocori con i centri di organizzazione dei microtubuli.

Metafase



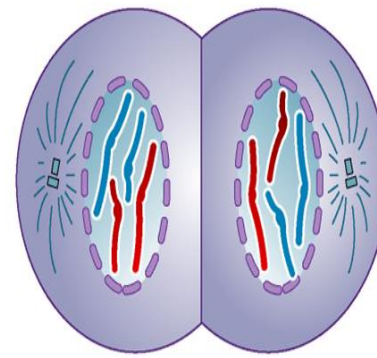
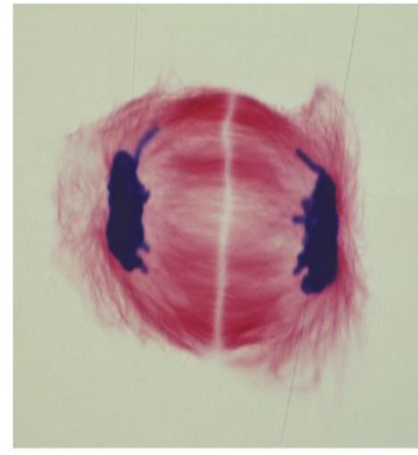
4 I centromeri (regioni che connettono i cromatidi appaiati) si allineano sul piano equatoriale della cellula.

Anafase



5 I cromatidi appaiati si separano e i cromosomi figli iniziano a migrare verso i poli opposti della cellula.

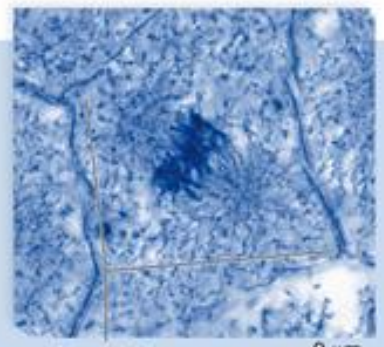
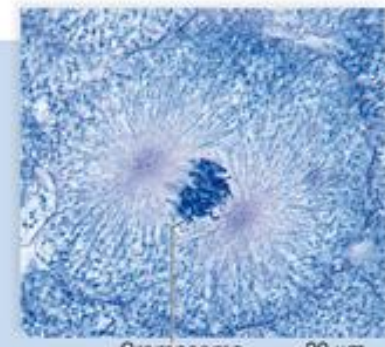
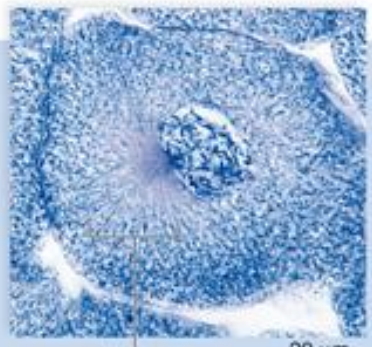
Telofase



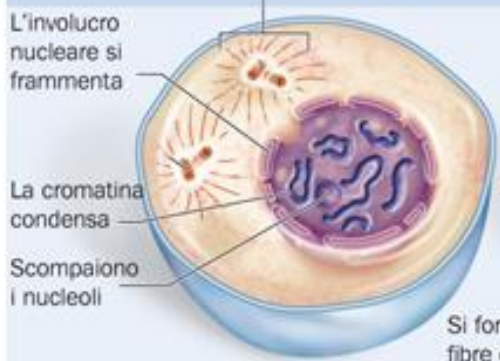
6 I cromosomi figli raggiungono i poli della cellula e la cellula entra in interfase quando l'involucro nucleare e i nucleoli si riorganizzano e la cromatina si despiralizza.



Cellula animale in interfase

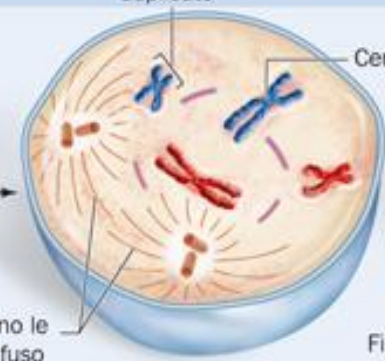


MITOSI



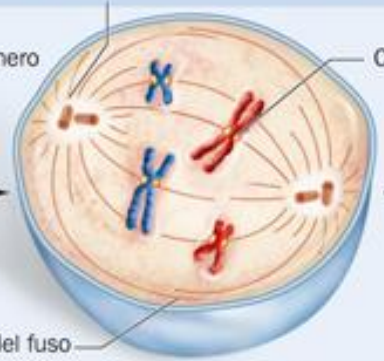
Profase precoce

I centrosomi si sono divisi. La cromatina è condensata nei cromosomi e l'involucro nucleare si è frammentato.



Profase

Il nucleolo è scomparso e sono visibili i cromosomi duplicati. I centrosomi cominciano ad allontanarsi tra loro e sta per formarsi il fuso mitotico.

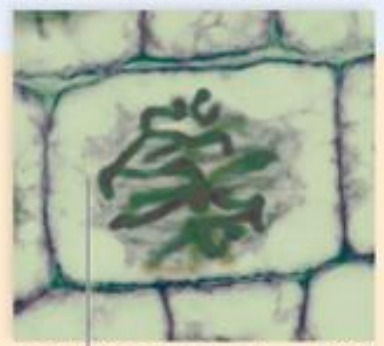
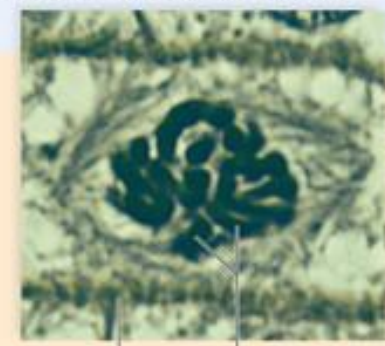
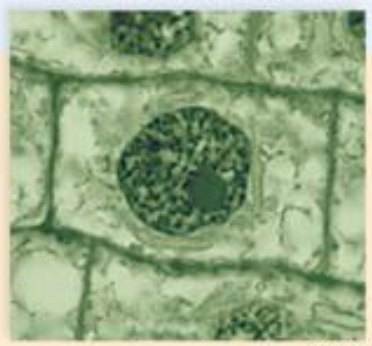


Metafase precoce

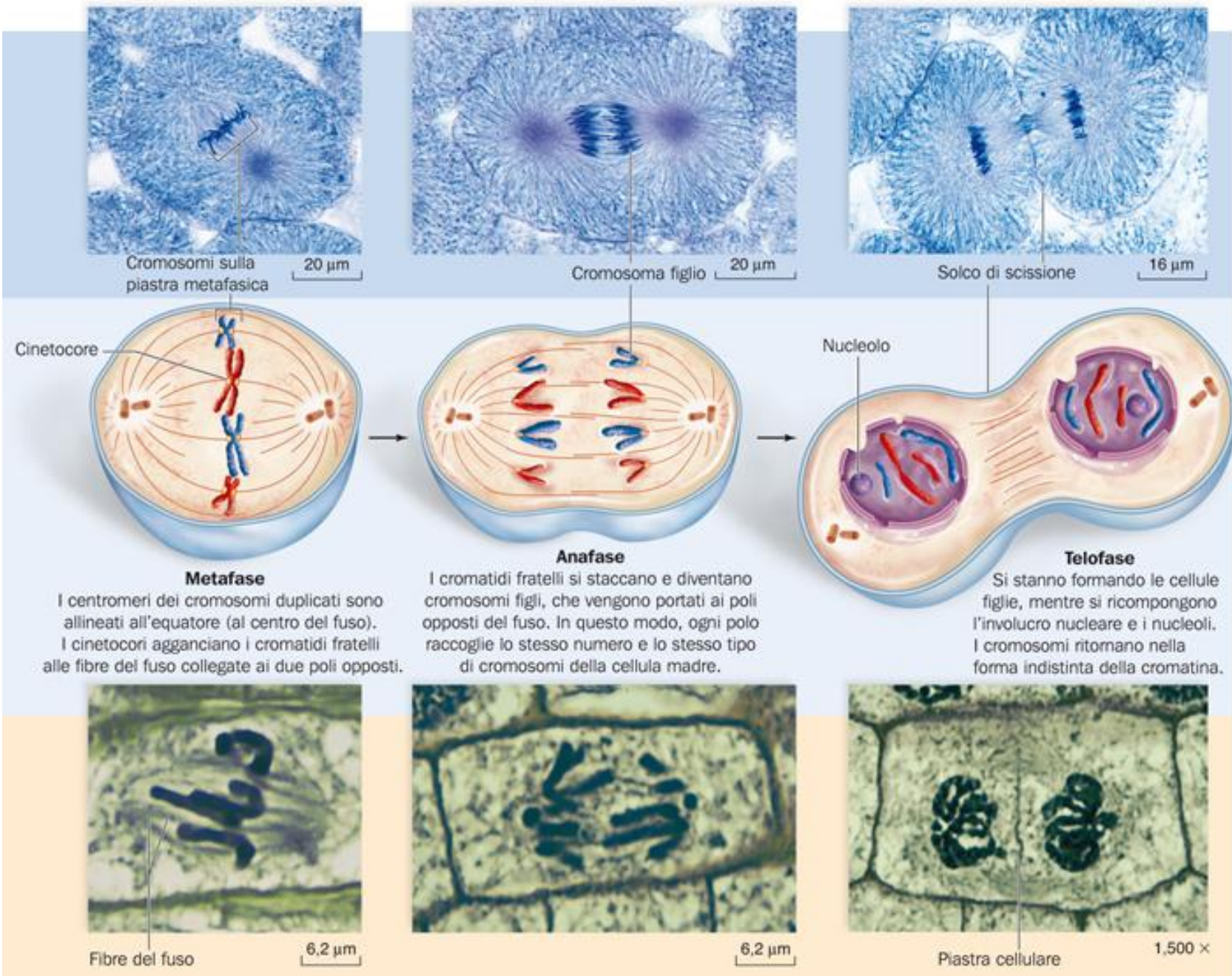
Ogni cromosoma duplicato è ancorato a una fibra del fuso per mezzo di un cinetocore. Alcune fibre del fuso si allungano da ciascun polo del fuso, sovrapponendosi.



Cellula vegetale in interfase

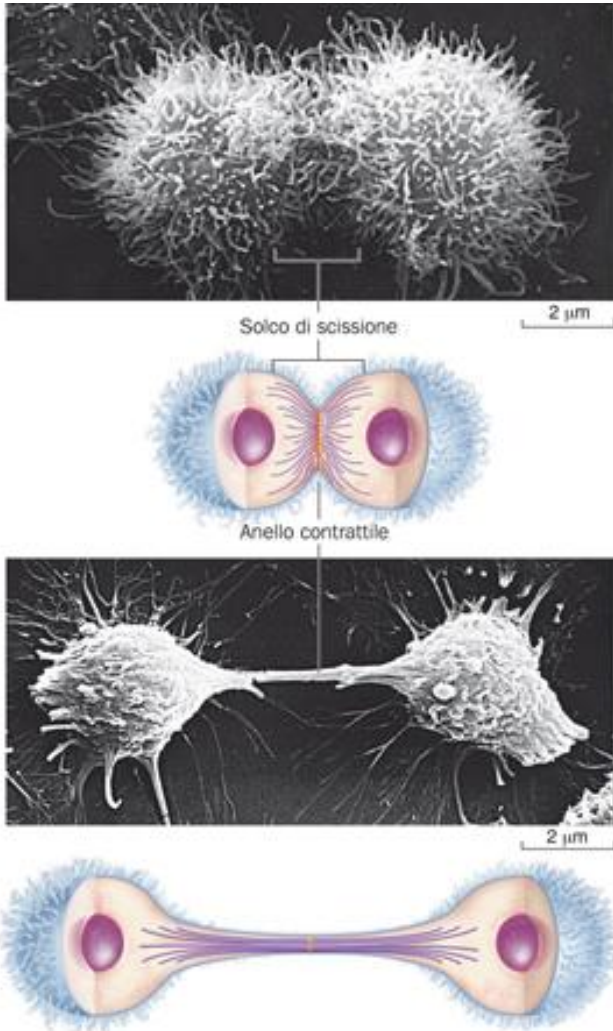


Le fasi della mitosi nella cellula animale (in alto) e nella cellula vegetale (in basso) – I parte



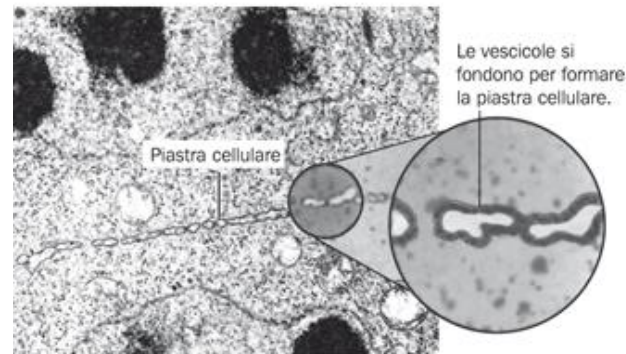
Le fasi della mitosi nella cellula animale (in alto) e nella cellula vegetale (in basso) – Il parte

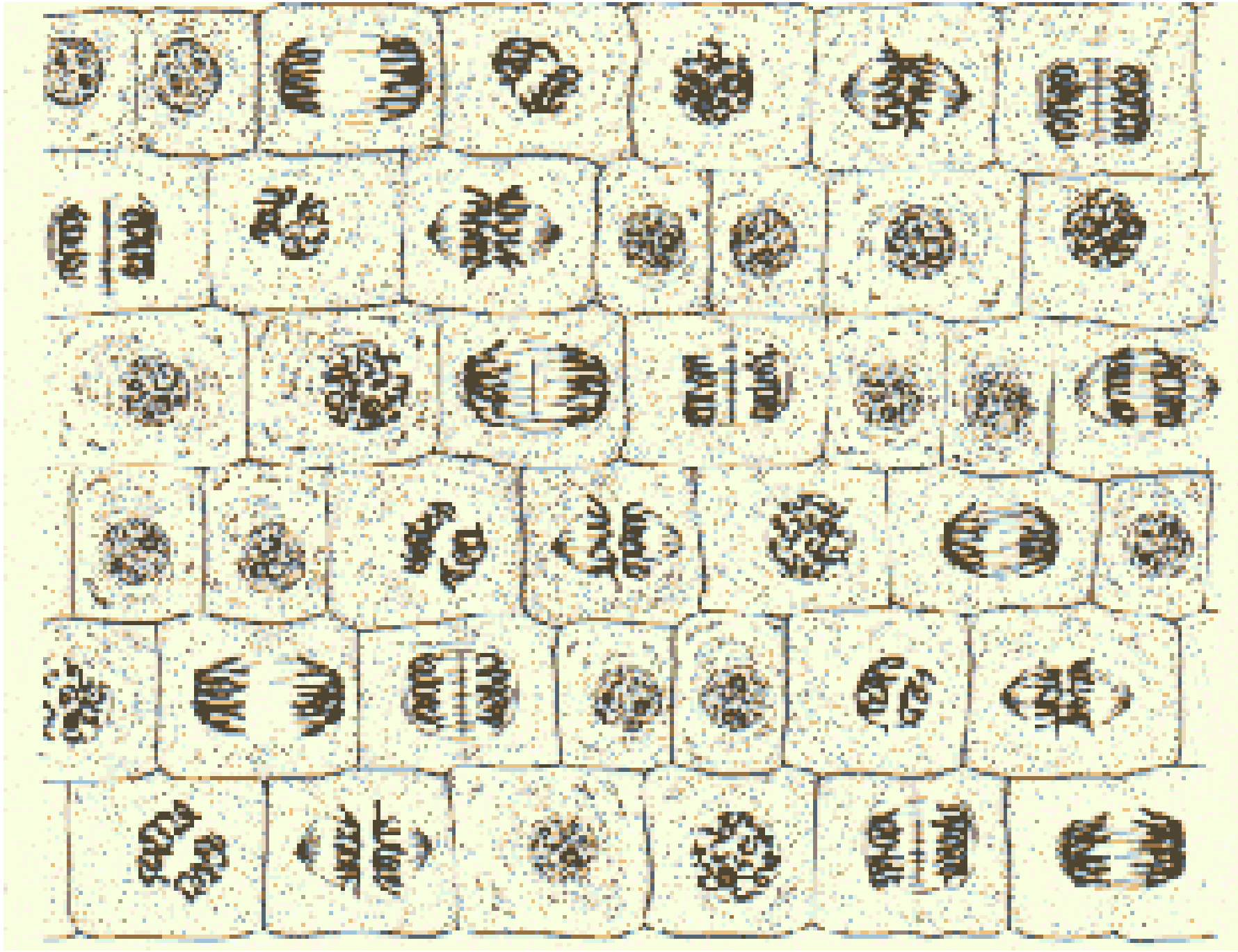
La citodieresi è la divisione del citoplasma

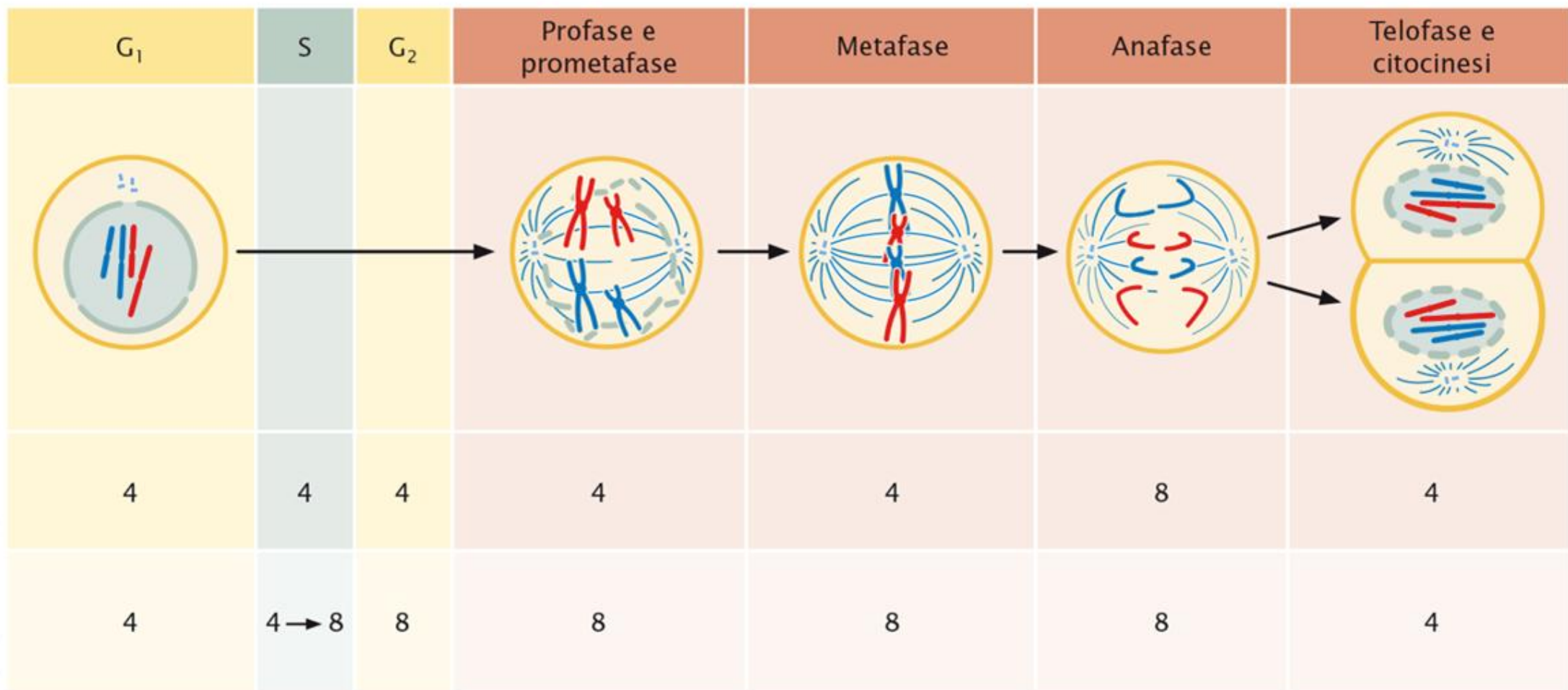


La separazione delle cellule animali avviene grazie alla formazione di un **solco di scissione**, cioè un'intaccatura della membrana plasmatica.

Nelle cellule vegetali, la citodieresi implica la sintesi di una nuova membrana plasmatica, generata da vescicole che si fondono formando una **piastra cellulare**, e di una nuova parete cellulare.







Problema

Il cavallo (*Equus caballus*) ha un corredo diploide di 64 cromosomi inclusi 36 autosomi acrocentrici; l'asino (*Equus asinus*) ha 62 cromosomi, inclusi 22 autosomi acrocentrici.

- (a) Si determini il numero dei cromosomi che si troveranno nell'ibrido (mulo) prodotto dall'accoppiamento di un asino maschio con una cavalla.
- (b) Perché normalmente i muli sono sterili (incapaci di produrre gameti vitali)?

Soluzione:

- (a) Lo spermatozoo dell'asino maschio porta il numero aploide di cromosomi della sua specie ($62/2 = 31$); l'uovo della cavalla porta il numero aploide della sua specie ($64/2 = 32$); il mulo ibrido, formato dall'unione di questi gameti, ha un numero diploide di $31 + 32 = 63$.
- (b) La serie aploide di cromosomi del cavallo, che include 18 autosomi acrocentrici, è così diversa da quella dell'asino, che include solo 11 autosomi acrocentrici, che la meiosi nella linea germinale del mulo non può procedere oltre la prima profase in cui avviene la sinapsi dei cromosomi omologhi.

La riproduzione sessuata produce variabilità genetica attraverso il processo della meiosi.

L'evoluzione della riproduzione sessuata è uno degli eventi più importanti della storia della vita.

La velocità dell'evoluzione dipende dalla quantità di variabilità genetica presente.

La riproduzione sessuata, mescolando le informazioni genetiche provenienti dai due genitori, aumenta enormemente i livelli di variabilità genetica e accelera il processo evolutivo.

La riproduzione sessuata produce variabilità genetica attraverso il processo della meiosi.



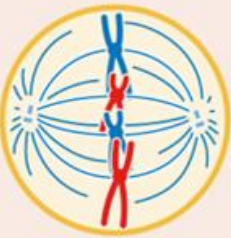

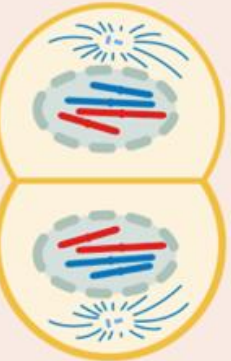
Buona parte della stupefacente diversità della vita sulla Terra è il risultato diretto della riproduzione sessuata.

La riproduzione sessuata consiste di due processi. Il primo è la meiosi, che produce gameti nei quali il numero di cromosomi è ridotto della metà.

Il secondo processo è la fecondazione, durante la quale due gameti aploidi si fondono e riportano il numero dei cromosomi all'originario valore diploide.

La meiosi è costituita da due divisioni.

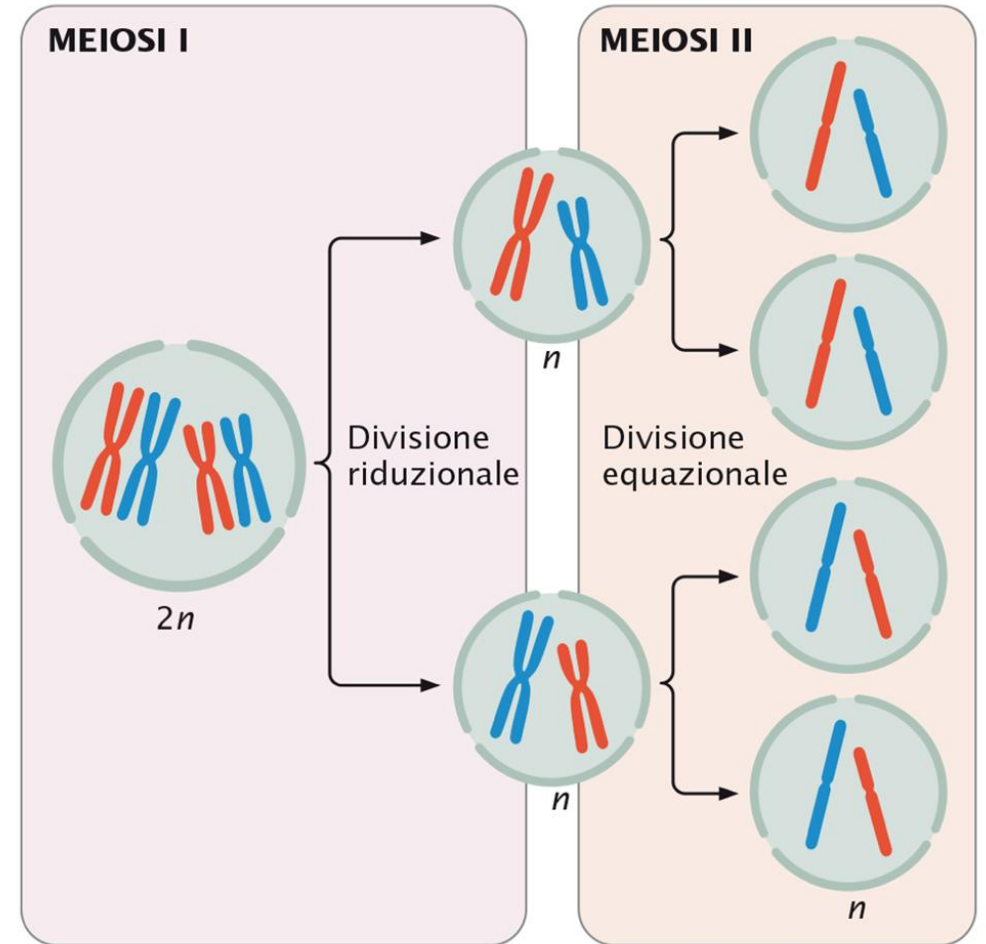
Dopo la mitosi il numero dei cromosomi nelle nuove cellule è uguale a quello della cellula originale

	G ₁	S	G ₂	Profase e prometafase	Metafase	Anafase	Telofase e citocinesi
							
Numero di cromosomi per ogni cellula	4	4	4	4	4	8	4
Numero di molecole di DNA per ogni cellula	4	4 → 8	8	8	8	8	4

La meiosi è costituita da due divisioni.

Dopo la mitosi il numero dei cromosomi nelle nuove cellule è uguale a quello della cellula originale ... mentre la meiosi provoca il dimezzamento del numero dei cromosomi nelle cellule figlie.

Mentre la mitosi produce cellule geneticamente identiche, la meiosi dà luogo a cellule geneticamente variate.



La meiosi consiste di due fenomeni distinti, la meiosi I e la meiosi II, ciascuno dei quali comporta una divisione cellulare. La prima divisione, che ha luogo alla fine della meiosi I, si chiama **divisione riduzionale** perché il numero di cromosomi di ogni cellula si riduce della metà. La seconda divisione, che si verifica alla fine della meiosi II, si chiama **divisione equazionale**.

