

Lezione 5

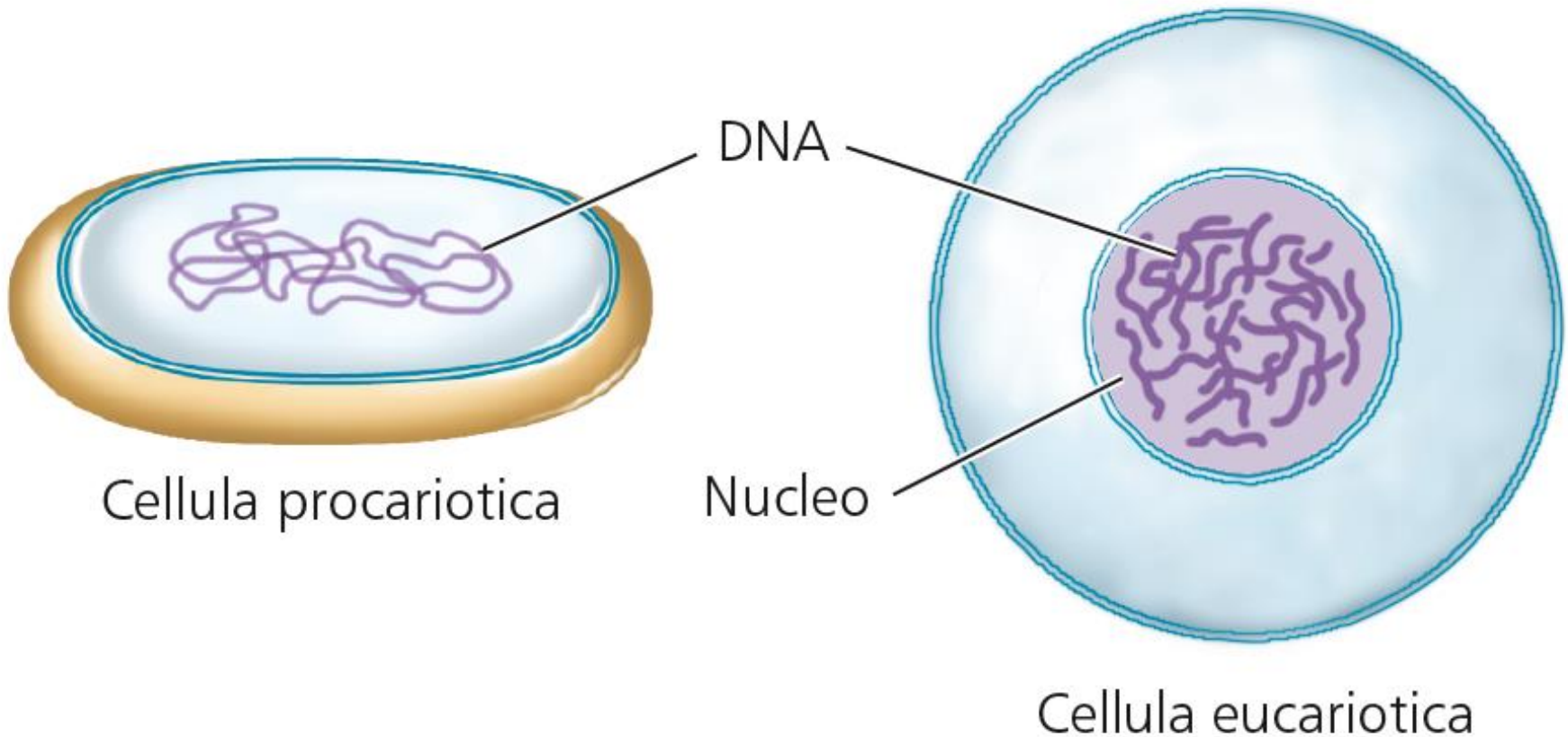
Il ciclo cellulare:
mitosi e meiosi

PROCARIOTI e EUCARIOTI

Tutte le cellule si originano dalla **divisione di cellule preesistenti**.
Quando una cellula si divide, l'**informazione** contenuta nel **DNA** deve essere **fedelmente duplicata** e le copie trasmesse alle cellule figlie.

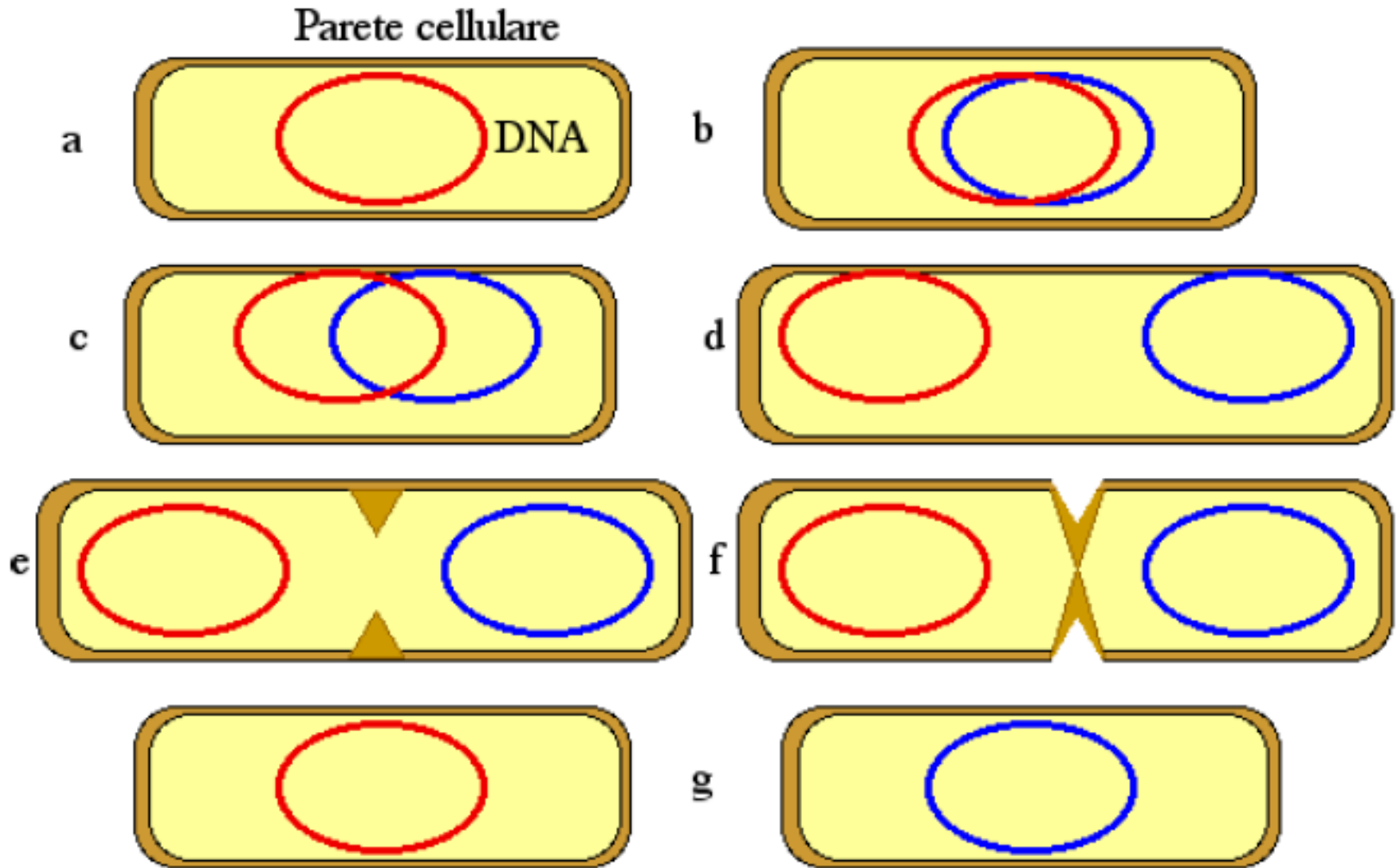


PROCARIOTI e EUCARIOTI



La riproduzione asexuata per scissione binaria o per mitosi porta alla costanza genetica. La progenie che ne deriva sono cloni della cellula madre (organismi geneticamente identici)

La SCISSIONE BINARIA nei procariotti produce cellule identiche



A

1 La replicazione del DNA inizia nel sito di origine (*ori*) al centro della cellula.



2 Il DNA si duplica mentre la cellula cresce.



3 Le molecole figlie di DNA si separano, in un processo guidato dalle regioni *ori*. La cellula comincia a dividersi.

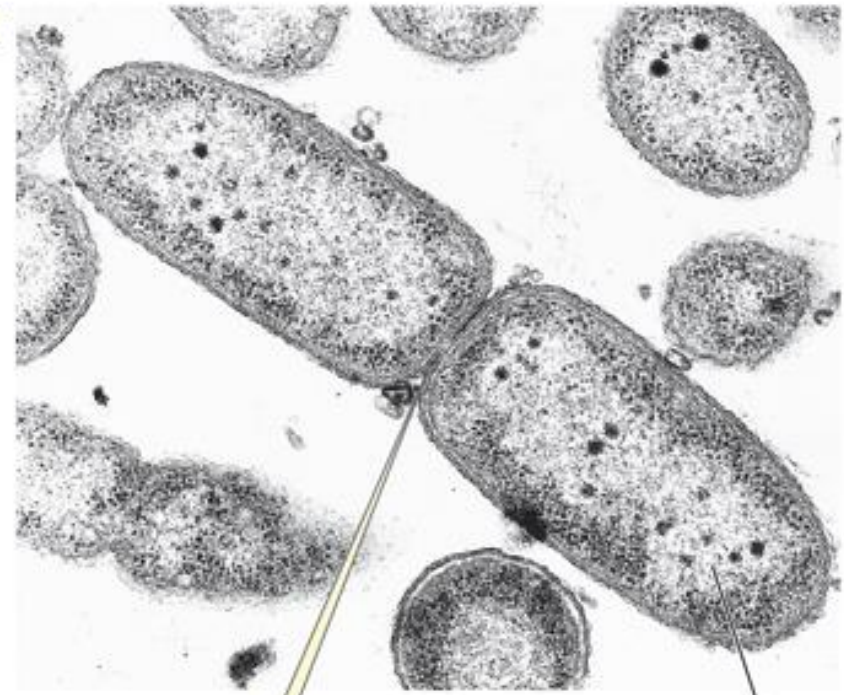


4 La citodieresi è completa; si sono formate le due nuove cellule.



I procarioti hanno un unico cromosoma circolare

B



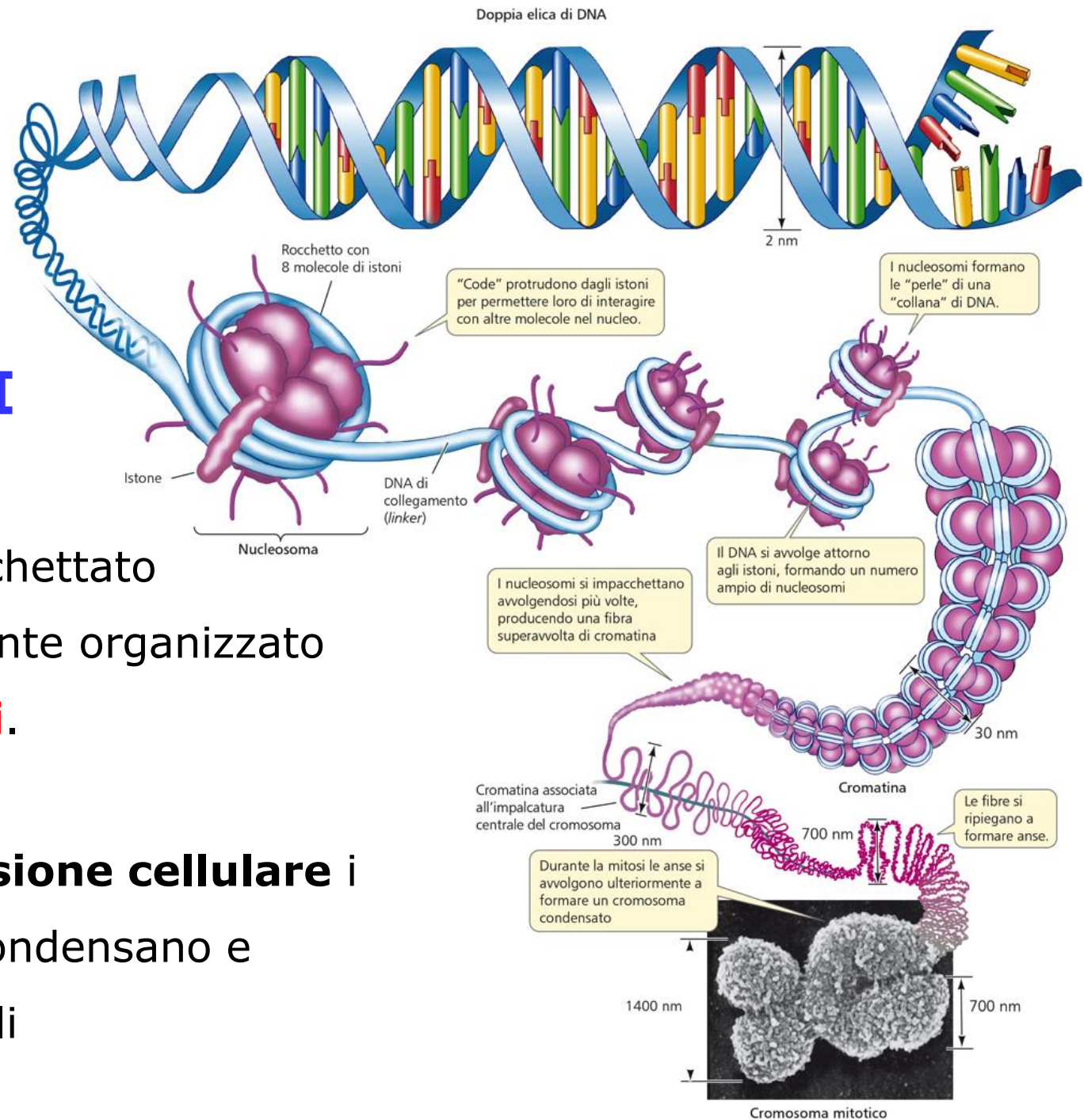
Le membrane plasmatiche sono completamente formate e separano il citoplasma di una cellula da quello dell'altra. Solo un piccolo tratto di parete cellulare deve essere ancora sintetizzato.

Cromosoma

EUCARIOTI

Il DNA è impacchettato in modo altamente organizzato nei **cromosomi**.

Durante la **divisione cellulare** i cromosomi si condensano e diventano visibili



EUCARIOTI: la DIVISIONE e il CICLO CELLULARE

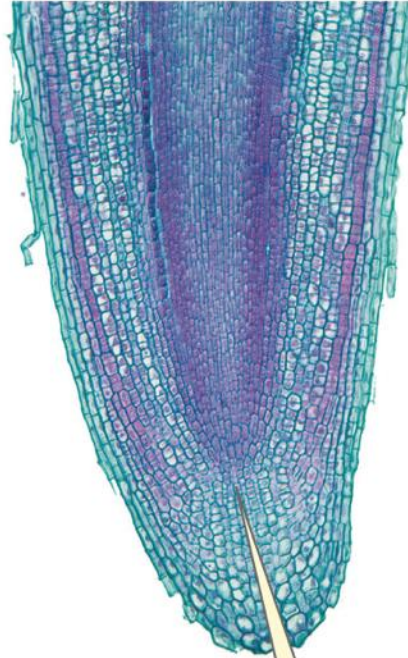
Mediante tale processo gli organismi pluricellulari crescono, riparano le parti danneggiate e si riproducono.

A Riproduzione



Queste cellule di lievito si riproducono per gemmazione.

B Accrescimento



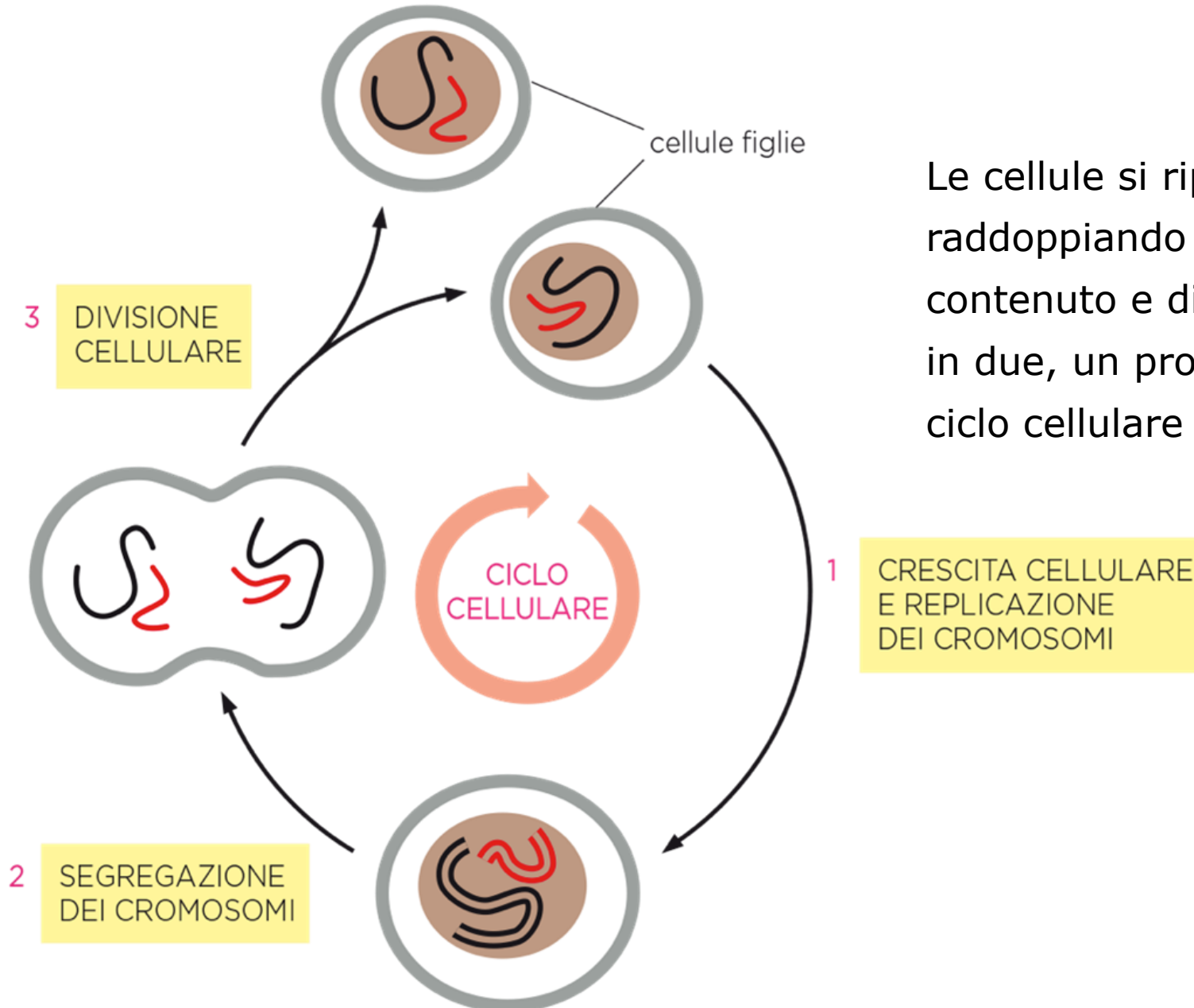
La divisione cellulare contribuisce alla crescita di questo tessuto radicale.

C Rigenerazione



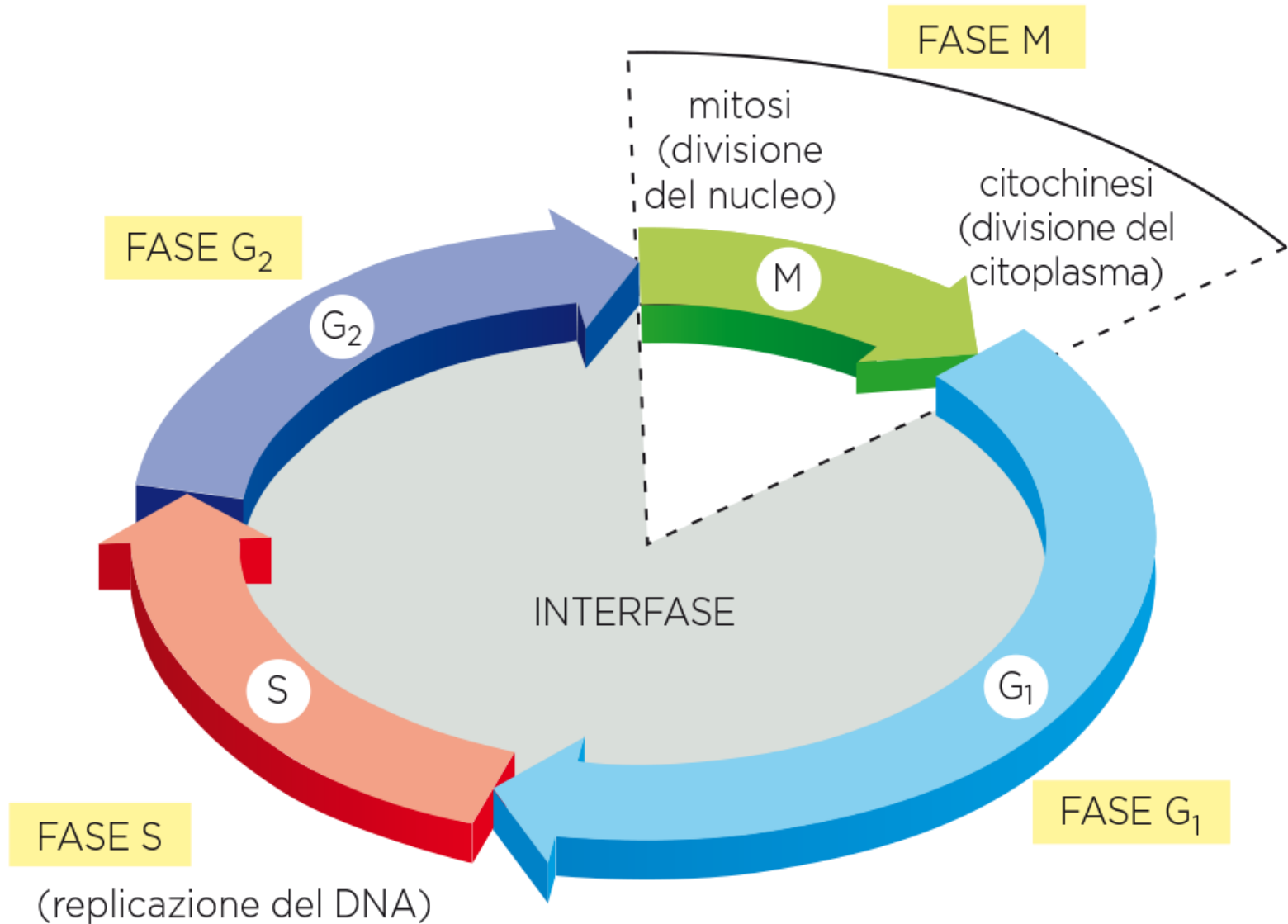
La divisione cellulare contribuisce alla rigenerazione della coda di questa lucertola.

EUCARIOTI: la DIVISIONE e il CICLO CELLULARE



Le cellule si riproducono raddoppiando il proprio contenuto e dividendosi poi in due, un processo detto ciclo cellulare

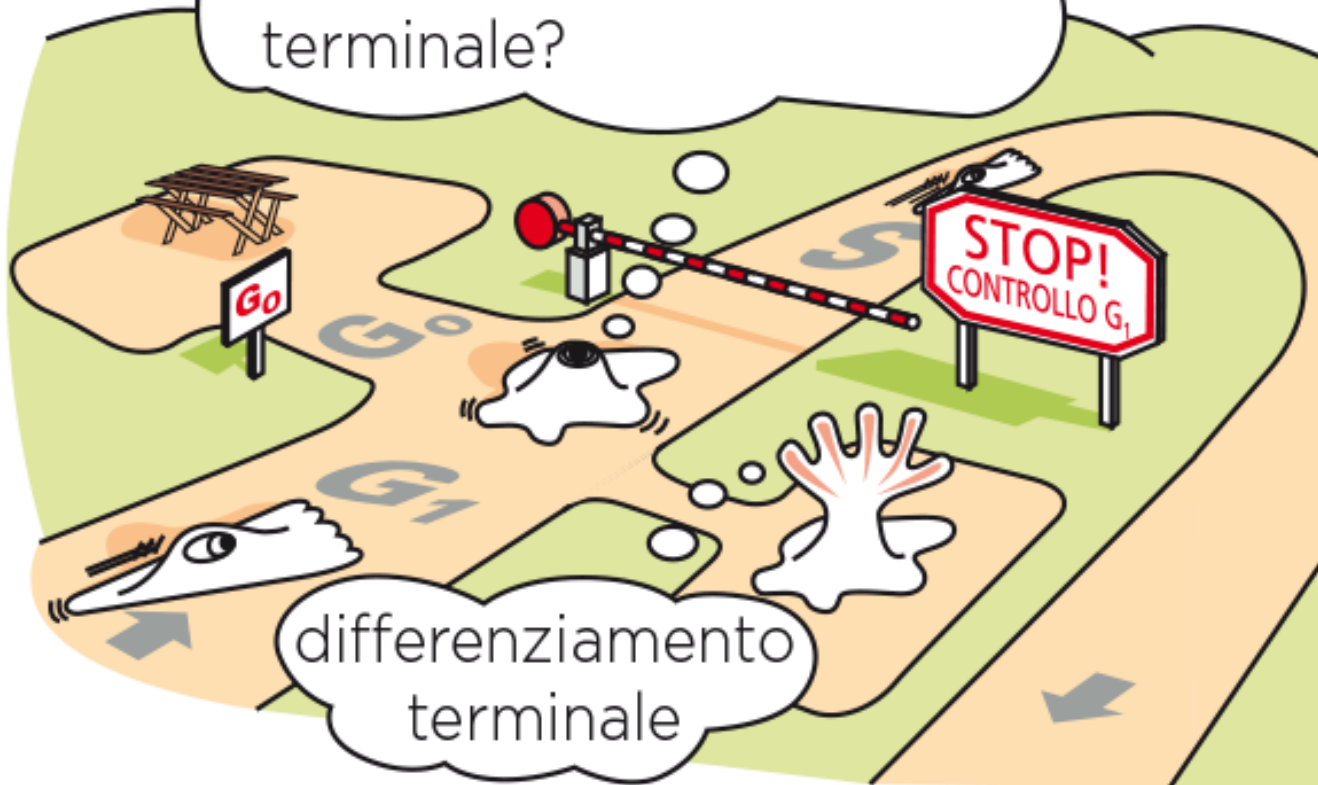
LE FASI DEL CICLO CELLULARE



La durata relativa di ciascuno stadio varia a seconda della specie, del tipo di cellula e delle condizioni di crescita (di solito tra le 8 e le 20 ore)

Procedere per la fase S?
Fare una sosta?
Ritirarsi in G_0 ?
Ritirarsi definitivamente
fino al differenziamento
terminale?

Il processo si avvale
di **punti di controllo**

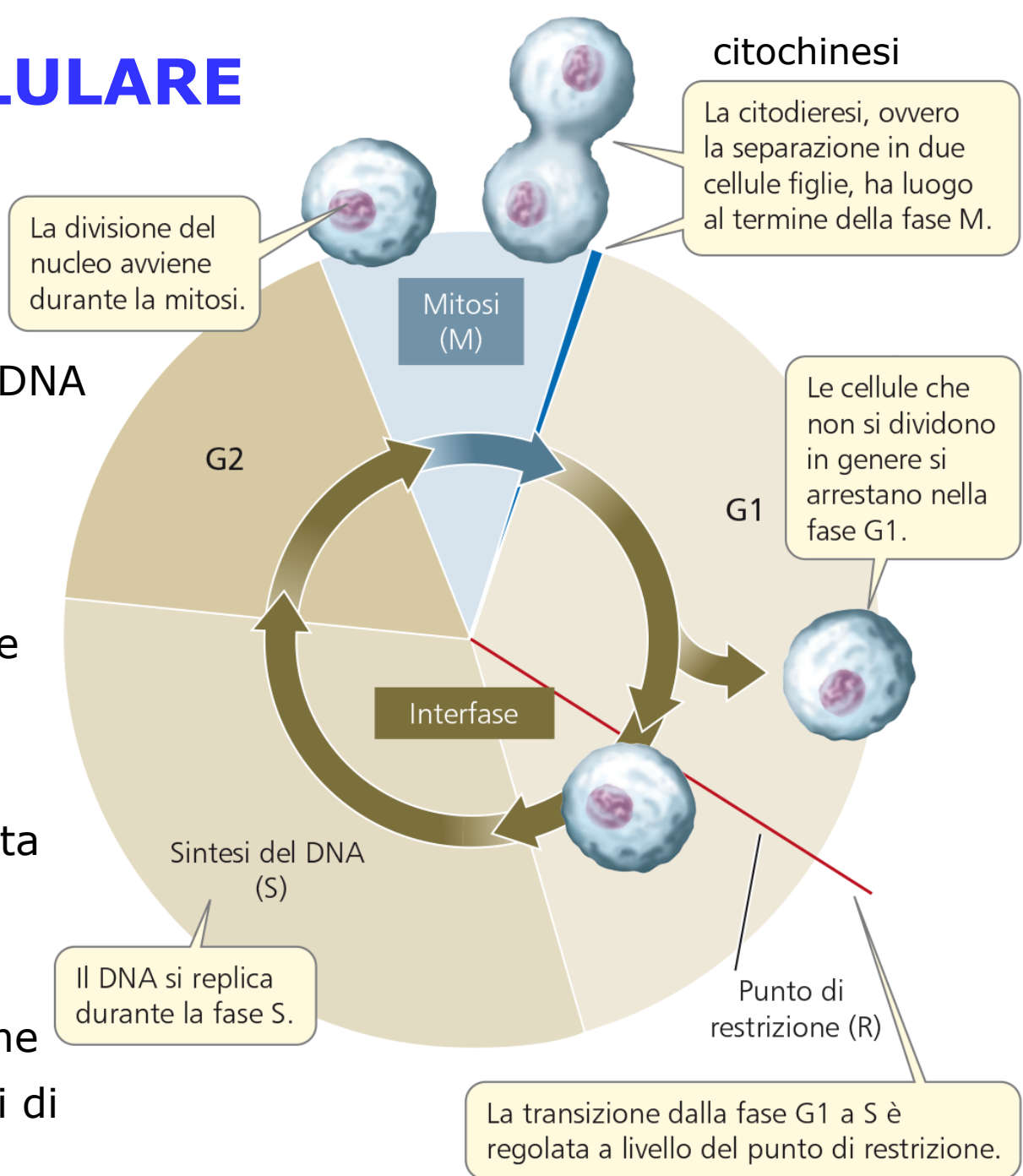


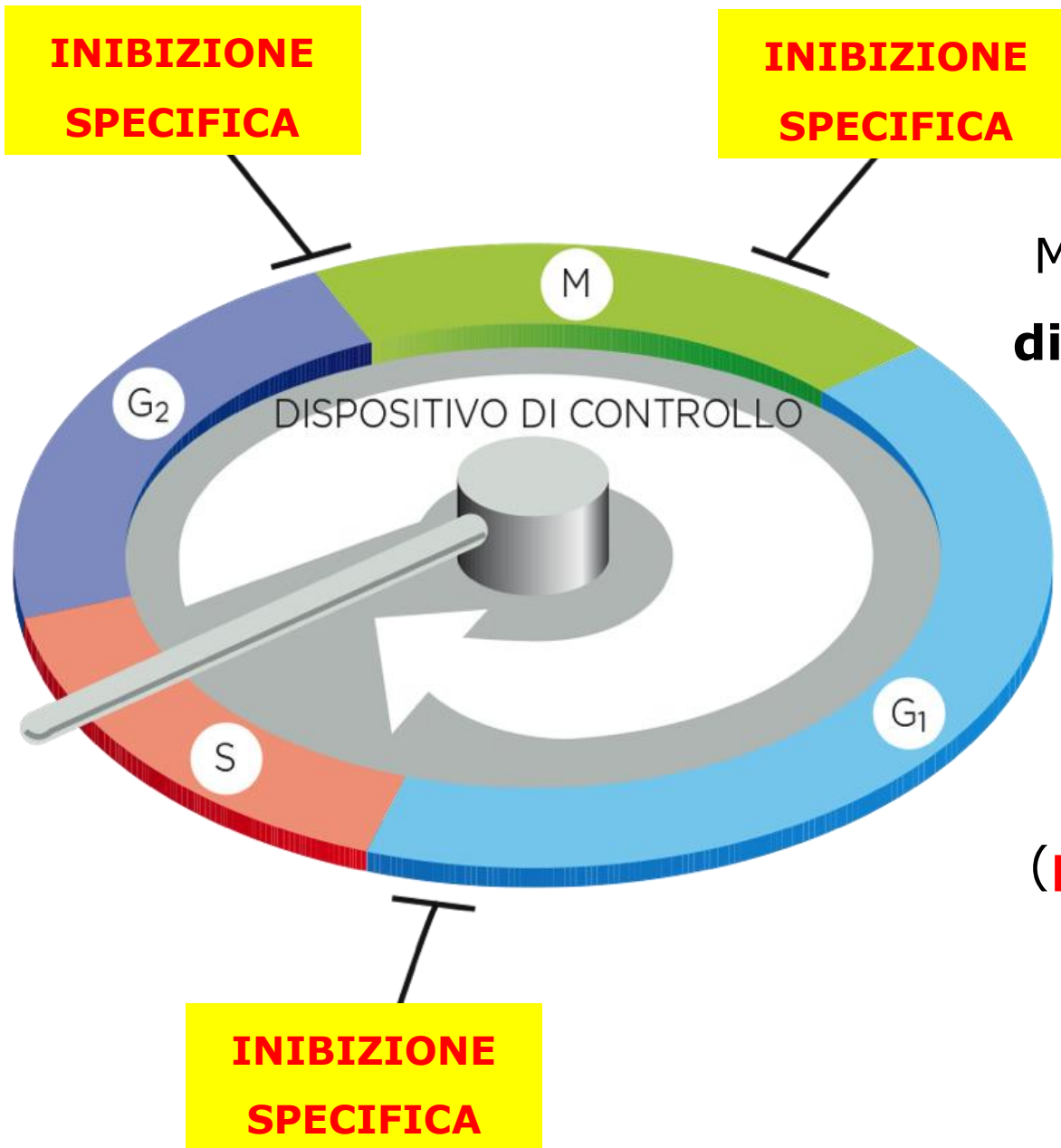
II CICLO CELLULARE

G sta per *gap* (intervallo) durante la quale non c'è sintesi di DNA

S sta per *sintesi*, durante la quale avviene la duplicazione del DNA

Se la Mitosi non è seguita dalla citochinesi, si originano due **cellule polinucleate**, condizione fisiologica per alcuni tipi di cellule





Mediante **meccanismi di inibizione**, i punti di controllo bloccano il passaggio alla fase successiva, se la precedente non è conclusa (**punti di restrizione**)

COMPLESSO CLICLINA - Cdk

Il ciclo cellulare è un processo altamente regolato, che si avvale di proteine chiamate:

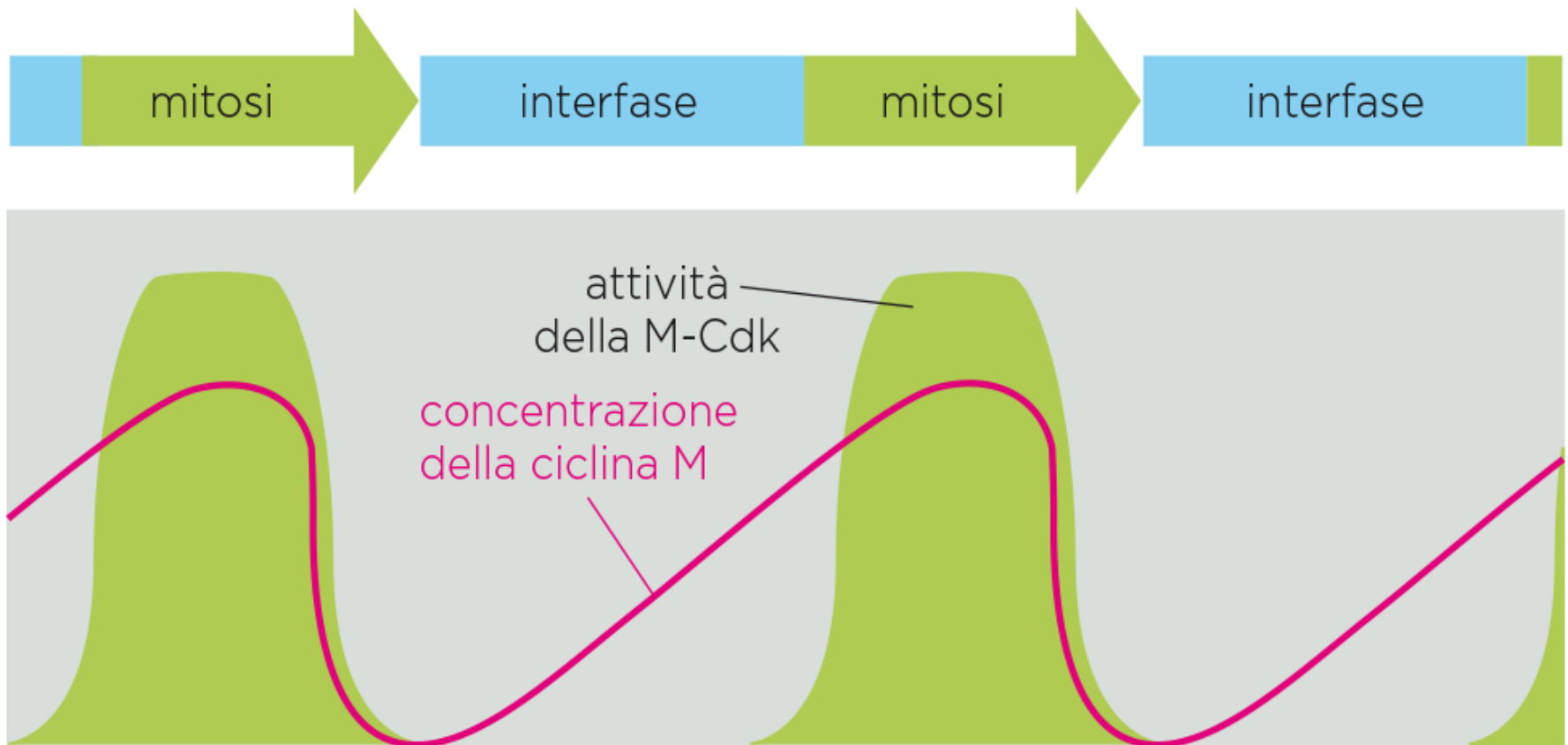
- **ciclina**
- **chinasi dipendenti da ciclina (Cdk)**

Chinasi: proteine in grado di trasferire gruppi fosfato da composti ad alta energia (ad es. ATP) a specifici substrati



REGOLAZIONE del CICLO CELLULARE

La formazione del **complesso ciclina-Cdk attivo** regola le fasi del ciclo cellulare. Alcune proteine possono inibire la formazione di questo complesso.



INTERFASE

Durante l'INTERFASE (fasi G_1 , S, G_2) la cellula aumenta di dimensioni.

- **Fase G_1**

- ✓ Accrescimento

- **Fase S**

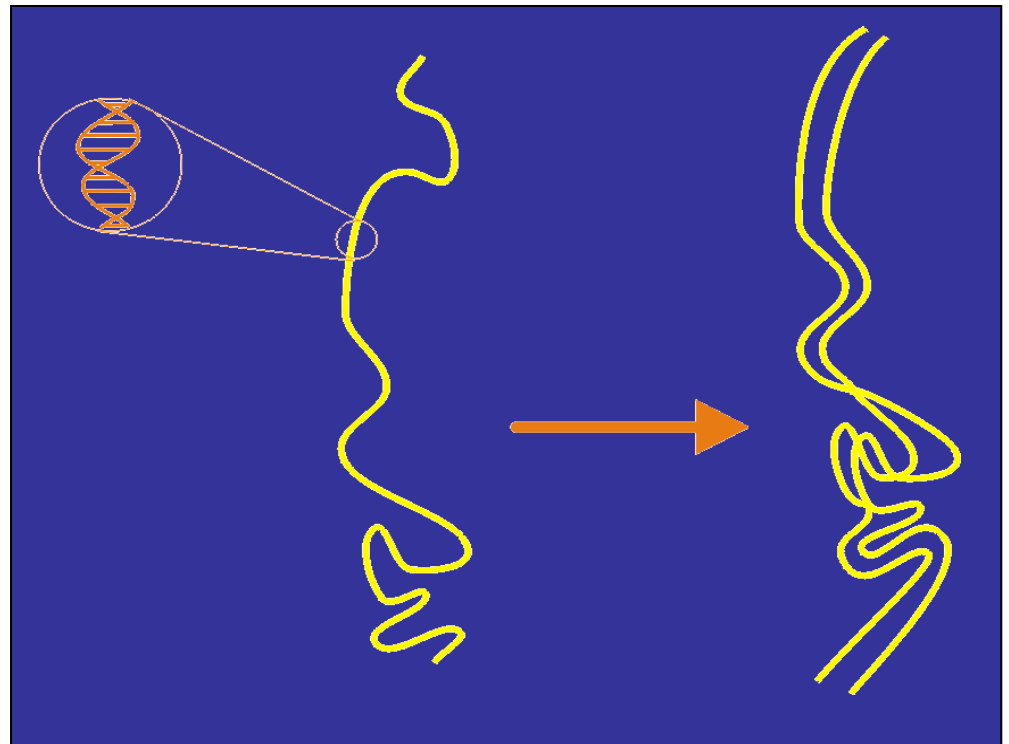
- ✓ Accrescimento

- ✓ Replicazione DNA

- **Fase G_2**

- ✓ Accrescimento

- ✓ Ultimi preparativi prima della divisione

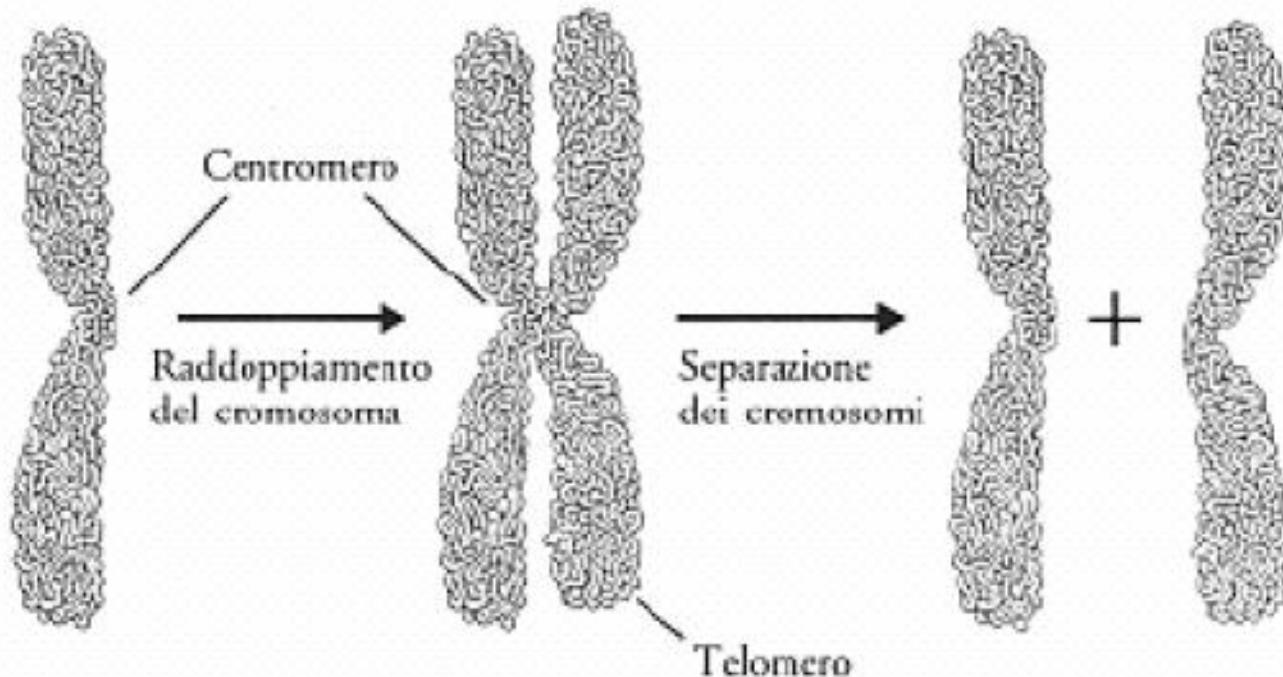


CROMOSOMA E CROMATIDI

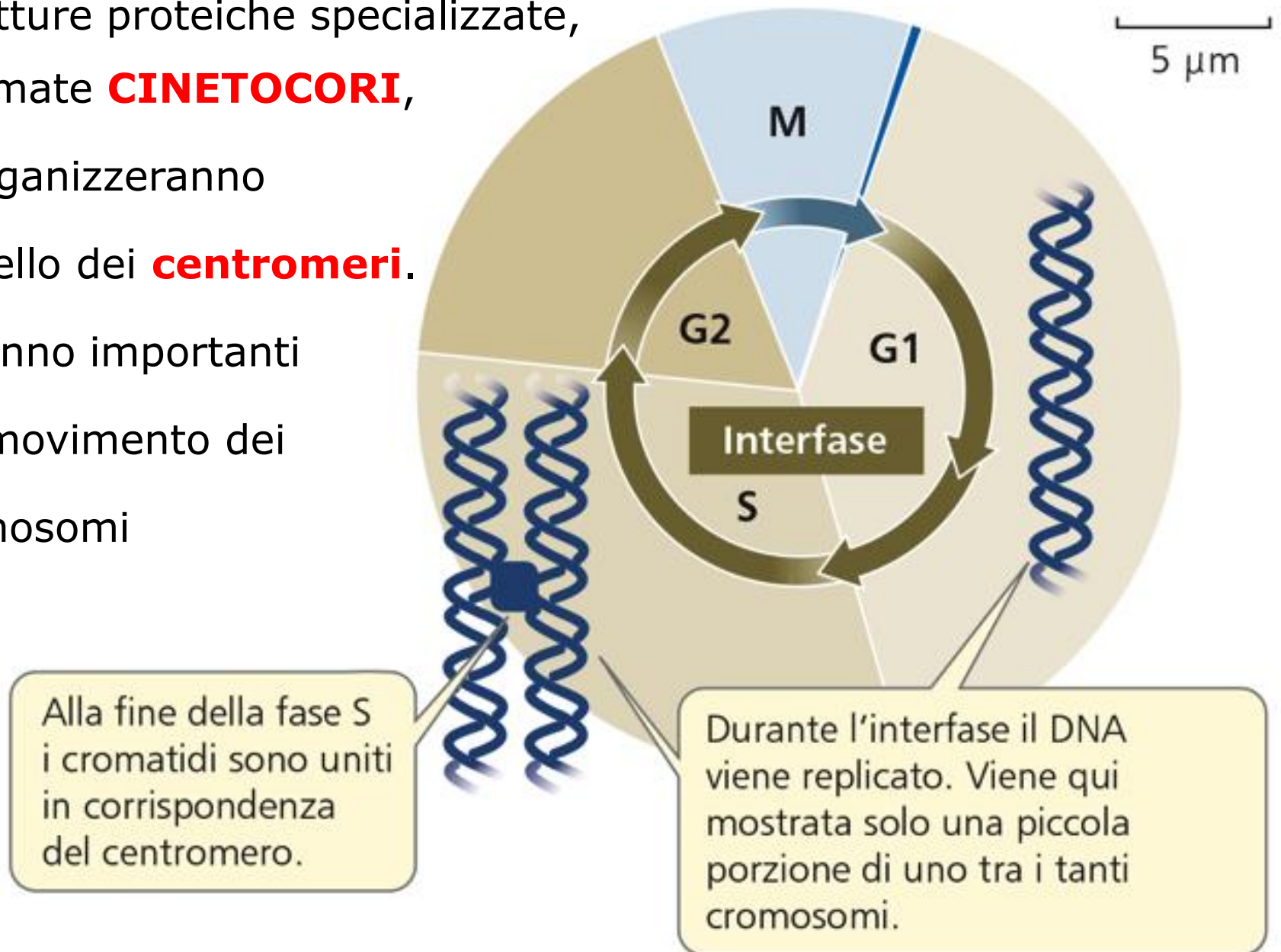
Un cromosoma:

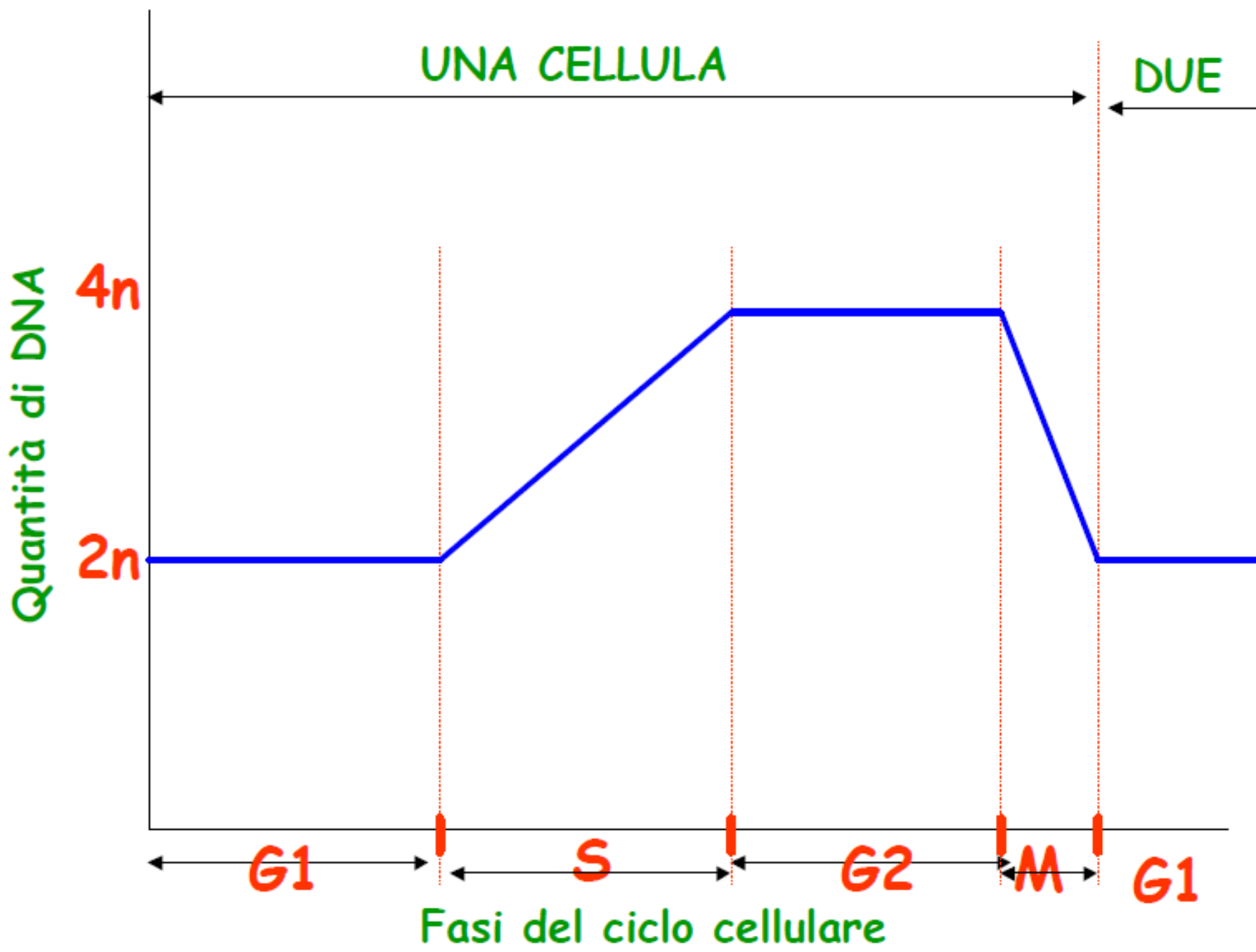
- prima della replicazione è costituito da **1 cromatidio**
- dopo la replicazione è costituito da **2 cromatidi fratelli** che uniti nella regione del **CENTROMERO**

Nella MITOSI, quando due cromatidi fratelli si separano, si avranno due nuovi cromosomi uguali (ciascuno costituito da 1 cromatidio)



Strutture proteiche specializzate, chiamate **CINETOCORI**, si organizzeranno a livello dei **centromeri**. Saranno importanti nel movimento dei cromosomi





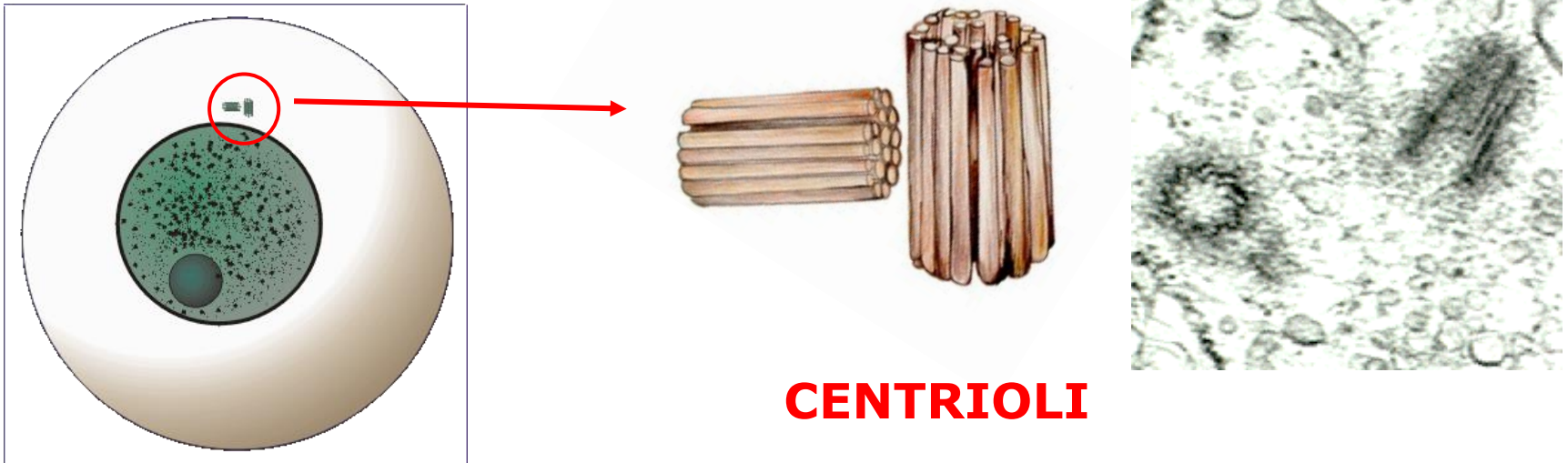
Divisione degli ORGANELLI

- ❖ Per quanto riguarda i **mitocondri**, essi debbono replicare il loro **DNA** nell'interfase per poi dividersi in due mediante la formazione di un solco.

- ❖ Il **Reticolo Endoplasmatico** e **l'Apparato di Golgi** si **frammentano** in seguito al rimaneggiamento dei microtubuli e restando attaccati ad essi sotto forma di piccole vescicole, si distribuiscono tra le due cellule.

INTERFASE

Nella fase S il DNA si duplica e si replica anche il **CENTROSOMA**, piccola struttura formata da **DUE CENTRIOLI**.



CENTRIOLI

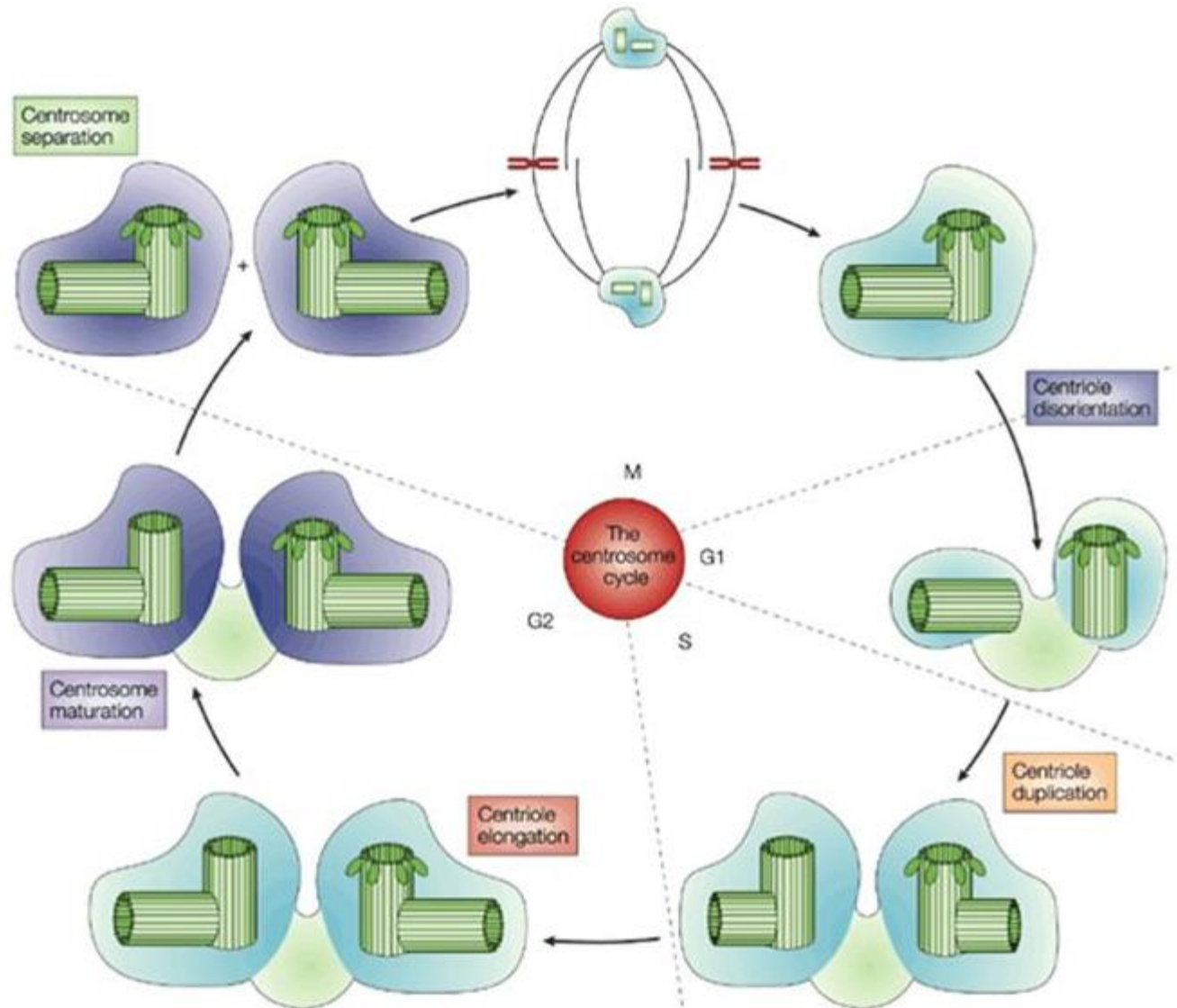
- I **centrioli** sono strutture formate da **microtubuli**
- Prima della mitosi si duplicano e costituiscono i **centri di organizzazione del fuso mitotico**

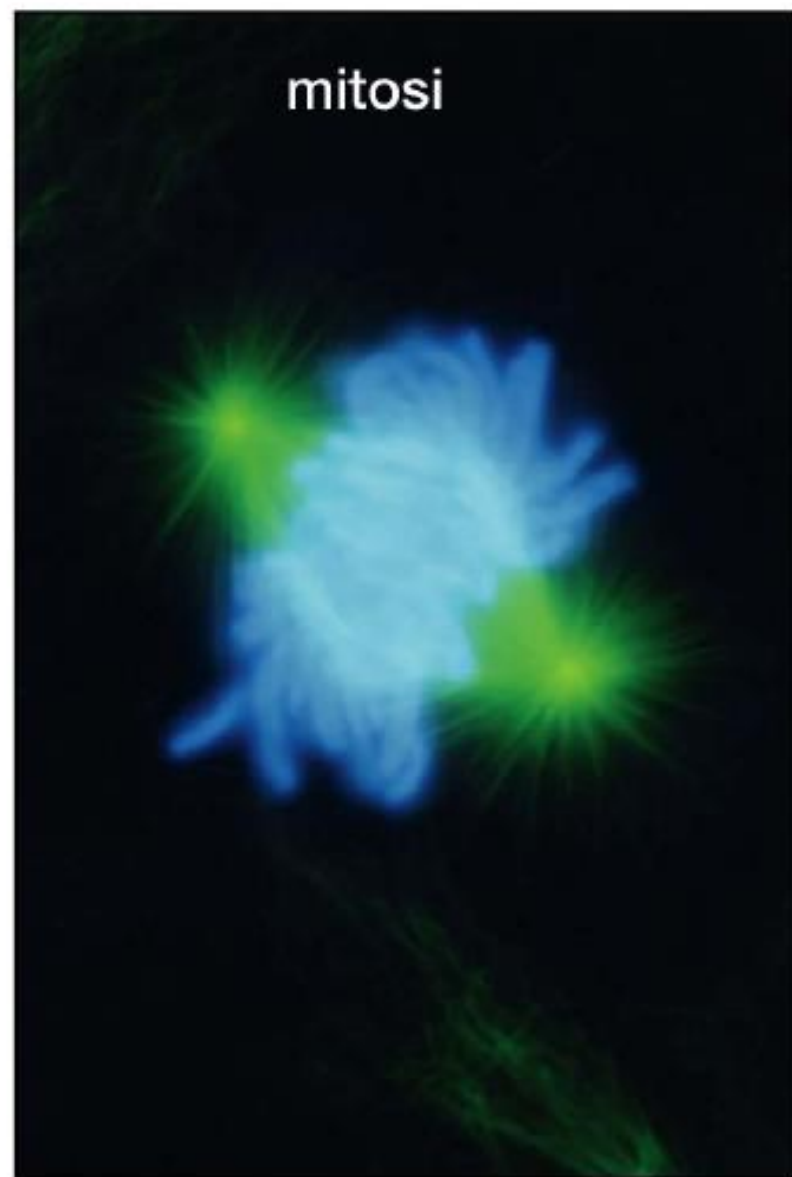
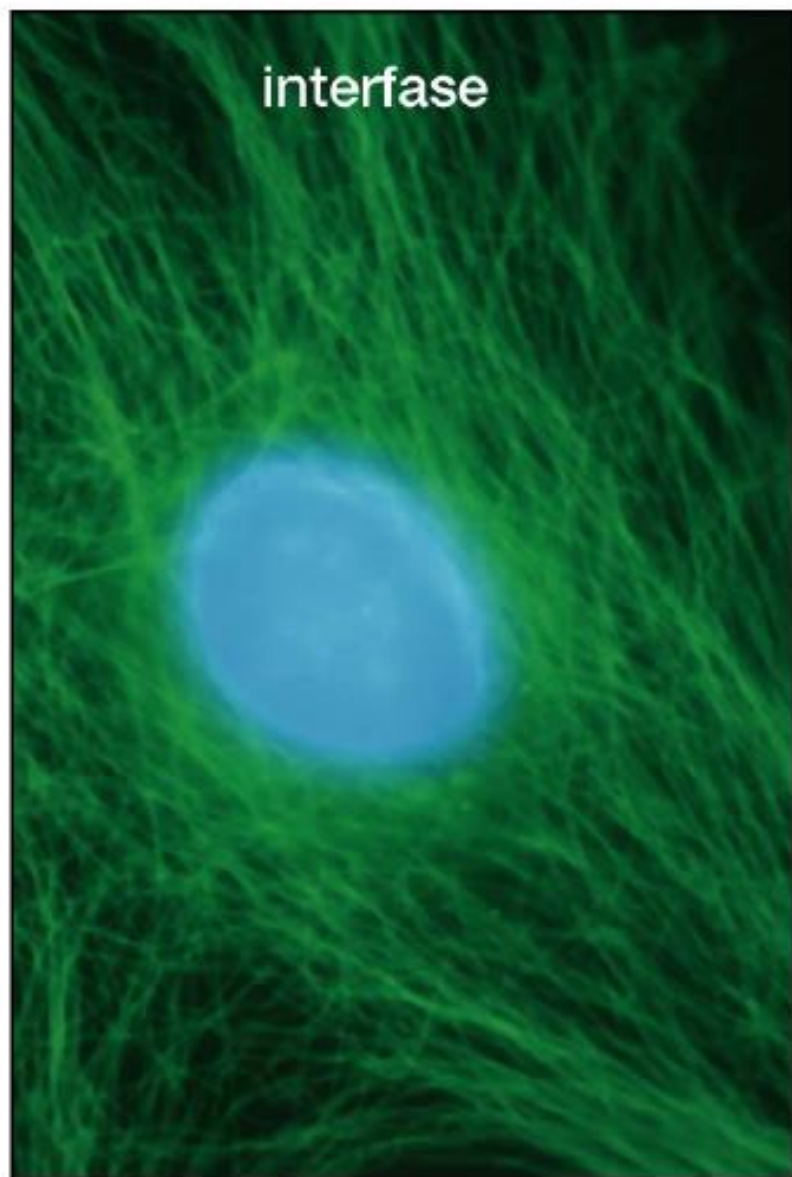
CICLO DEL CENTROSOMA

- Il centrosoma si **duplica** durante la **fase S**.

- Si **separa** all'inizio della **fase M** e organizza il fuso mitotico.

- Ciascuna cellula riceve **un solo centrosoma**.





10 μm

LA MITOSI

FASI della MITOSI

La **MITOSI** comprende **5 stadi**:

Fase
M

✓ **PROFASE**

✓ **PROMETAFASE**

✓ **METAFASE**

✓ **ANAFASE**

✓ **TELOFASE**

I 5 stadi si succedono
temporalmente l'uno all'altro.

La Citochinesi invece inizia
già nella tarda anafase.

✓ **CITOCHINESI** (divisione cellulare)

(detta anche citocinesi o citodieresi)



Profase



Prometafase



Metafase



Anafase



Telofase

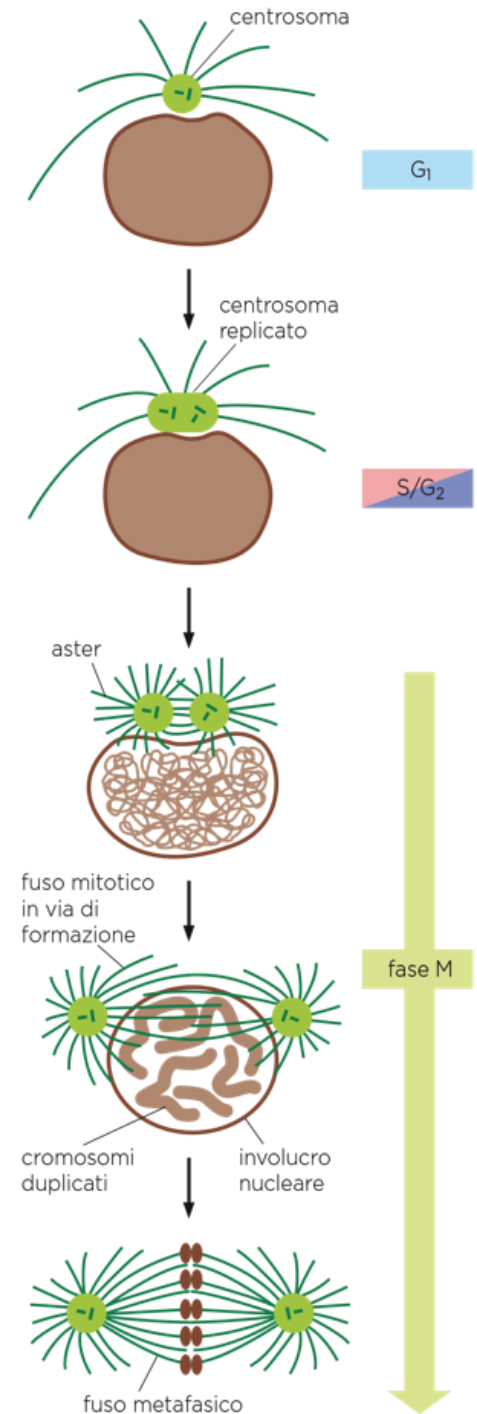
PROFASE

Tutte le **attività cellulari** (compresa la sintesi proteica) sono **ridotte al minimo**.

Avviene la disaggregazione del nucleolo.

Il centrosoma, comincia a dividersi formando **due aster** (stelle) che si allontanano sempre più verso i poli opposti della cellula a formare il **fuso primario astrale**.

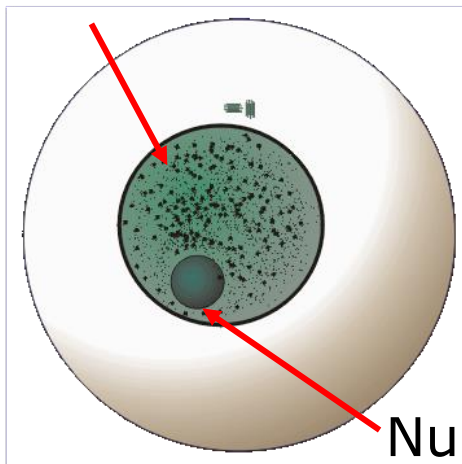
Il fuso può contenere da dieci a diverse migliaia di **microtubuli**.



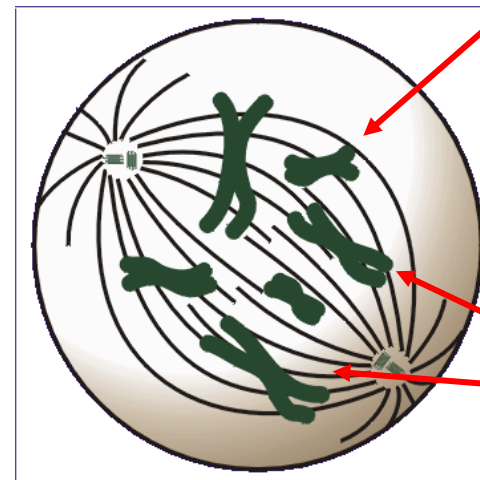
PROFASE

- Formazione del fuso
- Condensazione della cromatina in cromosomi
- Frammentazione della membrana del nucleo
- Scomparsa del nucleolo.

Cromatina



Interfase



Fibre del fuso

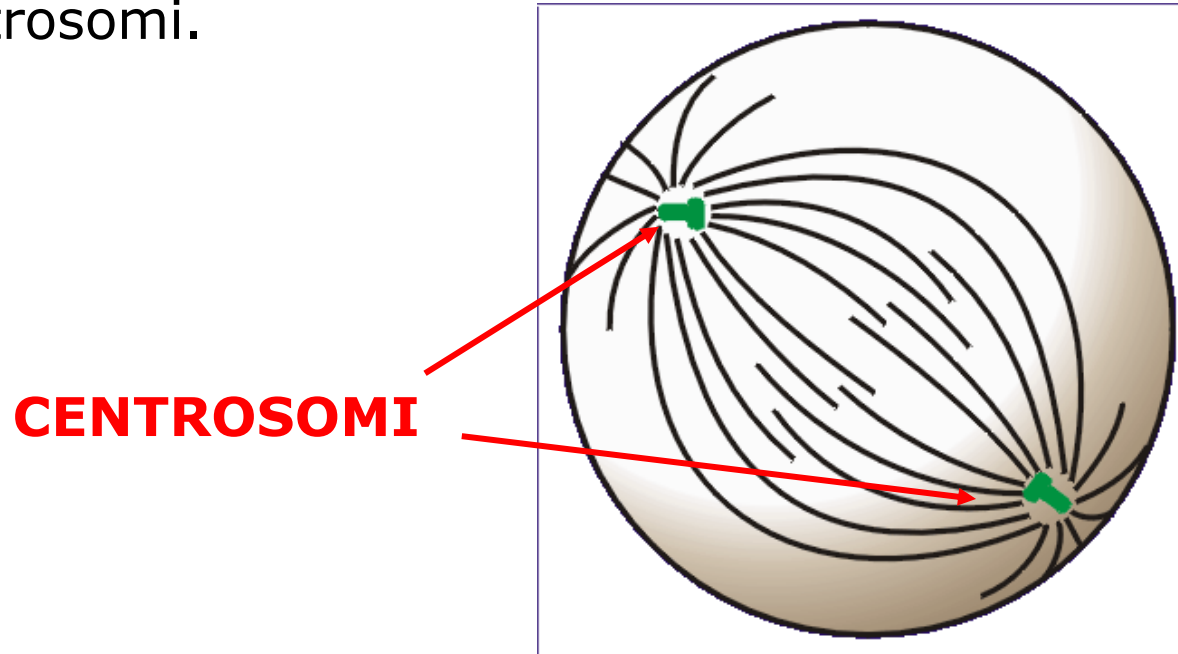
Cromosomi spiralizzati

Profase

PROFASE

Formazione del fuso mitotico

- Formato da fibre proteiche che si dipartono dai poli della cellula.
- Nelle cellule animali, il fuso si organizza attorno ai centrosomi.



PROFASE

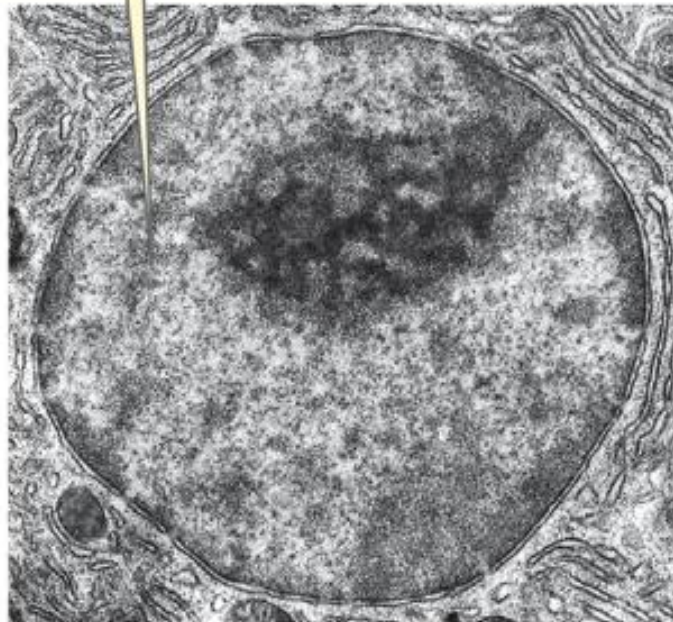
Nelle cellule in fase M il DNA e le proteine associate in ogni cromosoma formano strutture compatte.



0,5 μm

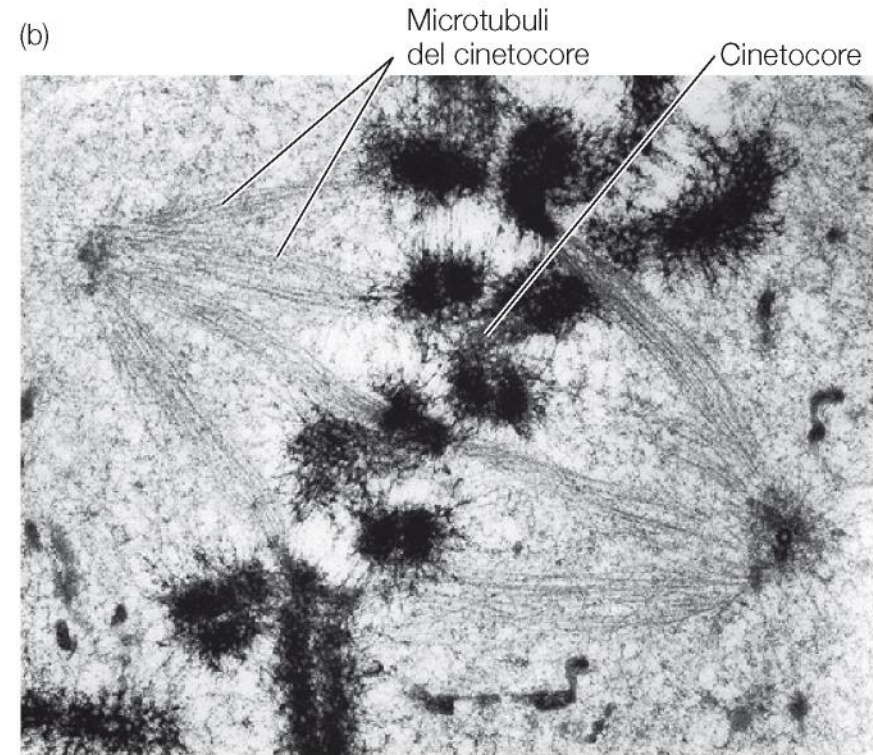
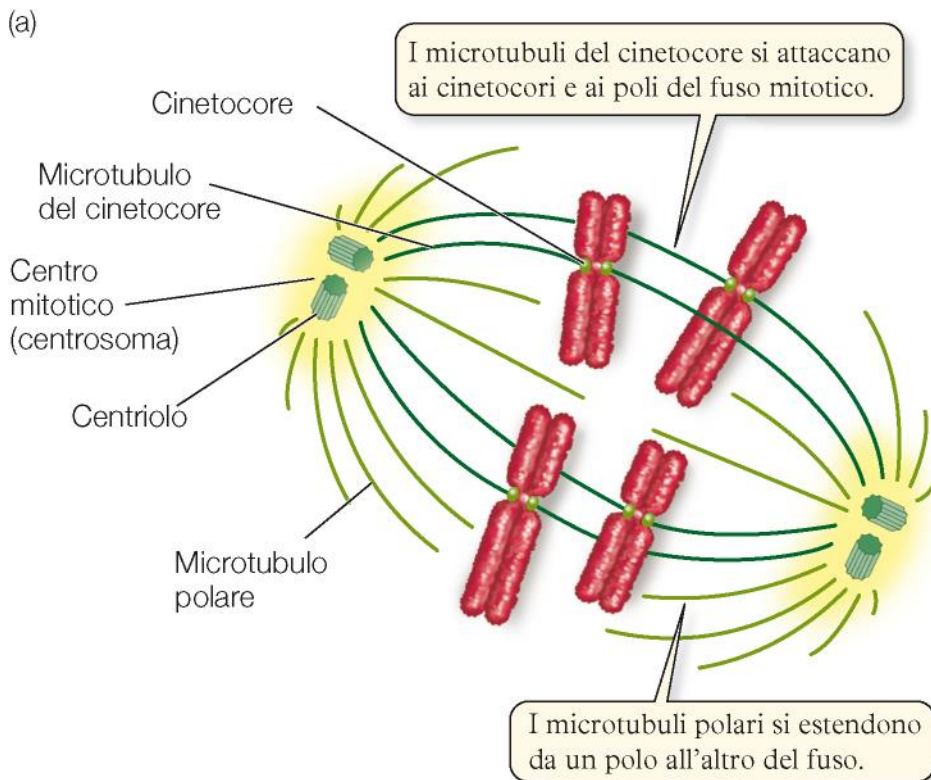
I cromosomi sono così fortemente condensati da poter essere osservati al microscopio ottico con i due cromatidi fratelli.

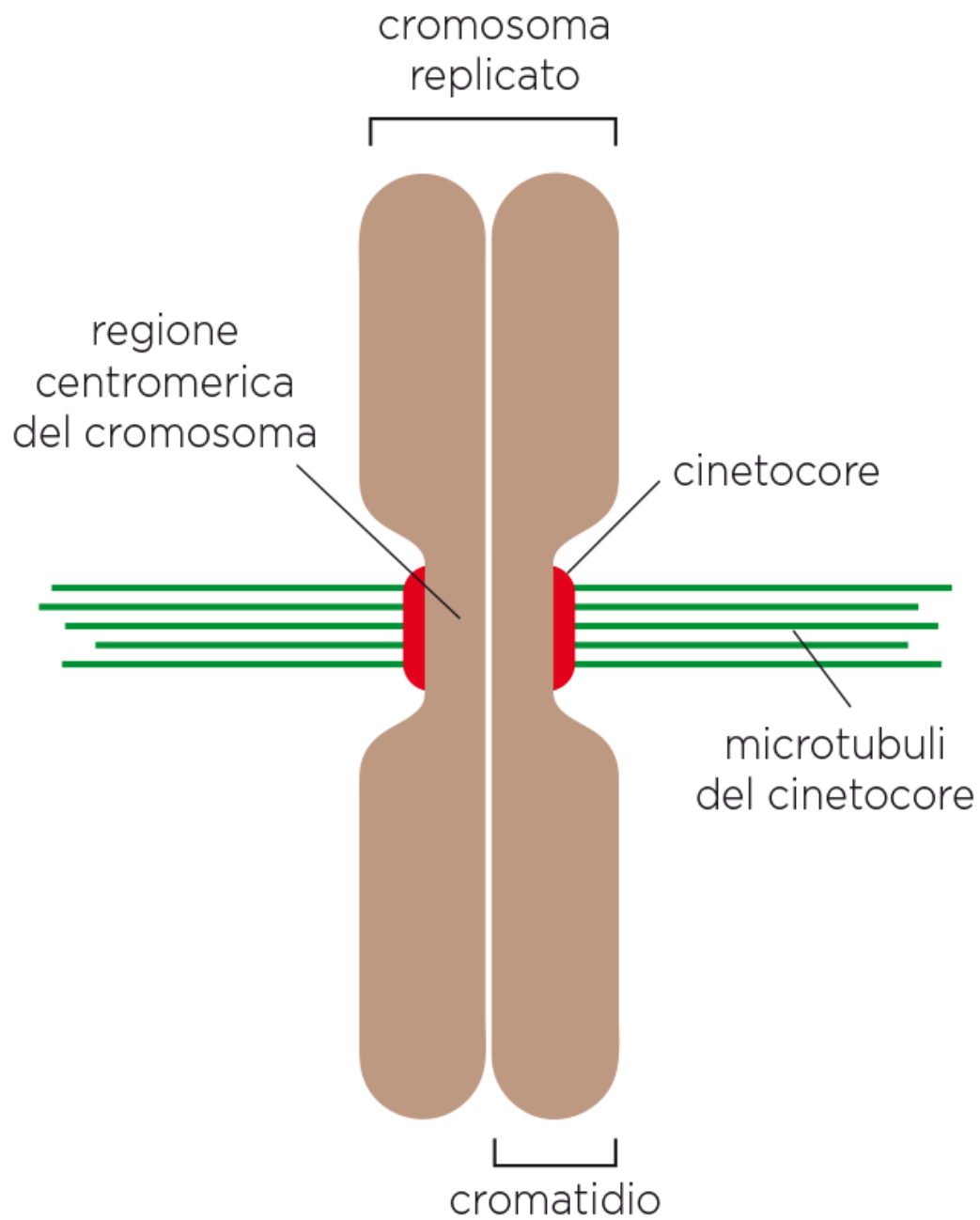
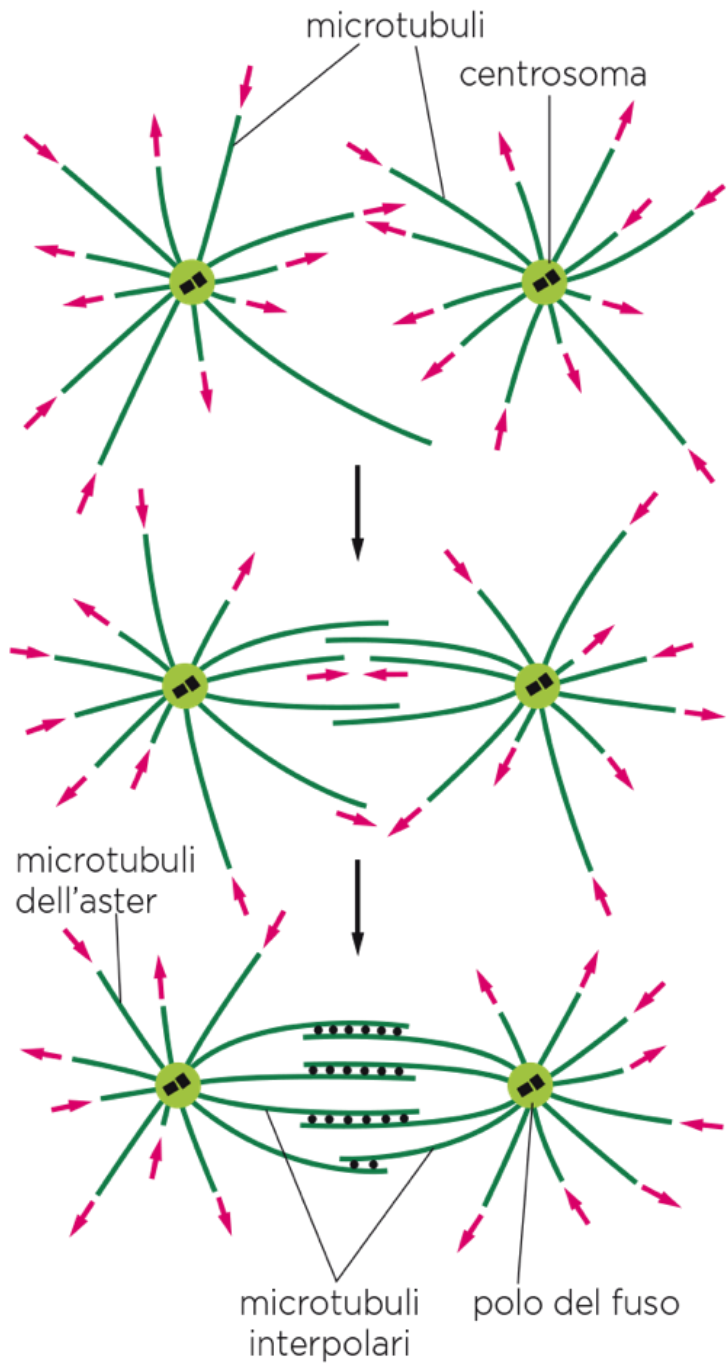
In un nucleo interfase, i cromosomi sono strutture filiformi disperse nel nucleo.



PROMETAFASE

Una volta che è stato eliminato l'ostacolo della membrana nucleare, i microtubuli possono agganciare i cromatidi fratelli di ciascun cromosoma al complesso proteico del cinetocore diventando **microtubuli del cinetocore**

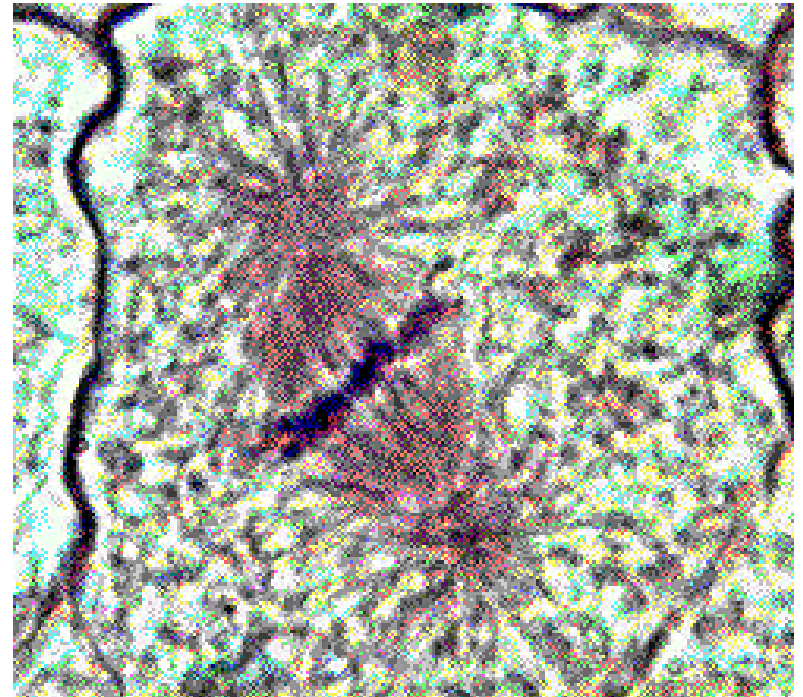
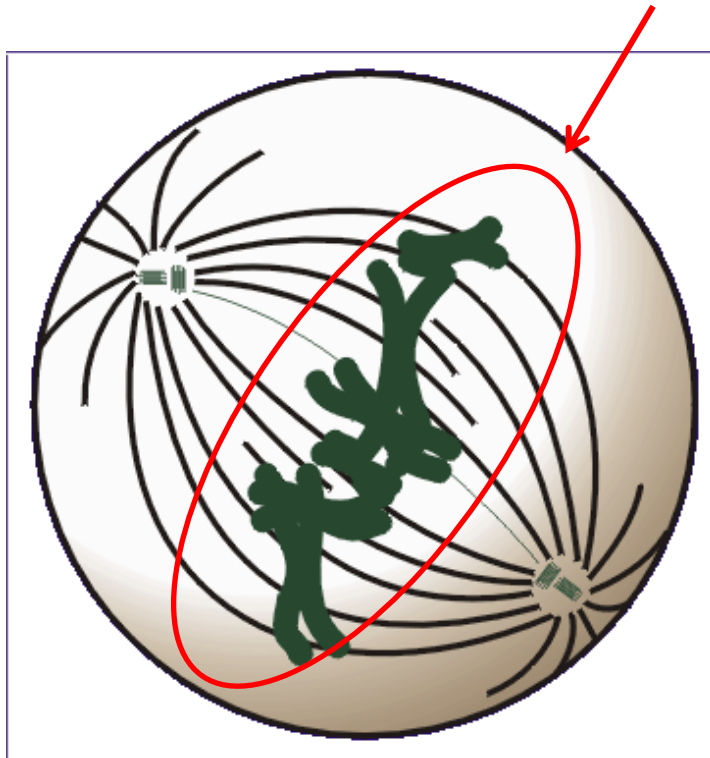




METAFASE

Le due coppie dei centrioli sono ai poli opposti della cellula.

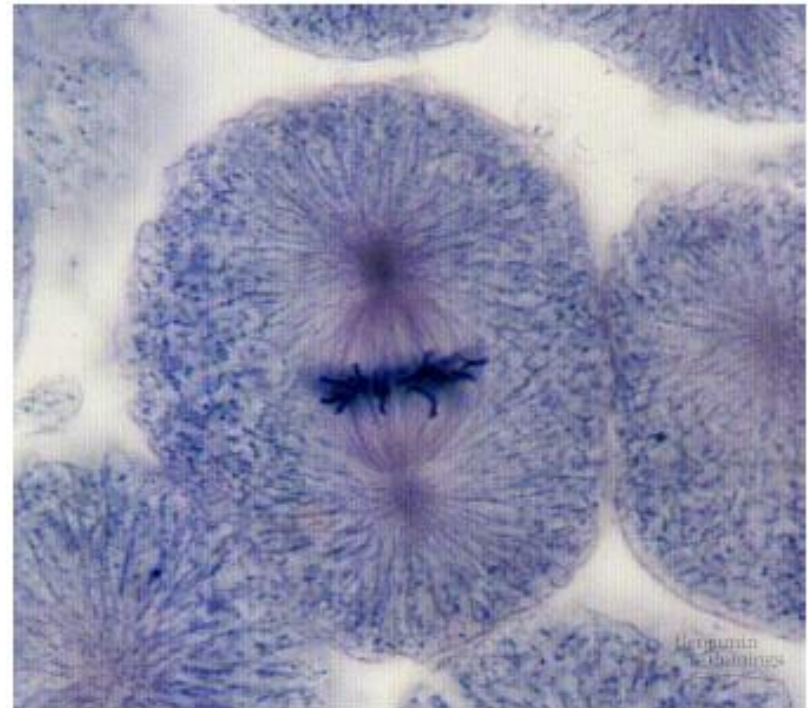
I cromosomi si raggruppano al centro della cellula e formano la **piastra equatoriale** o **piastra metafasica**.



METAFASE

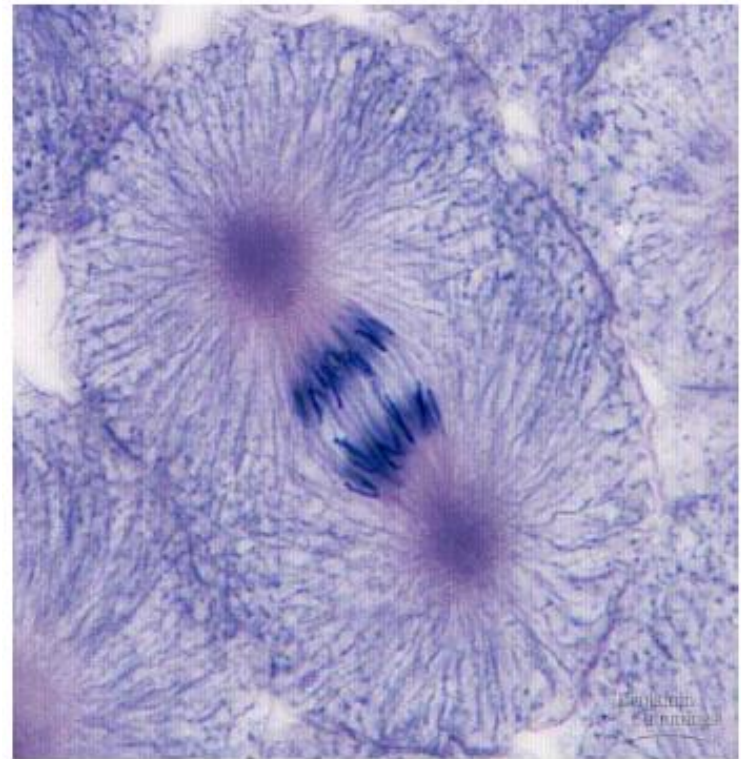
L'azione dei microtubuli permette il perfetto allineamento dei cromosomi a formare la **piastra metafasica**. L'ipotetica linea dell'equatore passa al centro dei cromosomi con un cromatidio in un emisfero e il cromatidio fratello nell'altro.

La metafase é un periodo mitotico piuttosto lungo probabilmente perché occorre del tempo per l'allineamento dei cromosomi sulla piastra metafasica.



ANAFASE

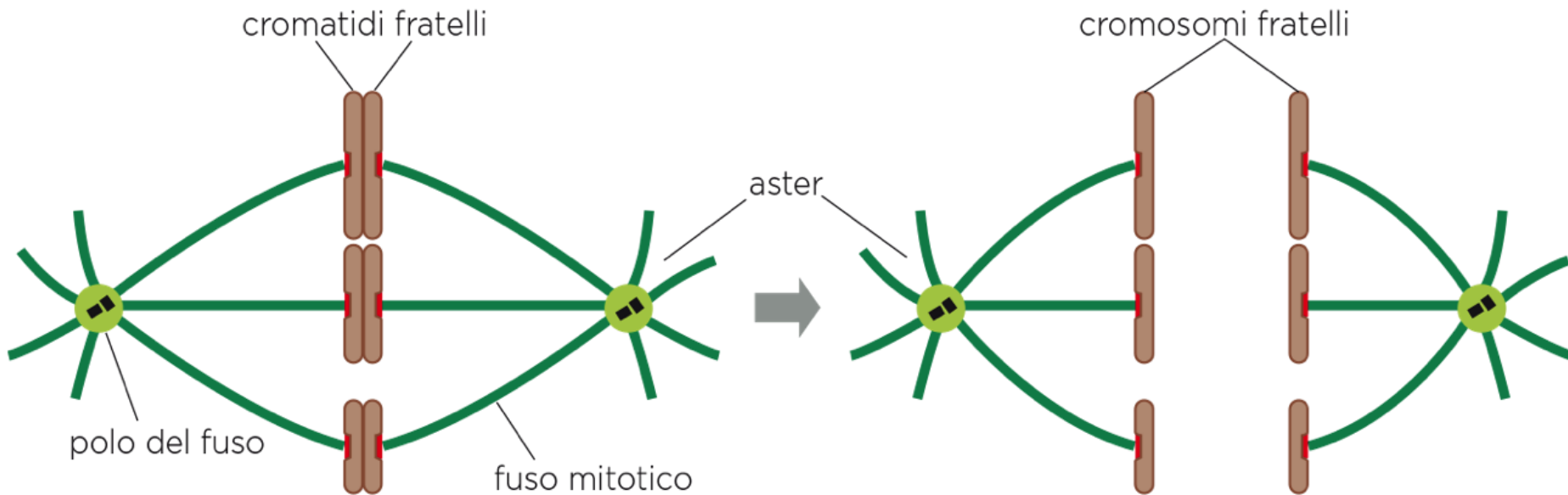
- I cromatidi fratelli si separano.
- Ciascun cromosoma è trainato dalle fibre del fuso e migra alle estremità della cellula.



ANAFASE

Nell'anafase i cromatidi fratelli con ognuno un cinetocore si separano verso i poli opposti del fuso.

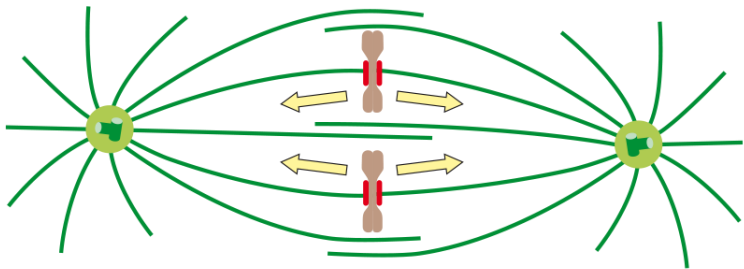
L'operazione che si completa alla tarda anafase.



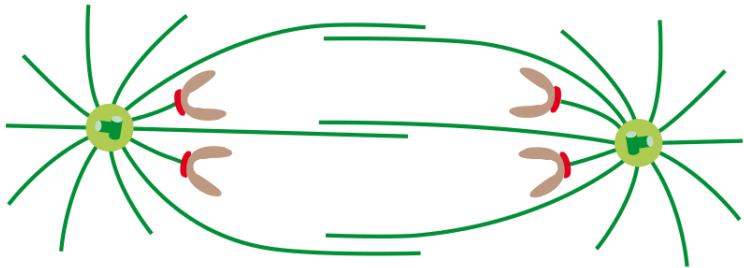
Il movimento dei cromatidi verso il polo è accompagnato:

- ✓ dall'accorciamento dei microtubuli del cinetocore (**Anafase A**)
- ✓ dall'allontanamento dei due poli del fuso (**Anafase B**).

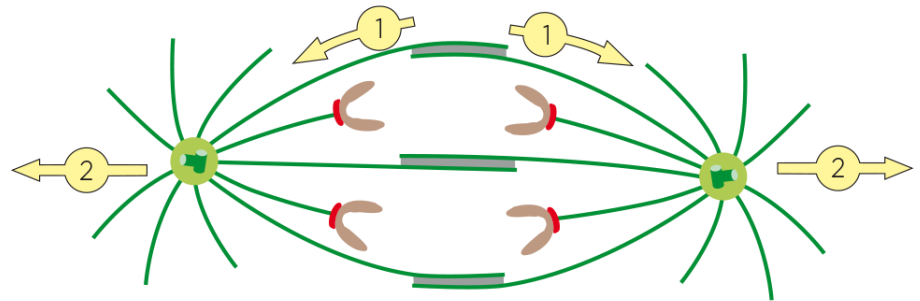
(A) **ANAFASE A** I CROMOSOMI VENGONO TIRATI VERSO I POLI



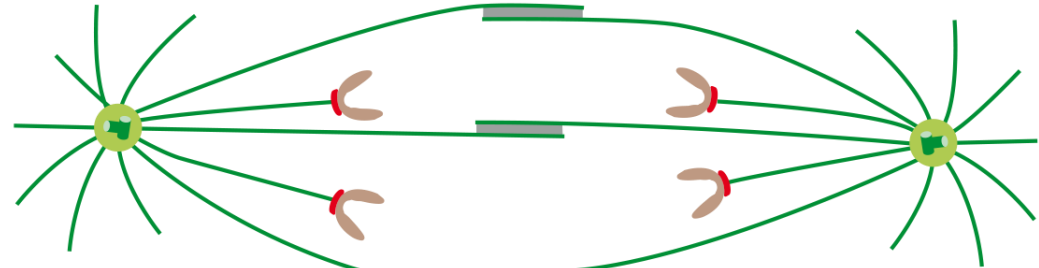
mediante l'accorciamento dei microtubuli del cinetocore si generano delle forze che spostano i cromosomi verso il polo al quale sono collegati



(B) **ANAFASE B** I POLI SONO ALLONTANATI DA FORZE CHE LI SPINGONO E FORZE CHE LI TIRANO

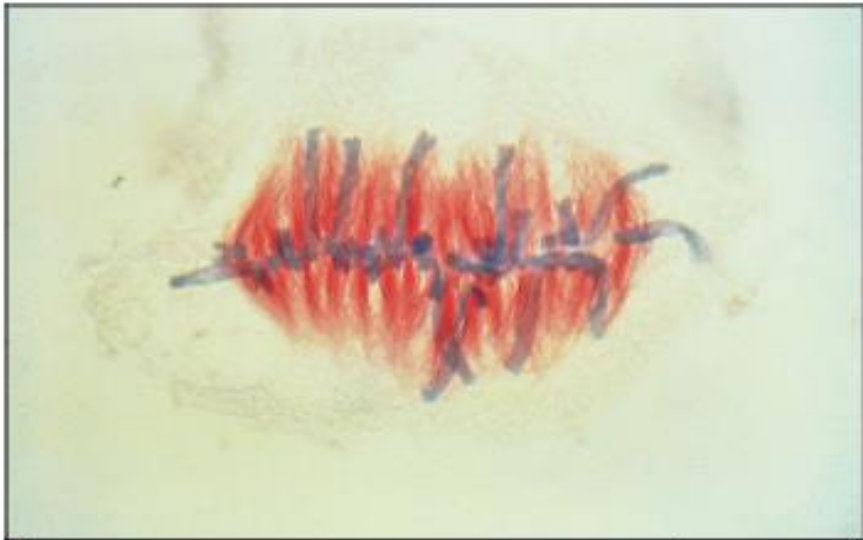


tra i microtubuli interpolarari provenienti dai poli opposti del fuso si sviluppa una forza di scorrimento che spinge i poli (1); sui poli agisce direttamente anche una forza trainante (2) che li allontana verso il cortex cellulare, portando quindi i due poli ad allontanarsi



allungamento dei microtubuli all'estremità più dei microtubuli interpolarari

ANAFASE



(A)

20 μm

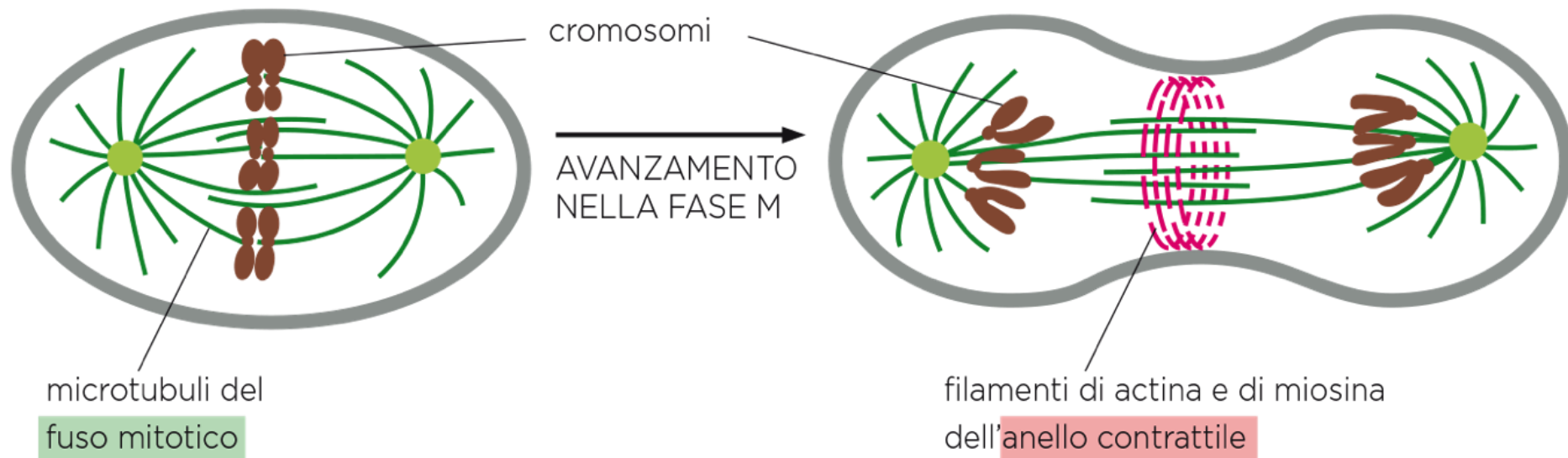


(B)

Struttura del citoscheletro durante la fase M

MICROTUBULI: coinvolti nella formazione del **fuso mitotico** per la segregazione dei cromosomi (movimenti di **trazione**)

MICROFILAMENTI: coinvolti nei movimenti di divisione cellulare con formazione dell'**anello contrattile** (movimenti di **contrazione**)

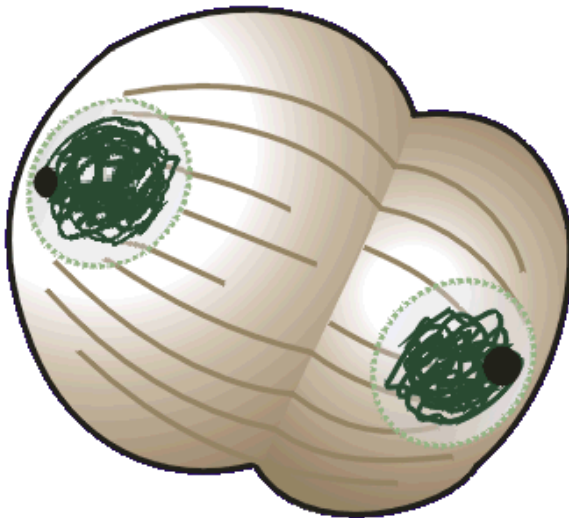


TELOFASE e CITOCHINESI

- I cromosomi si «decondensano» e tornano a formare la cromatina.
- La membrana del nucleo ed il nucleolo si riformano.

CITOCHINESI:

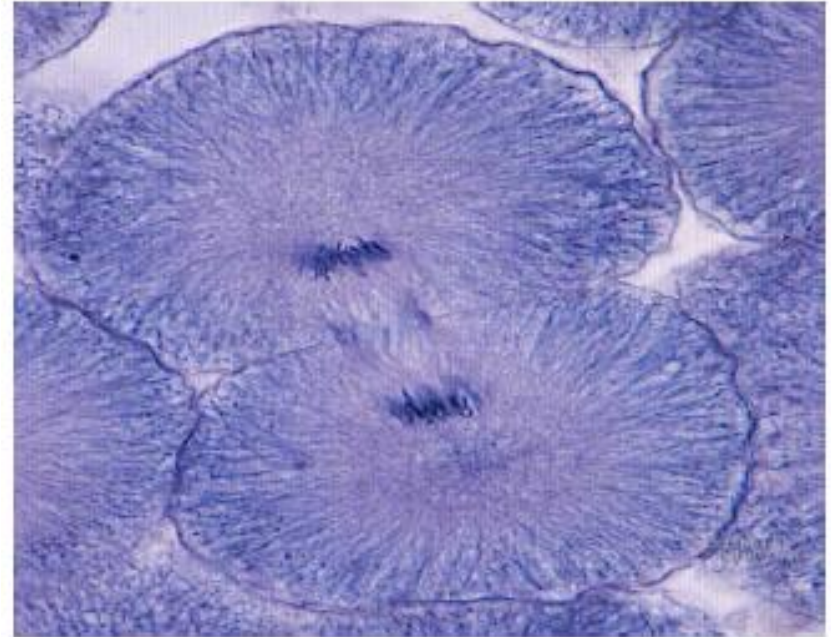
La membrana cellulare si contrae all'equatore della cellula per dividere la cellula in due (cellule animali).



TELOFASE e CITOCHINESI

I cromosomi sono raccolti ai poli.

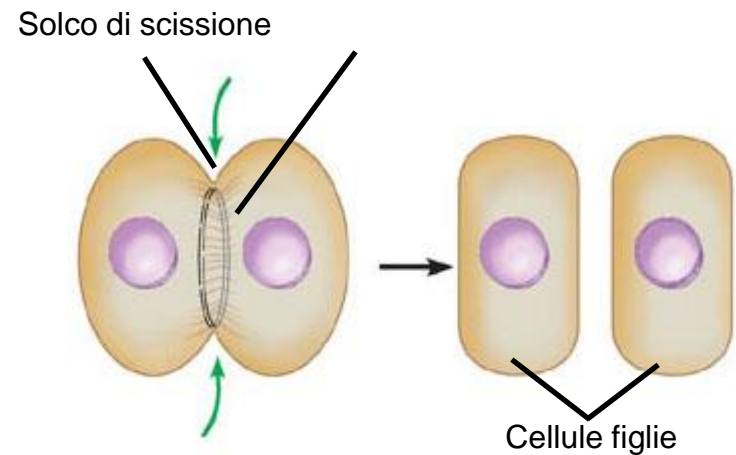
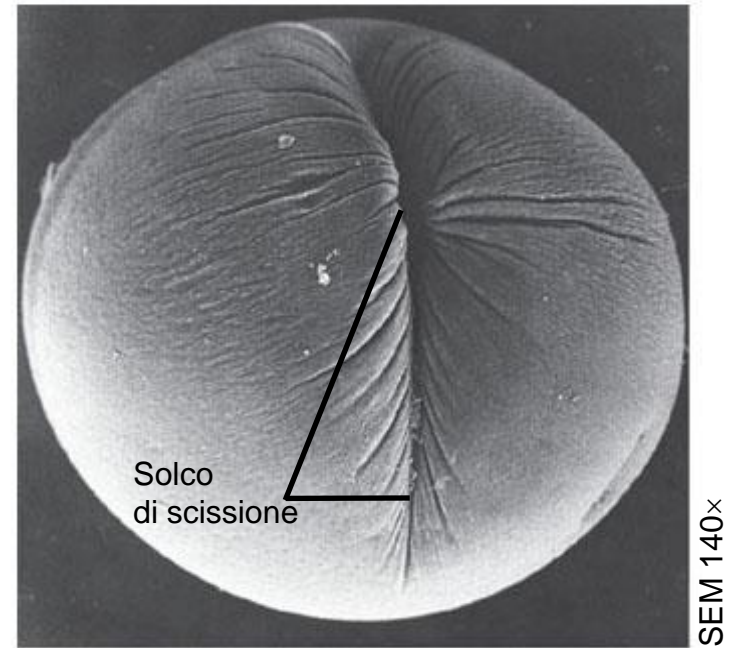
Si **riforma la membrana nucleare** intorno ai due gruppi di cromosomi, il **citoplasma si divide** e si formano così due cellule figlie con lo stesso numero di cromosomi della cellula madre.



Terminata l'anafase, i microtubuli del cinetocore scompaiono, cominciano a riapparire i nucleoli e a ricostituirsi i due nuclei figli. Successivamente il nucleo si espande ed i cromosomi si decondensano. Riprende la Trascrizione.

La CITOCHINESI

- La CITOCHINESI (detta anche citocinesi o citodieresi) nelle cellule animali
 - scissione.
 - comparsa di un **solco di scissione** a livello equatoriale.



CITOCHINESI

La citochinesi inizia nell'anafase e continua nella telofase fino all'interfase.

Nella parte mediana della cellula viene a formarsi, per mezzo di un **anello contrattile** costituito da **filamenti di actina** (e **miosina**), un **solco di scissione**.

L'anello contrattile scompare completamente alla fine della divisione cellulare; la sua scomparsa fa sì che il solco di scissione della membrana plasmatica si stringa attorno al corpo intermedio, che diventa sempre più sottile (come un cordone) fino a spezzarsi e a dar luogo a due cellule figlie.



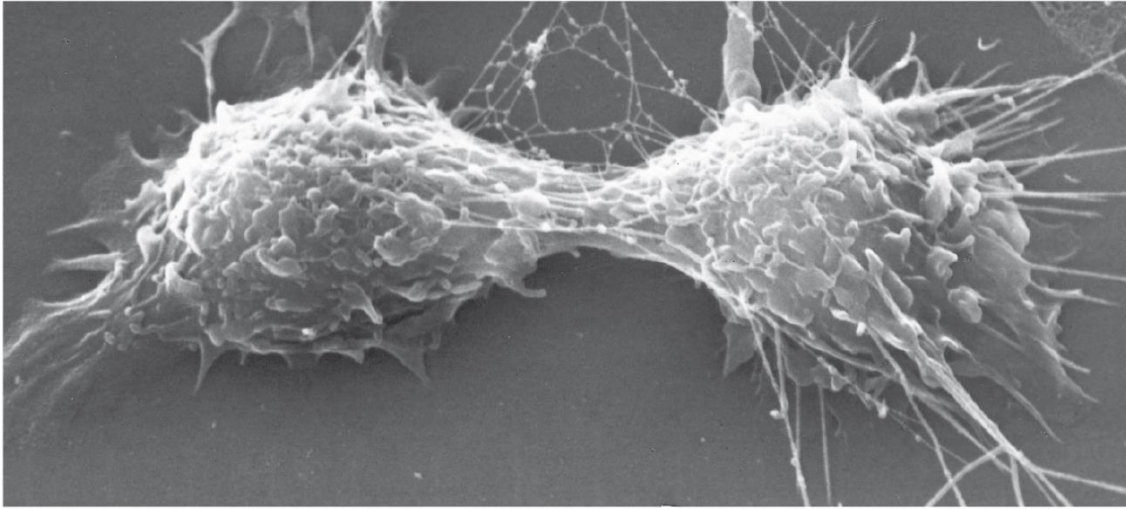
(A)

200 μm



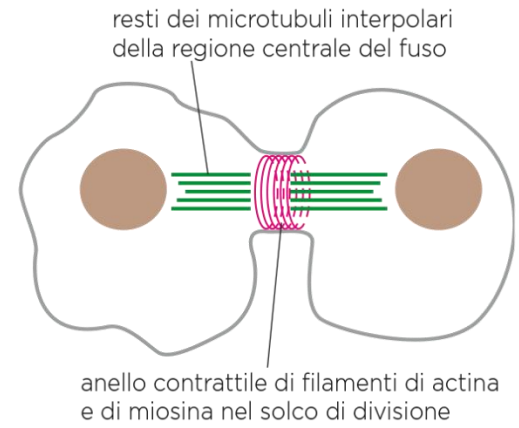
(B)

25 μm

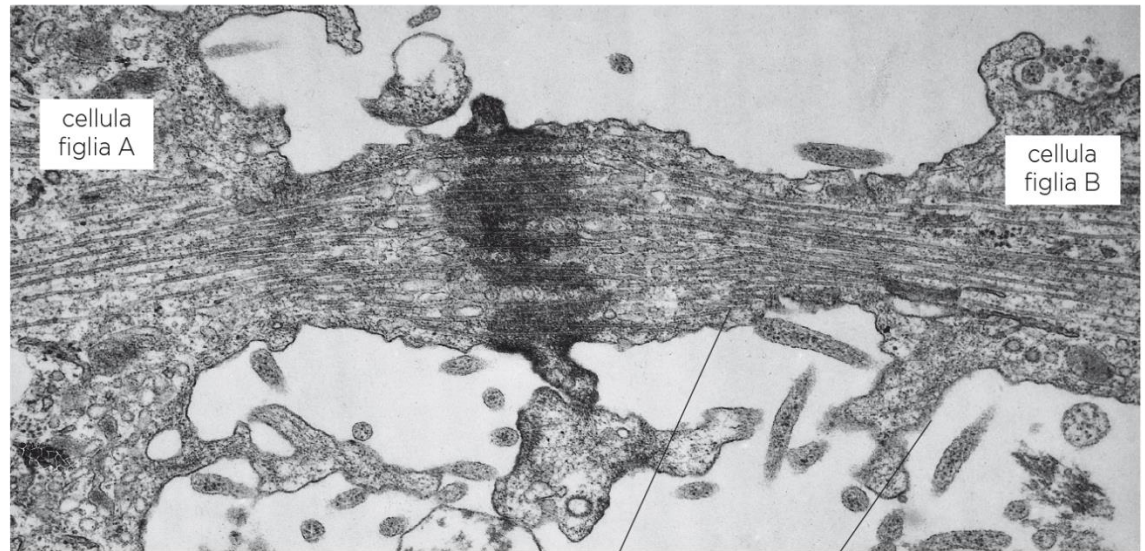


(A)

10 μm



(B)



(C)

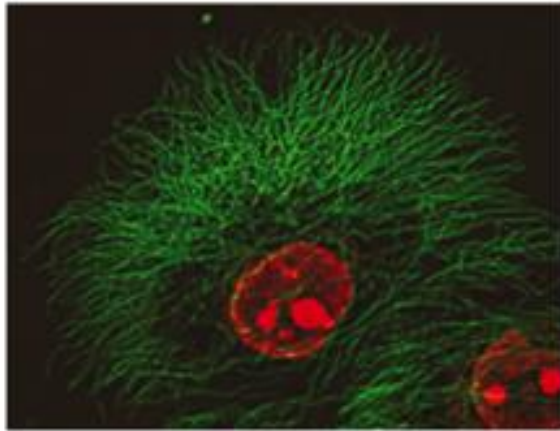
resti dei microtubuli interpolarari

membrana plasmatica

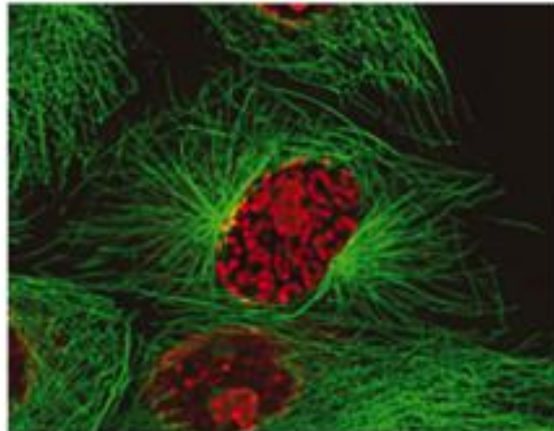
1 μm

RIASSUNTO

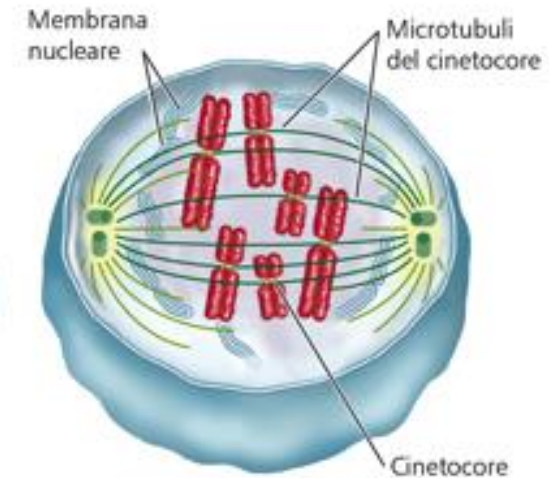
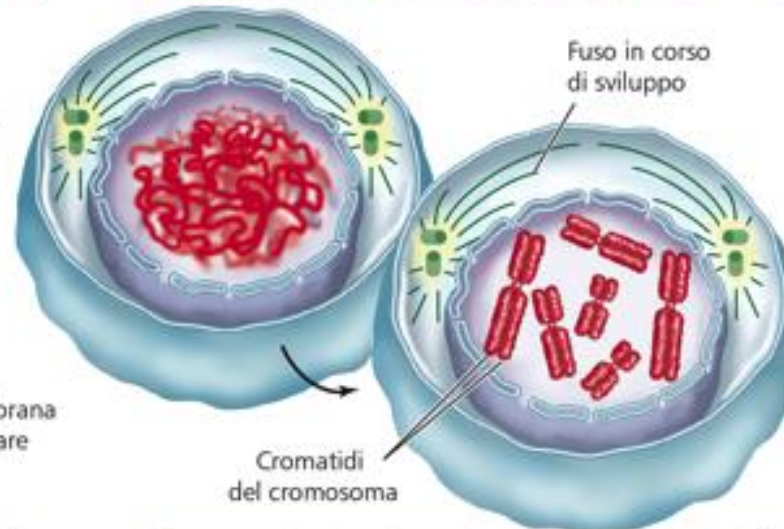
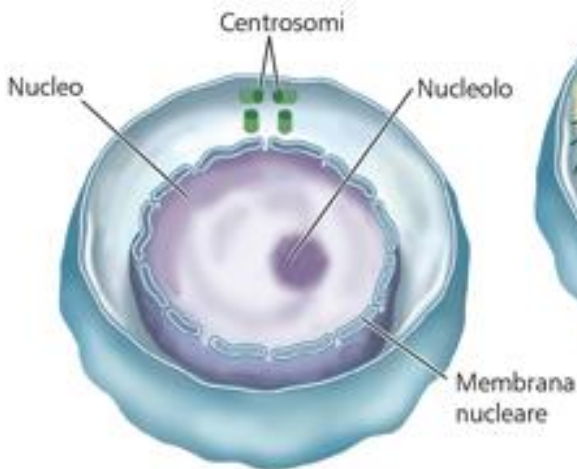
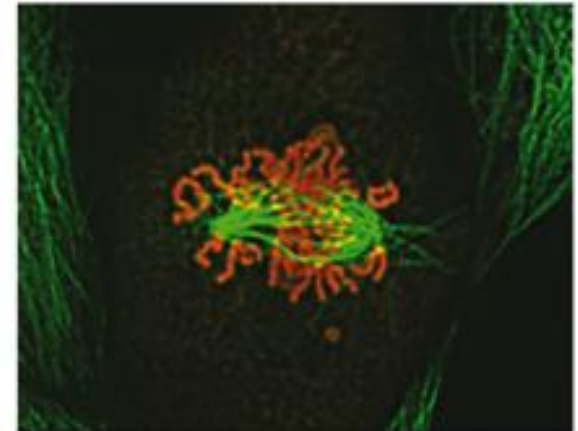
Interfase



Profase



Prometafase



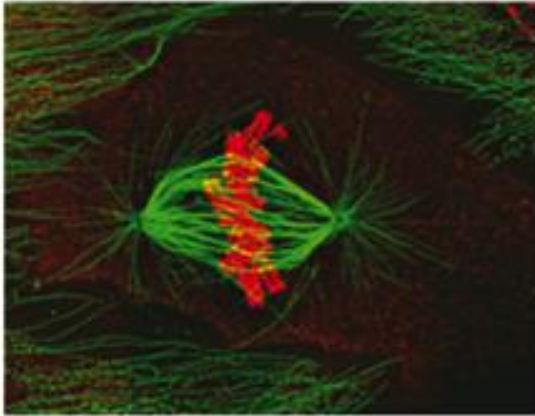
1 Durante la fase S dell'interfase il nucleo replica il suo DNA ed i centrosomi

2 La cromatina si avvolge e si superavvolge, diventando sempre più compatta e condensandosi in cromosomi visibili. I cromosomi consistono di due cromatidi fratelli appaiati e identici, formati nella fase S. I centrosomi migrano verso i poli opposti.

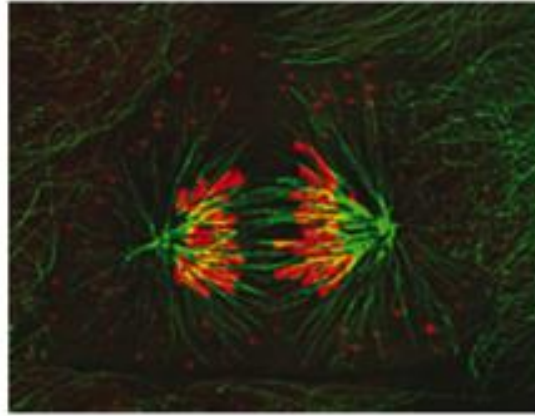
3 La membrana nucleare si dissolve. Si formano i microtubuli del cinetocore, che connettono i cinetocori ai poli.

RIASSUNTO

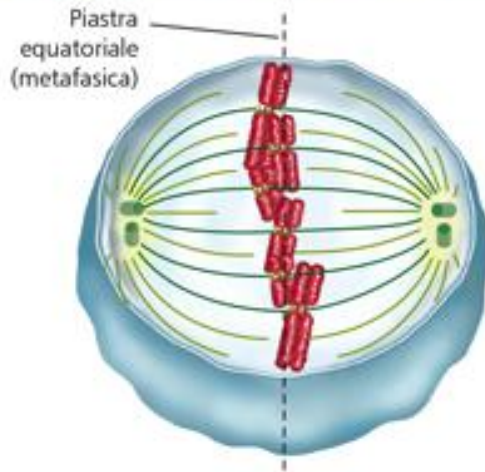
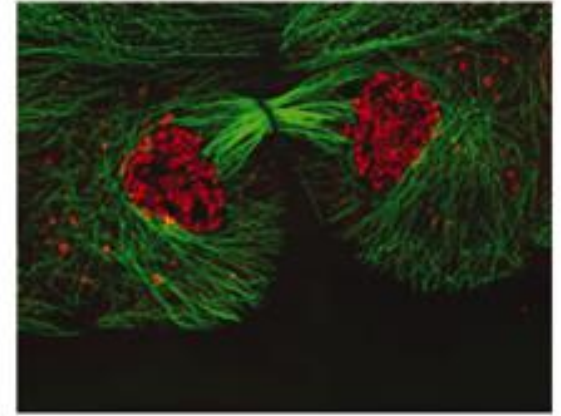
Metafase



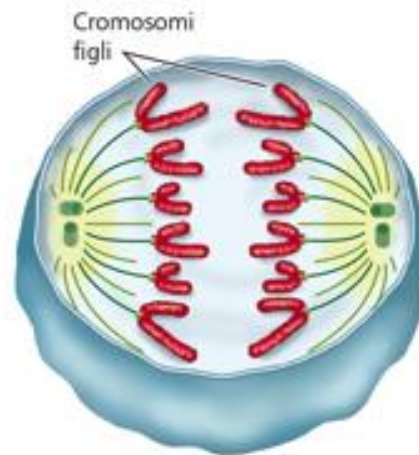
Anafase



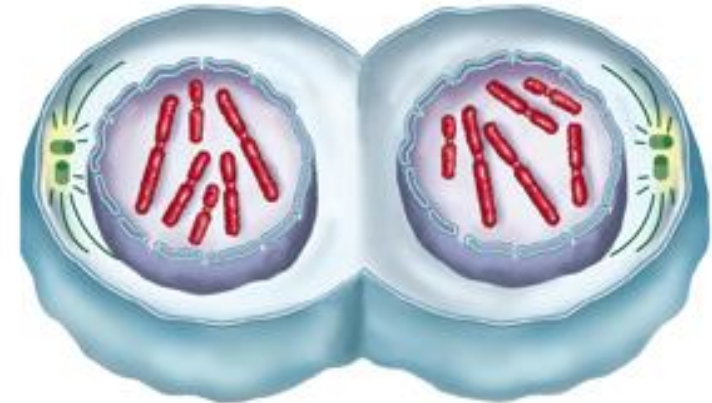
Telofase



4 I centromeri si allineano in un piano all'equatore della cellula

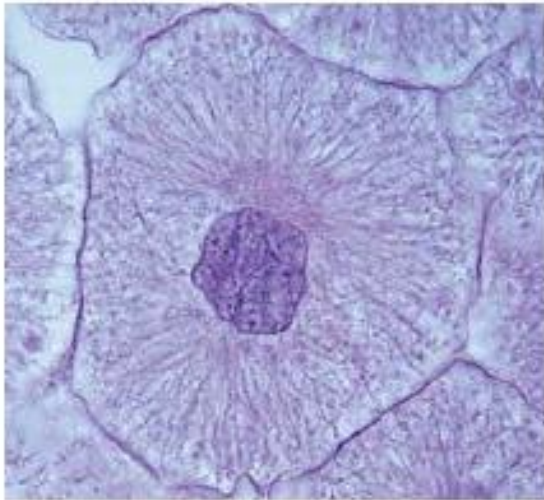


5 I cromatidi fratelli si separano, e i nuovi cromosomi figli iniziano a spostarsi verso i poli.

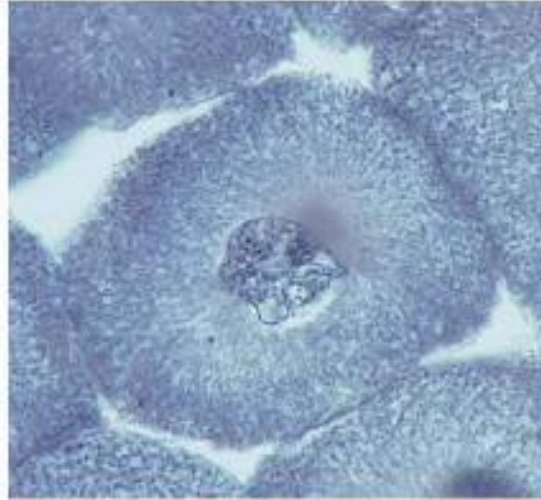


6 I cromosomi figli raggiungono i poli. Quando la telofase si conclude, si riformano la membrana nucleare e i nucleoli la cromatina si despiralizza, e dopo la citodieresi le cellule figlie entrano nuovamente in interfase.

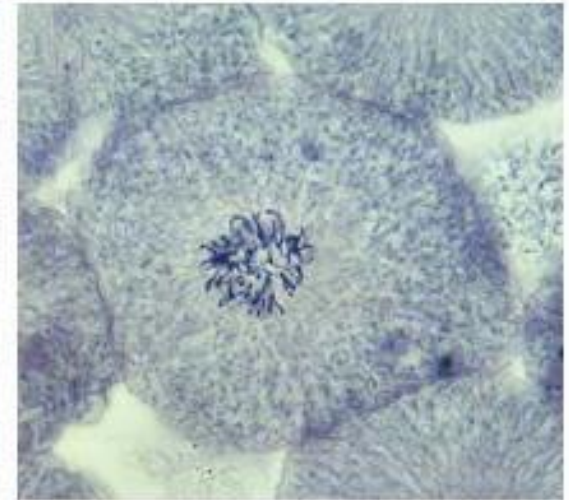
MITOSI nelle cellule animali



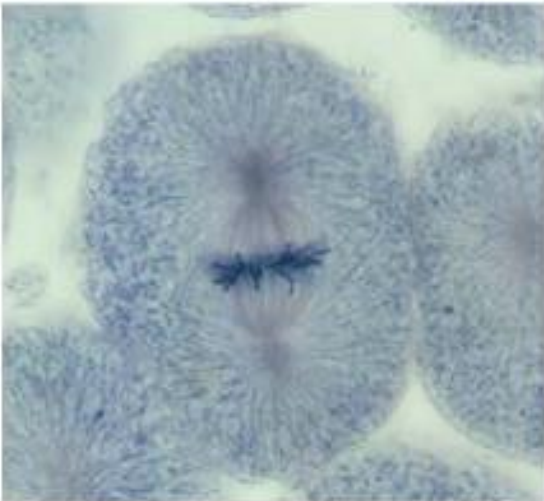
G₂ of Interphase



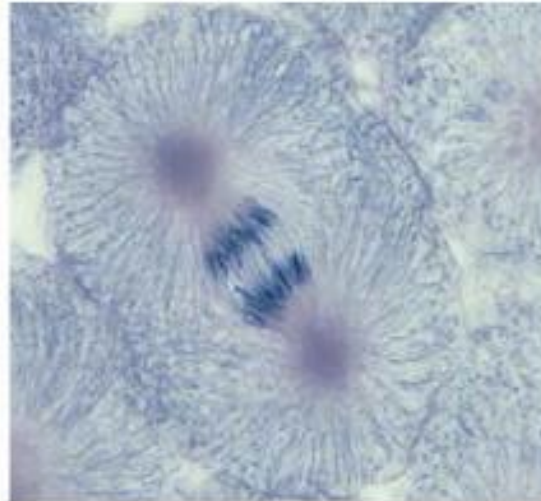
Prophase



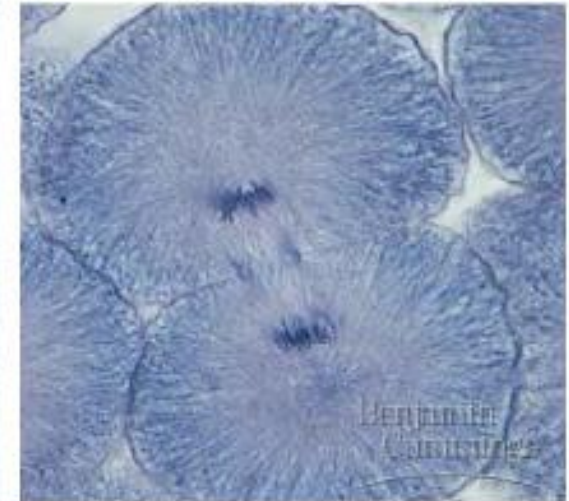
Prometaphase



Metaphase



Anaphase



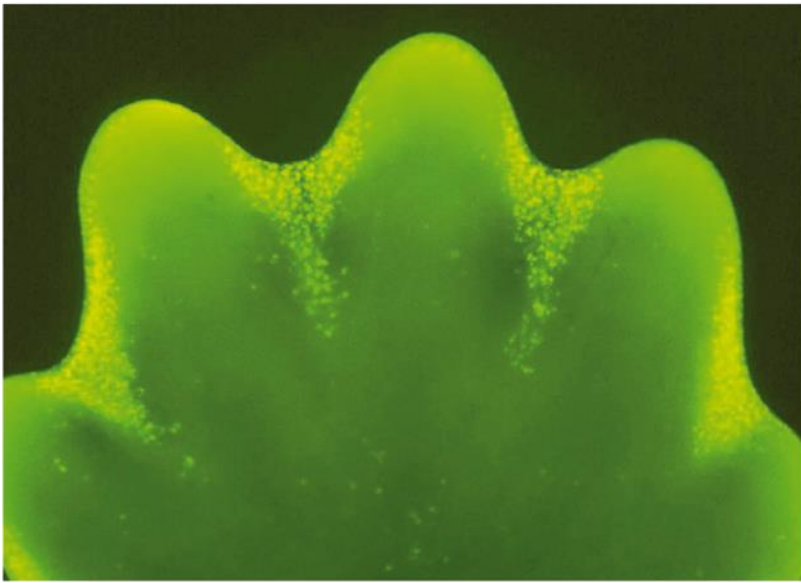
Telophase and Cytokinesis

OMEOSTASI TISSUTALE

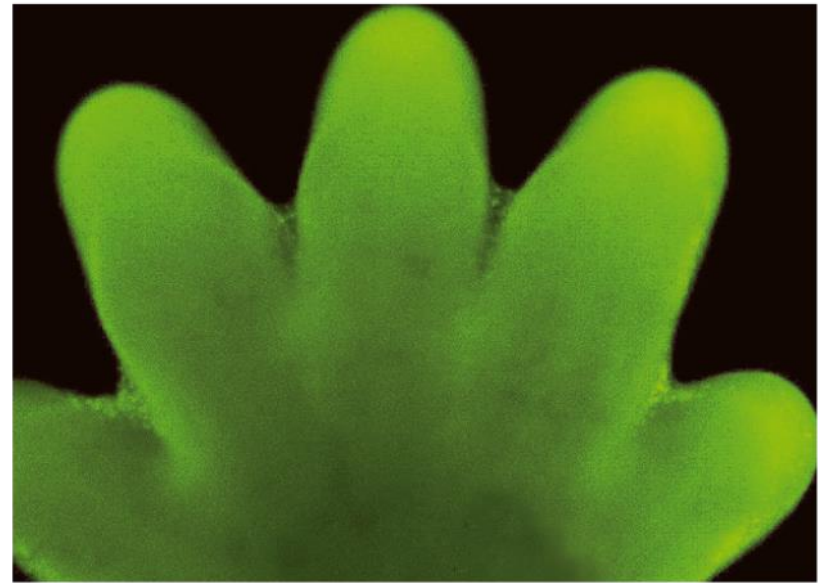
Negli organismi c'è un equilibrio fra le divisioni cellulari (**proliferazione**) e **morte cellulare** per garantire l'**omeostasi tissutale**

Nell'uomo adulto ogni giorno muoiono 50-70 miliardi di cellule





(A)



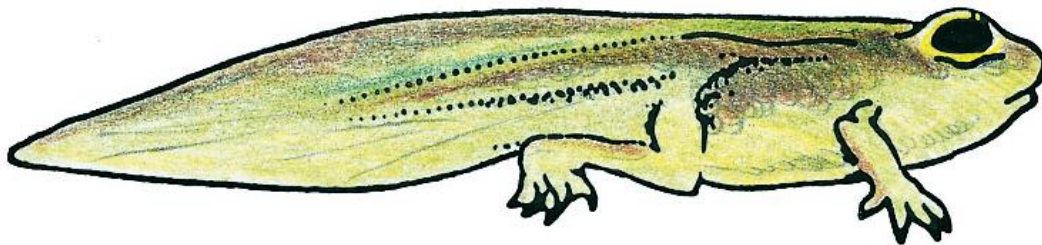
(B)



1 mm

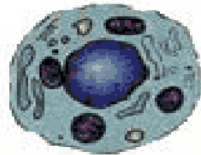
Sia la proliferazione che la morte cellulare svolgono un importante ruolo nello sviluppo embrionale.

Malfunzionamenti possono causare importanti patologie.



NECROSI

la cellula si rigonfia
i suoi organelli
sono danneggiati



la cellula si lisa
si distruggono
organelli e
cromatina



il contenuto
cellulare
viene rilasciato



infiammazione

cellula normale



*ischemia
traumi fisici
o chimici*

*segnali
scatenanti
specifici*

APOPTOSI

la cellula si raggrinza
organelli indenni
cromatina addensata



il nucleo collassa
e si frammenta

la membrana
forma protuberanze



si formano
corpi apoptotici



fagociti locali
inglobano i residui

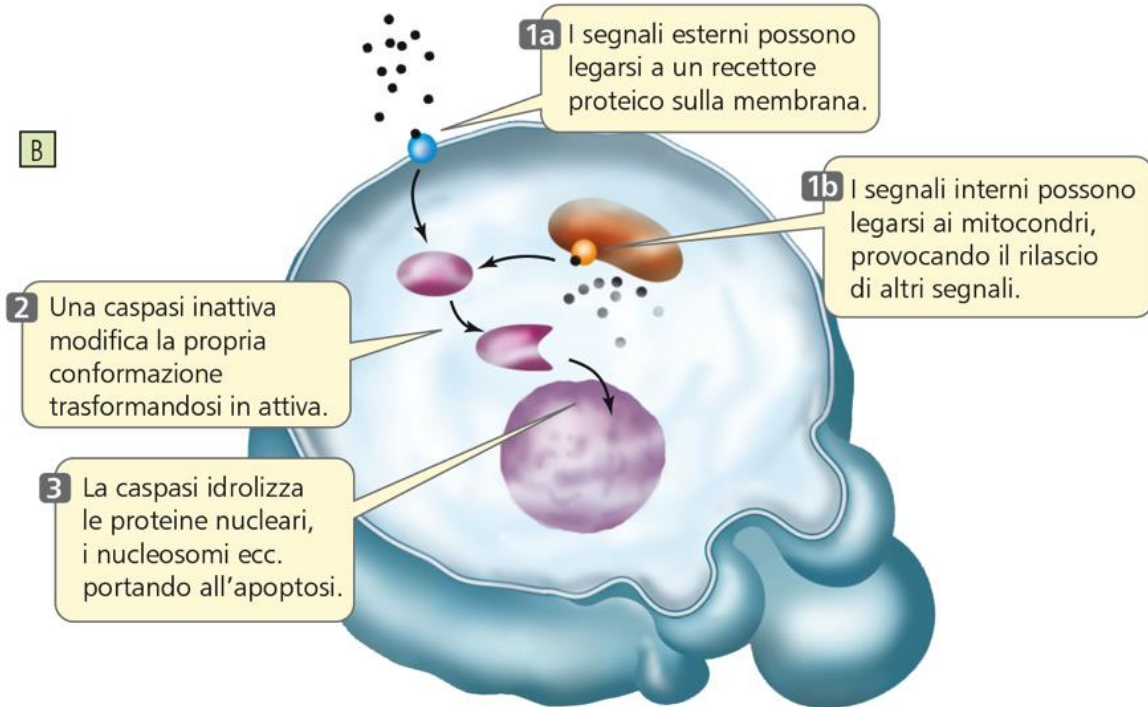


nessuna infiammazione

MORTE CELLULARE

APOPTOSI

Se la **necrosi** è un processo passivo, l'**apoptosi** è un processo attivo risultante da un preciso programma genetico. Il meccanismo garantisce anche la specificità tissutale, dato che cellule estranee andranno incontro ad apoptosi



ONCOLOGIA

Studia patologie dovute a crescita cellulare incontrollata.

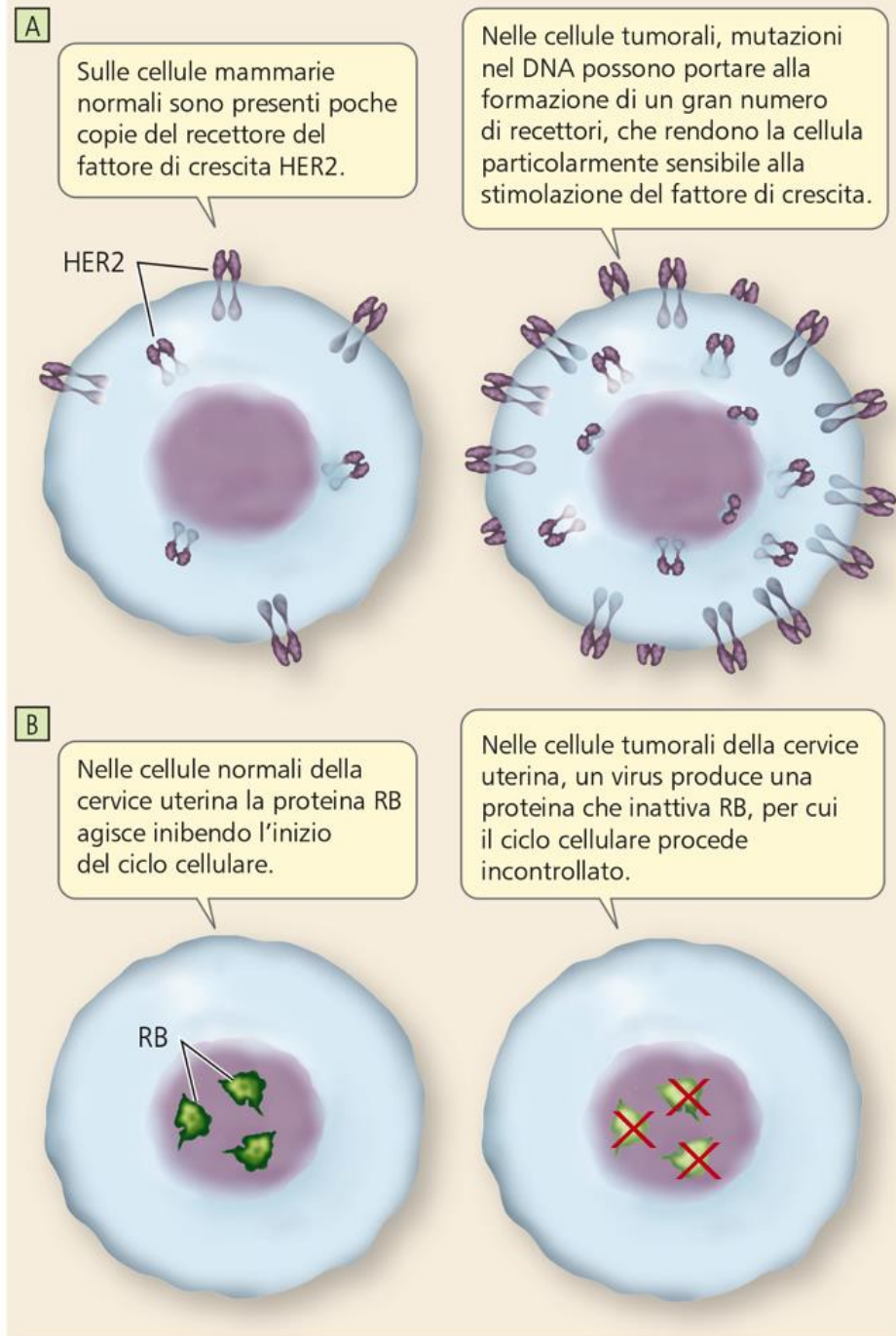
- **CANCRO** (*granchio*): dato che le cellule nel corso della loro moltiplicazione formano propaggini che si avvinghiano alle cellule vicine e le distruggono
- **TUMORE** (*tumefazione*): dovuto all'aspetto macroscopico di molti tumori che presentano una massa rilevante nel sito anatomico di origine
- **NEOPLASIA** (*nuova formazione*): sinonimo del precedente ma prende più in considerazione l'aspetto cellulare

Nelle cellule tumorali
diventano attive

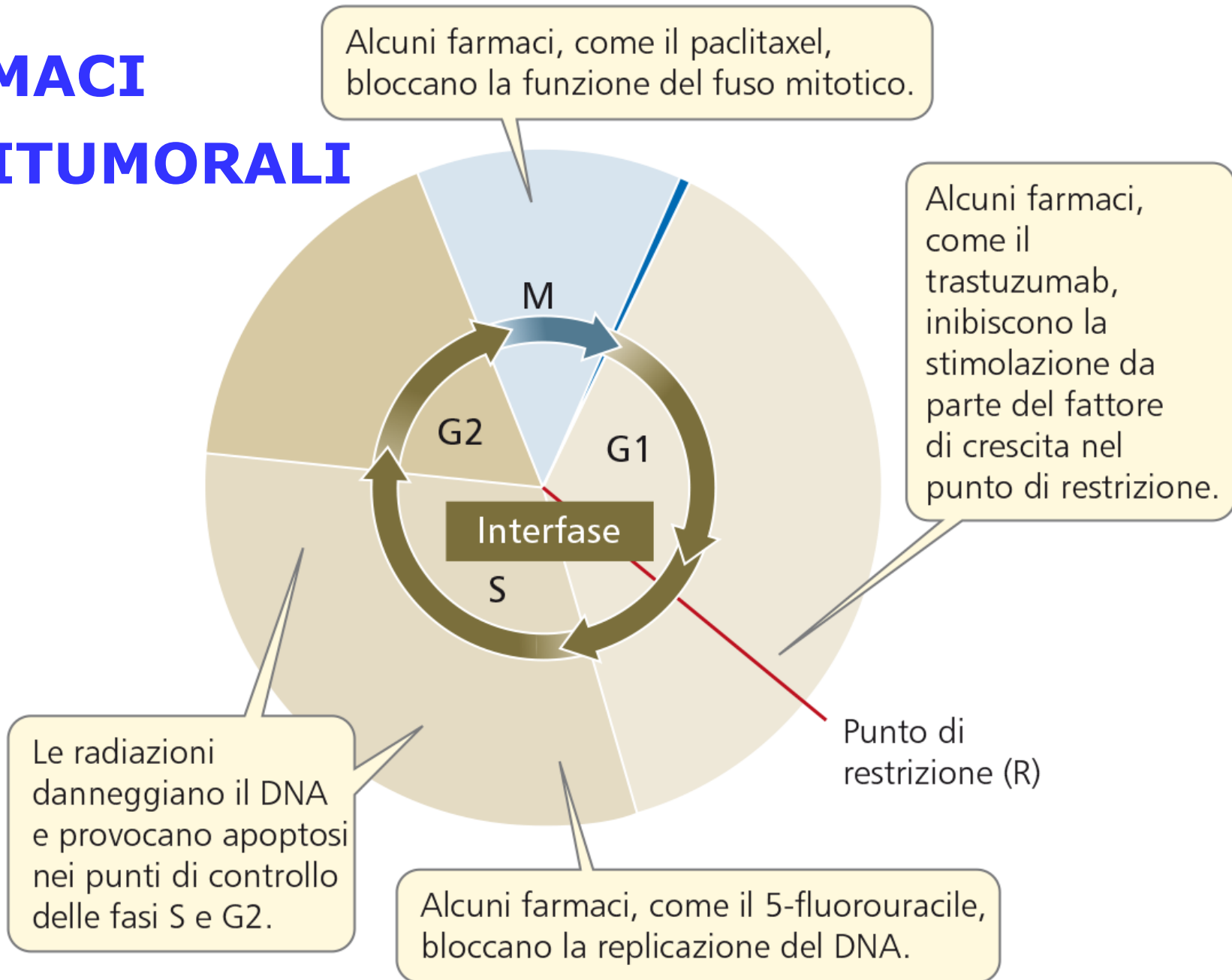
proteine oncogene,
regolatori positivi del ciclo
cellulare

FATTORI TUMORALI

oppure possono diventare
inattivi dei regolatori
negativi del ciclo cellulare
chiamati **oncorepressori**



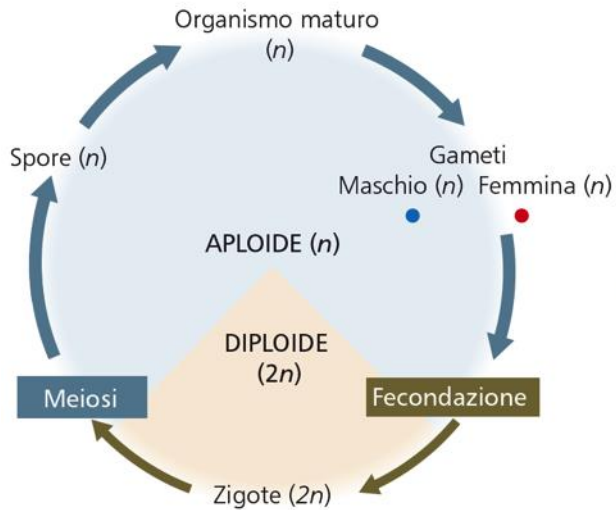
FARMACI ANTITUMORALI



CICLO VITALE



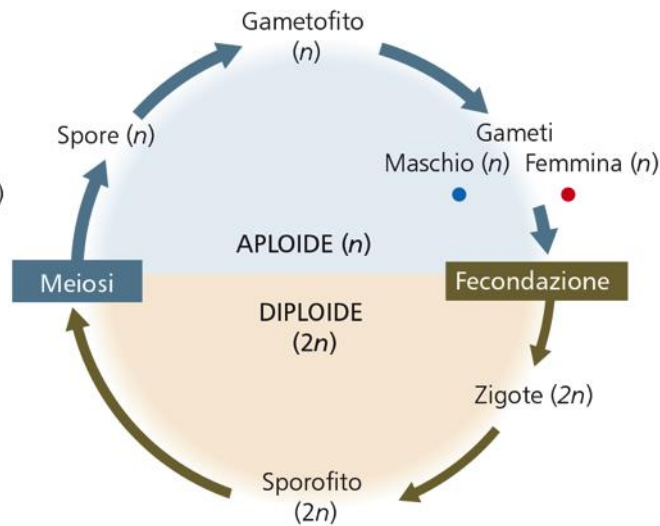
Fungo (*Rhizopus oligosporus*)
(organismo aploide)



Nel ciclo vitale aplonte, l'organismo maturo è aploide e lo zigote è il solo stadio diploide.



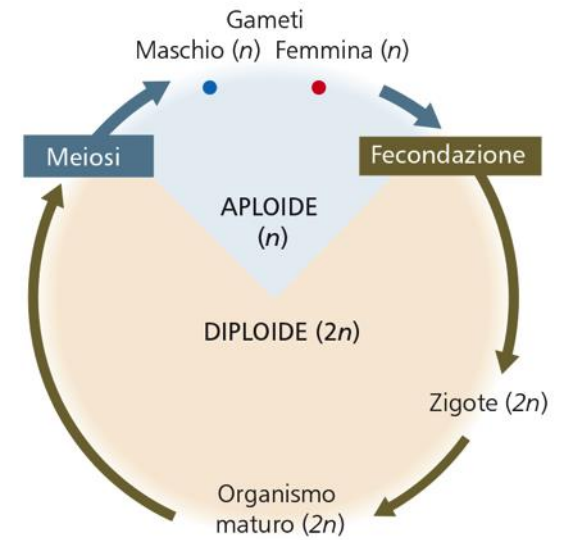
Felce (*Humata tyermanii*)
(sporofito diploide)



Nell'alternanza di generazioni l'organismo passa attraverso fasi aploidi e diploidi, entrambe pluricellulari.

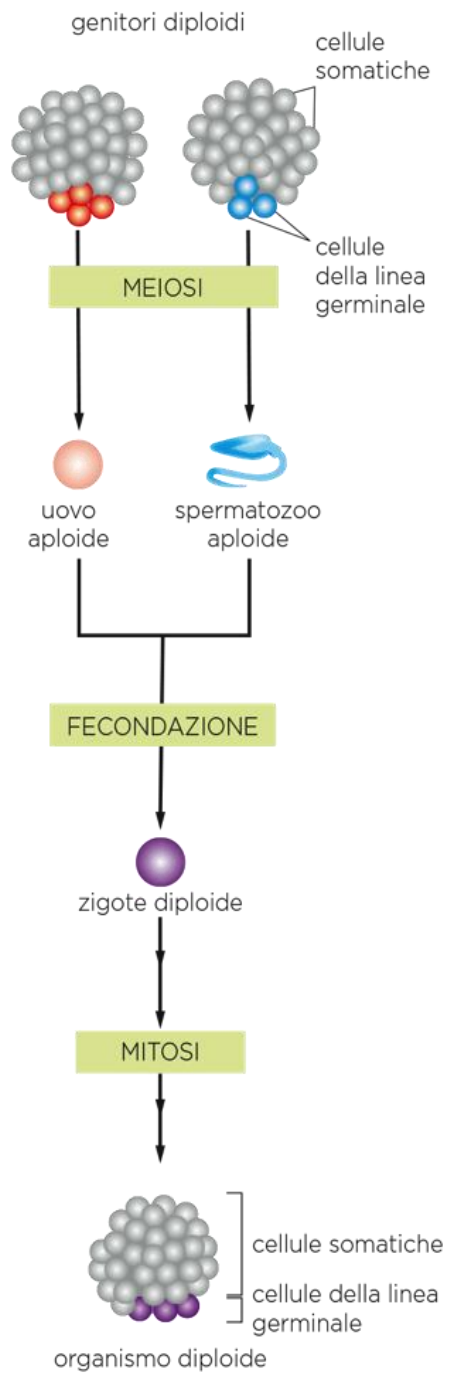
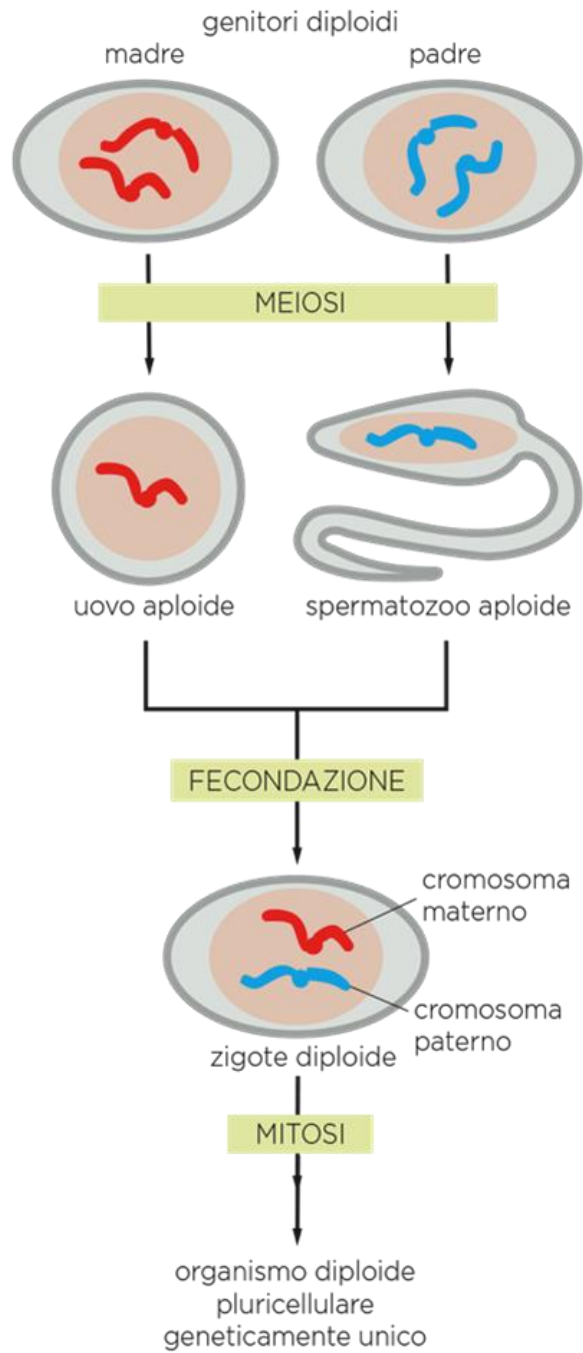


Aquila pescatrice africana (*Haliaeetus vocifer*)
(organismo diploide)



Nel ciclo vitale diplonte, l'organismo è diploide ed i gameti sono l'unico stadio aploide.

LA MEIOSI



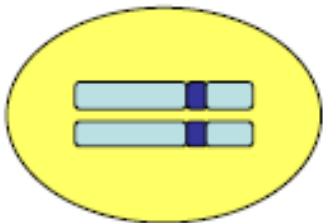
MEIOSI

- I cromosomi furono osservati per la prima volta nel 1882.
- In 1887 si osservò che i **gameti** hanno metà dei cromosomi della cellule somatiche.
- La fecondazione crea la prima cellula somatica detta **zigote** che è **diploide** (**2n**).
- Venne proposta una divisione cellulare che **riducesse il numero dei cromosomi**

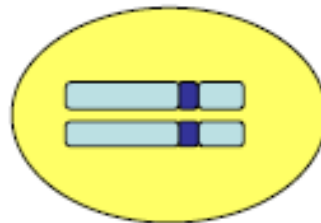
SIGNIFICATO

Se ci fosse la fusione di cellule diploidi ($2n$) dopo 10 generazioni, una cellula somatica umana avrebbe un numero di cromosomi di 46×2^{10} (~ 3.000)

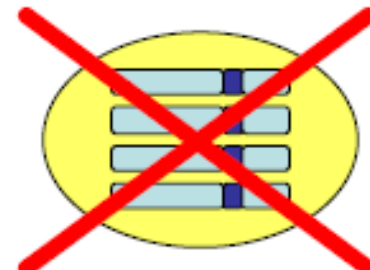
Dalla madre



Dal padre



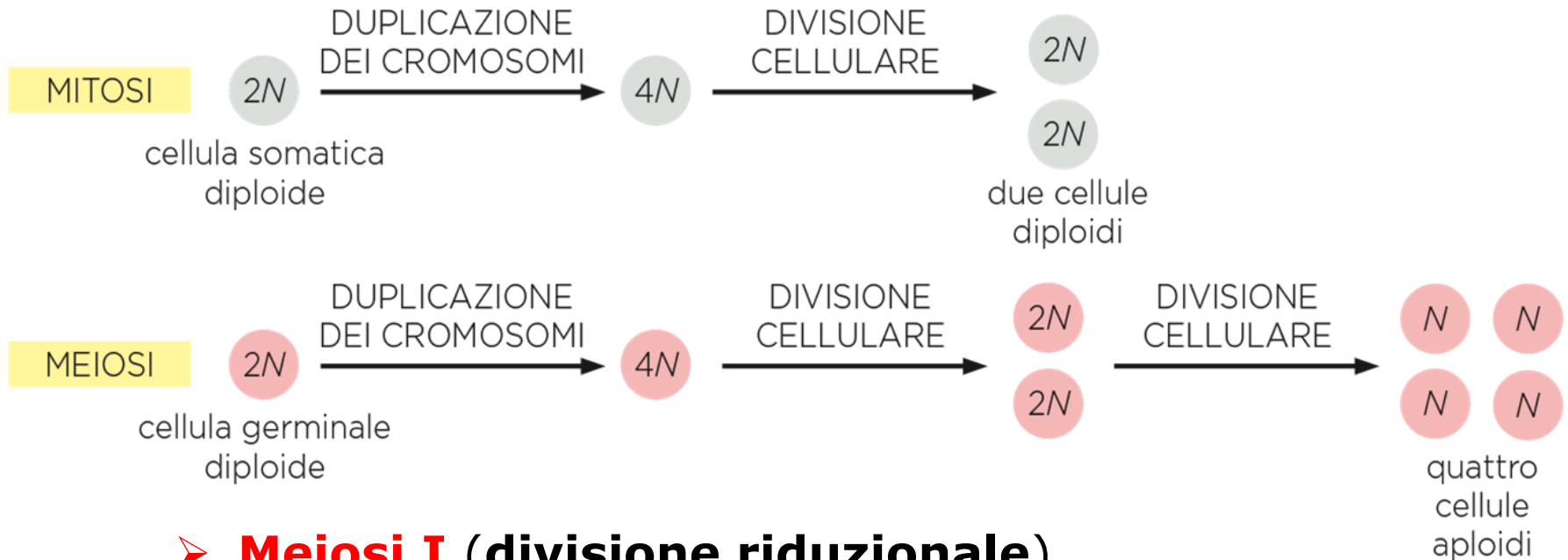
figlio



troppi!

MEIOSI

La meiosi riduce il numero dei cromosomi a metà (n) rispetto a quello contenuto nelle cellule somatiche ($2n$).



➤ **Meiosi I (divisione riduzionale)**

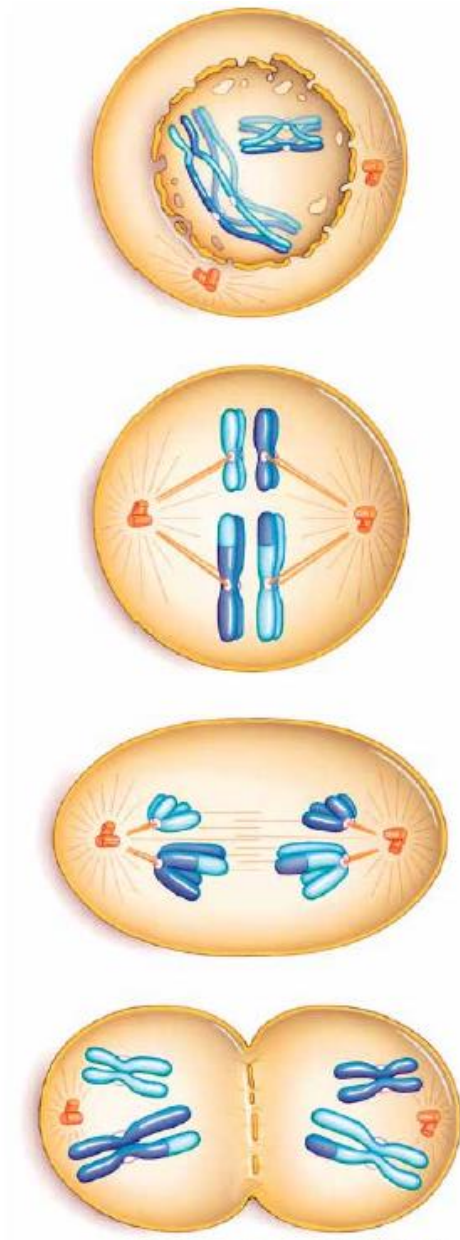
➤ **Meiosi II (divisione equazionale)**

- Il DNA non si duplica tra le due divisioni
- Si formano quattro nuclei aploidi

FASI della MEIOSI

Meiosi I

- Profase I
- Metafase I
- Anafase I
- Telofase I



Meiosi II

- Profase II
- Metafase II
- Anafase II
- Telofase II

Gli STADI della PROFASE I

All'inizio della profase I i cromosomi sono già duplicati (nella **fase S** dell'interfase)

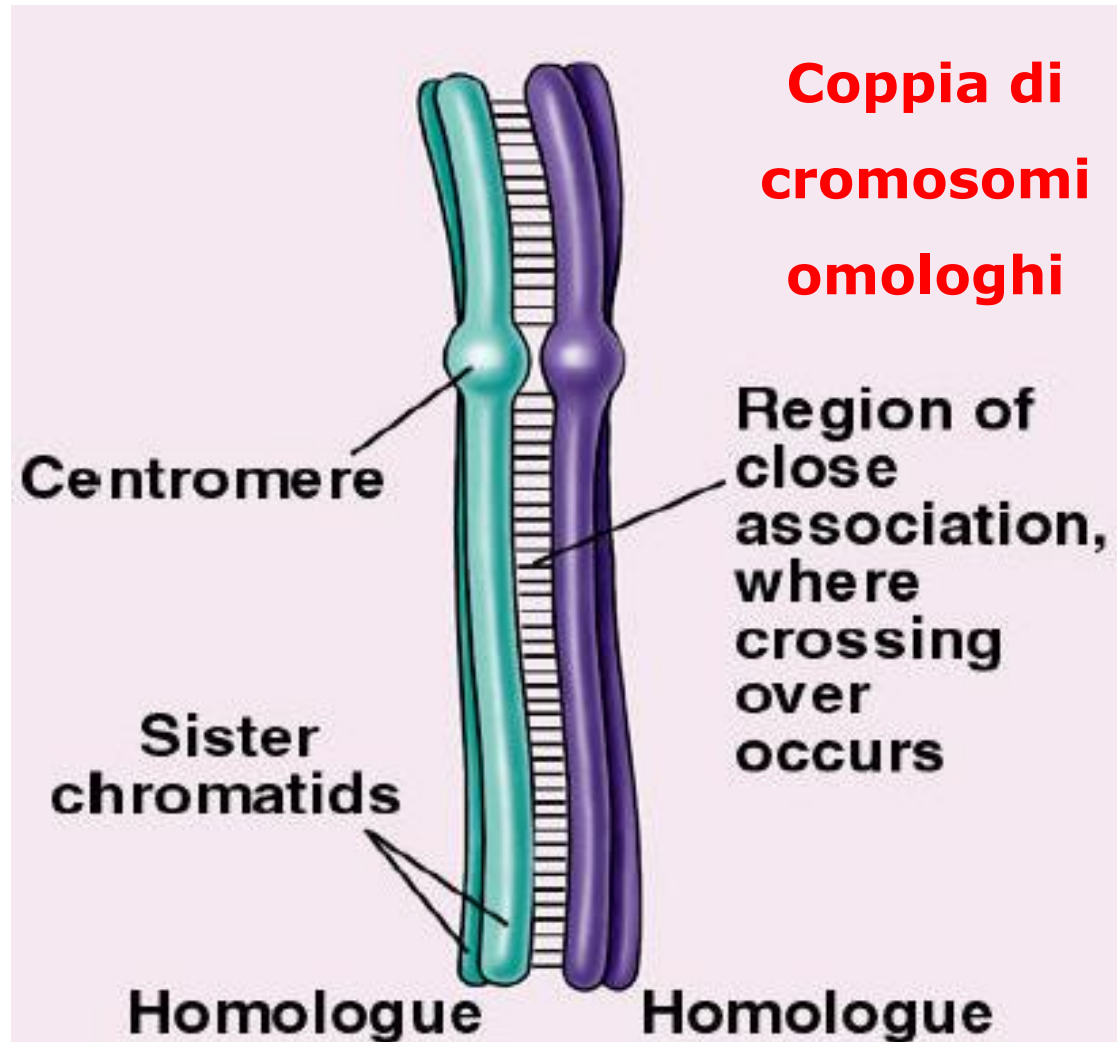
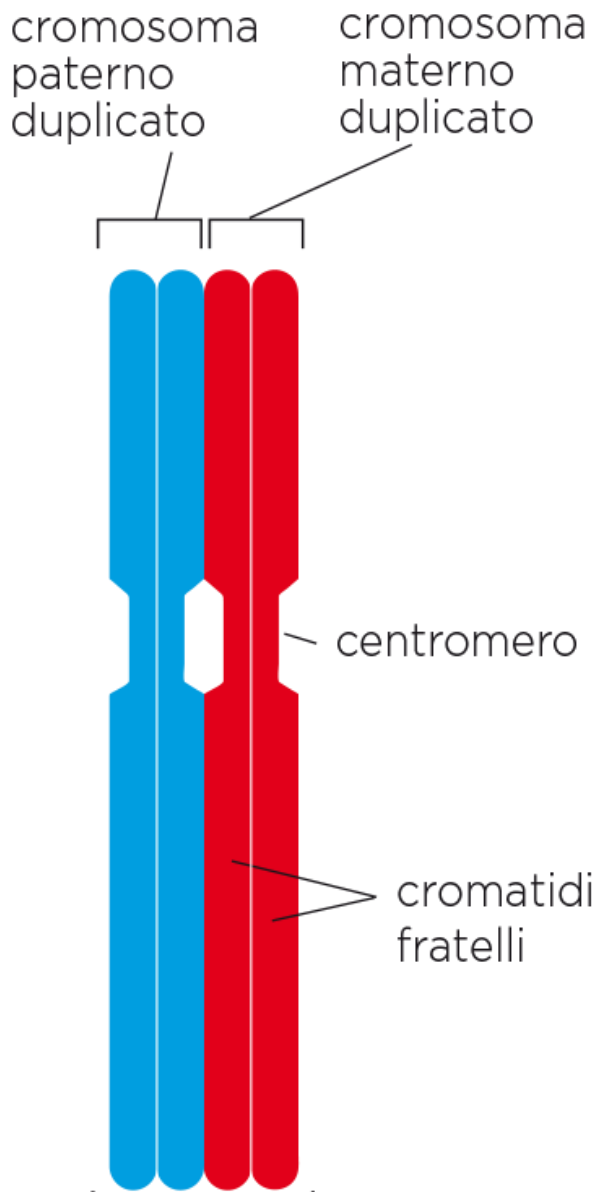
La **profase I** è la fase più complessa della meiosi

- 1. Leptotene** – I cromosomi si condensano
2. Zigotene
3. Pachitene
4. Diplotene
5. Diacinesi

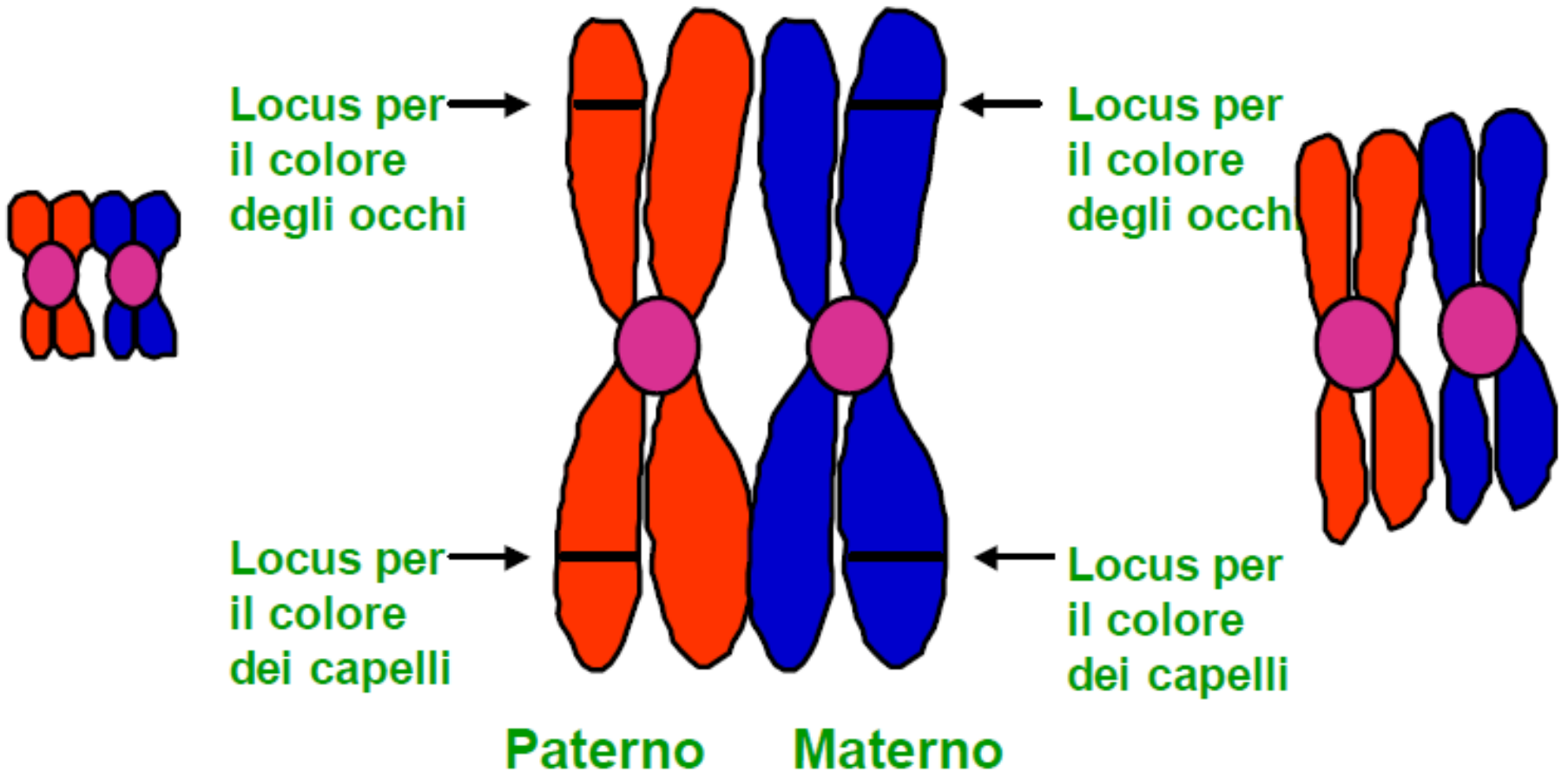
2. ZIGOTENE

- Dopo la condensazione, i due cromosomi (già duplicati) di ciascuna coppia di omologhi si dispongono paralleli
- Si appaiano nel senso della lunghezza.
- Si forma una struttura proteica che mantiene uniti i due omologhi.
- La struttura che tiene insimeme i due cromosomi omologhi è chiamata **COMPLESSO SINAPTONEMICO (o sinaptonemale)**.
- **E' caratteristico della Meiosi I**
(non avviene nella Meiosi II né nella Mitosi).

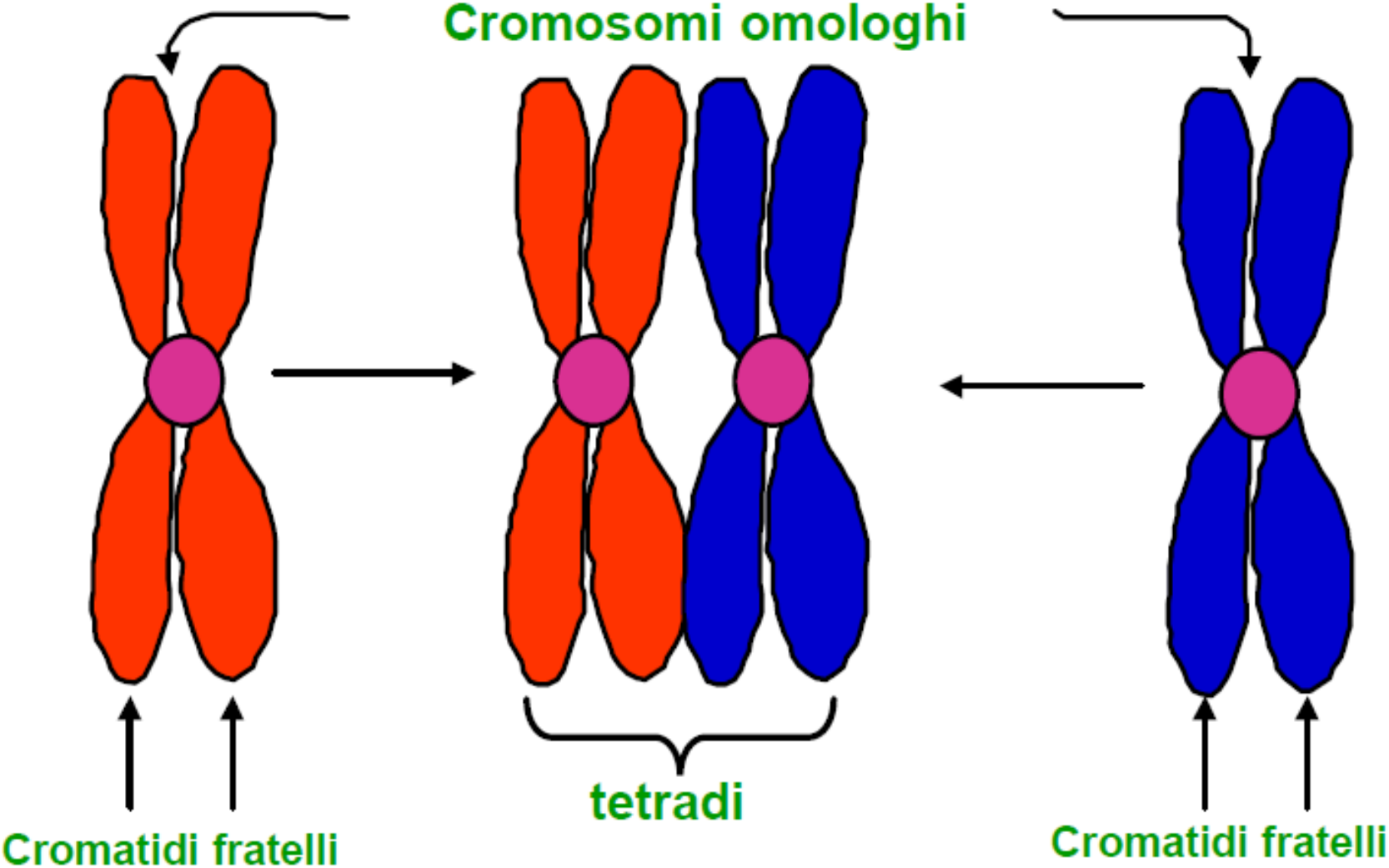
COMPLESSO SINAPTONEMICO



CROMOSOMI OMOLOGHI



PROFASE I – LE TETRADI



3. PACHITENE

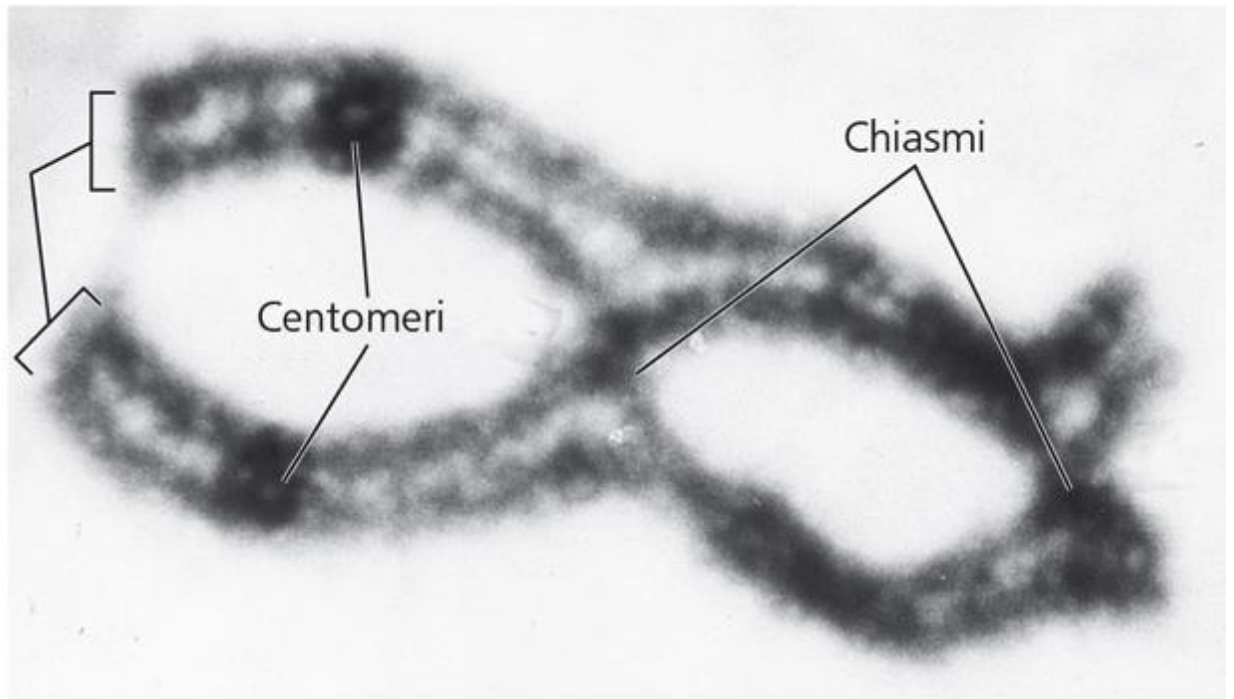
- Inizia dopo che si è formato il complesso sinaptonemico
- Il complesso **mantiene i cromosomi nell'appaiamento corretto...** il gene A sull'omologo #1 è appaiato con il gene A sull'omologo #2
- Il **DNA del complesso inizia a decondensarsi.**
- Avviene **l'appaiamento delle basi** tra cromosomi omologhi.
- Questa interazione strutturale permette lo scambio del materiale genetico tra omologhi: il **CROSSING OVER.**

CROSSING OVER

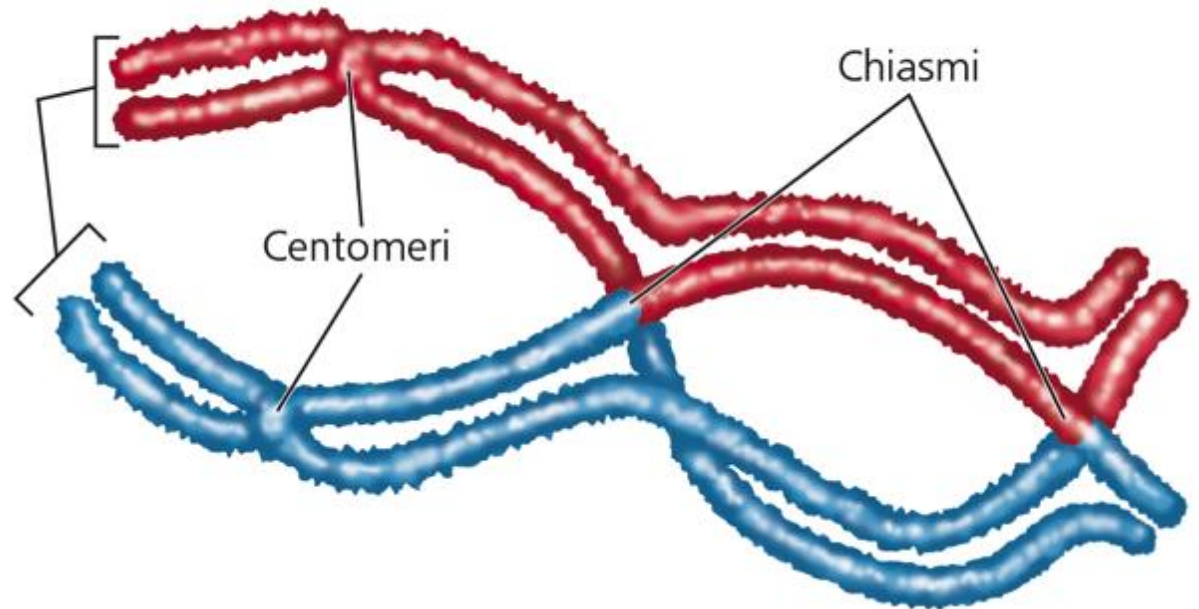
- **Scambio di materiale genetico tra cromosomi omologhi.**
- nella specie umana, per ciascuna coppia di omologhi avvengono in media 2 - 3 scambi
- Quando il processo del crossing over è terminato il complesso sinaptonemico inizia a smembrarsi.
- Dopo che il complesso sinaptonemico si è dissolto, gli omologhi sono ancora tenuti insieme nei punti dove è avvenuto il crossing over
- Questi punti di unione sono chiamati **chiasmi.**

CROSSING OVER

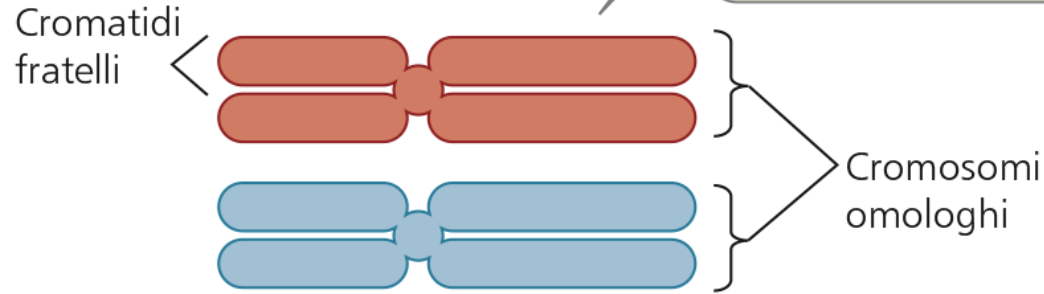
Cromosomi omologhi



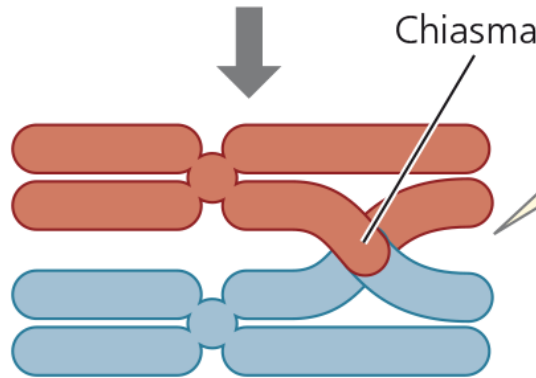
Cromosomi omologhi



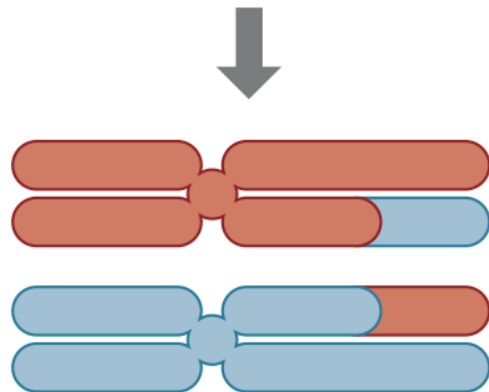
Dal Crossing over
risultano cromatidi
ricombinanti



Durante la profase I, i cromosomi omologhi, costituiti ciascuno da una coppia di cromatidi fratelli, si allineano a formare una tetrate.



I cromatidi adiacenti di omologhi differenti vanno incontro a processi di rottura e riunione. L'adesione fra i cromatidi fratelli porta alla formazione di un chiasma.



Il chiasma viene risolto. I **cromatidi ricombinanti** contengono materiale genetico proveniente da omologhi diversi.

4. DIPLLOTENE

- Il complesso sinaptonemale si dissolve completamente
- Il DNA si decondensa
- Inizia nuovamente la trascrizione

5. DIACINESI

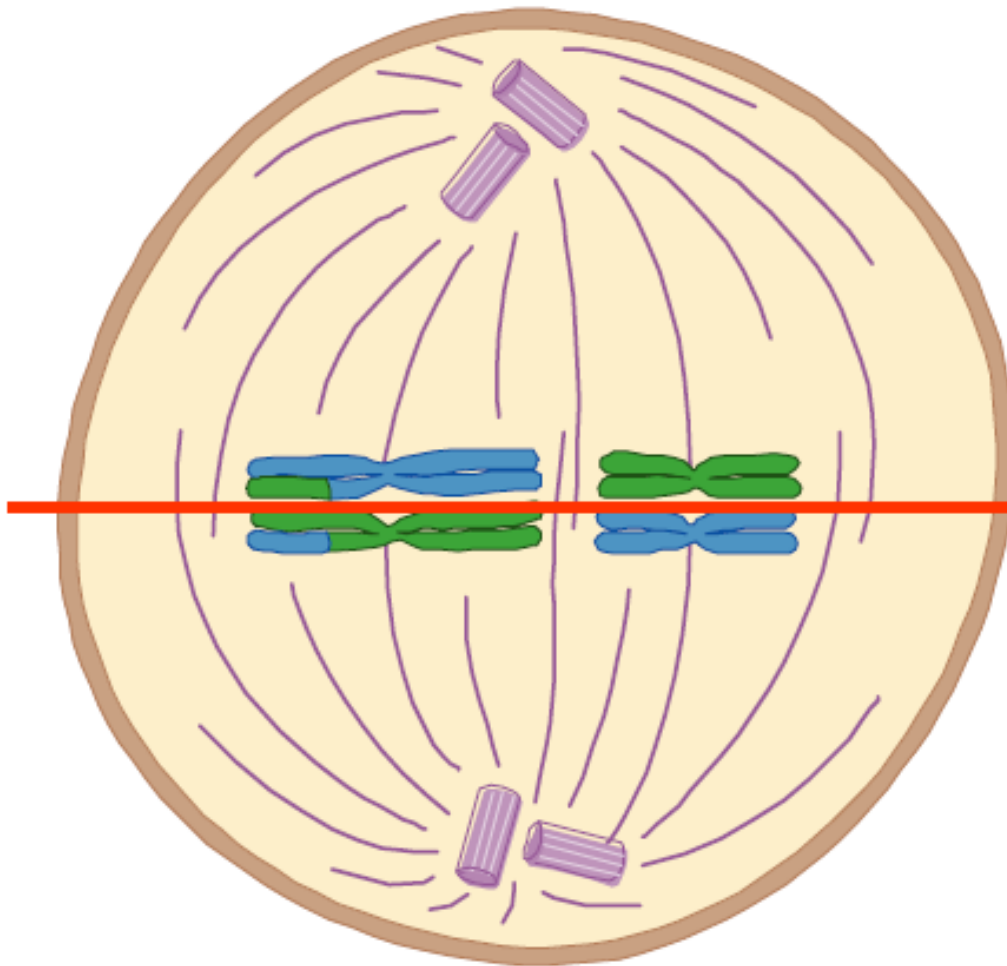
- I cromosomi si ricondensano
- Termina la trascrizione
- Sta per iniziare la Metafase I

METAFASE I

- La membrana nucleare si è dissolta
- I microtubuli formano il **fuso** (come nella mitosi)
- Le diverse coppie di omologhi si dispongono su un piano equatoriale: la **piastra metafasica**.
- L'orientamento di ciascuna coppia è casuale.
L'omologo paterno alla destra e quello materno alla sinistra o viceversa

METAFASE I

- I chiasmi tengono insieme gli omologhi



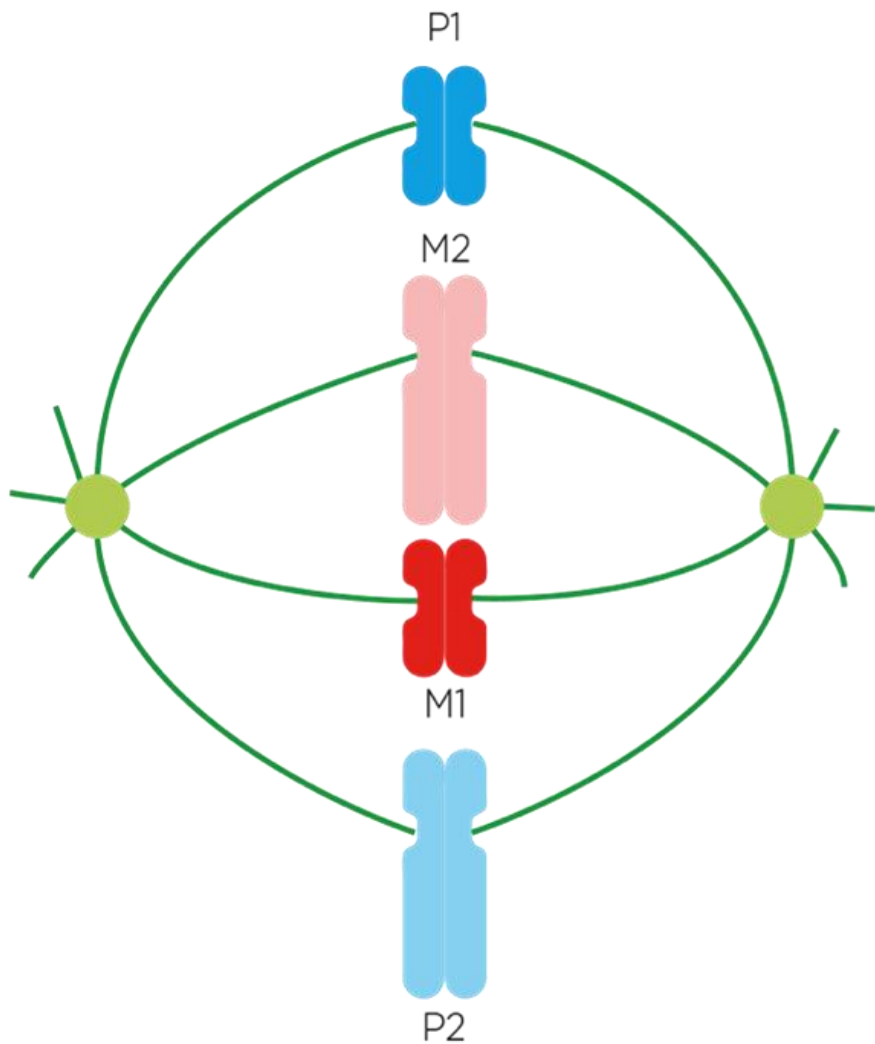
DIVERSA dalla
METAFASE della
MITOSI

Le coppie di omologhi si dispongono sulla piastra equatoriale.

Piastra equatoriale

(A)

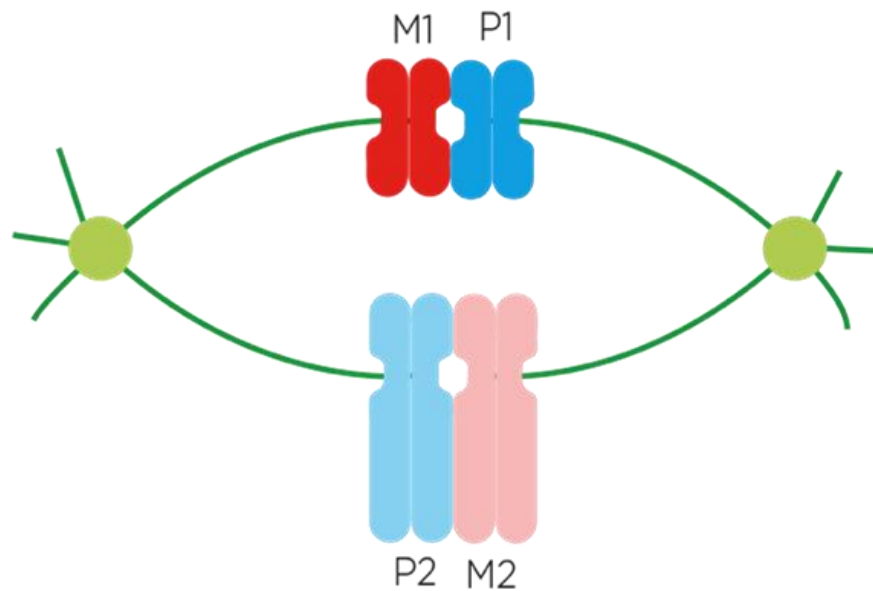
MITOSI



i cromosomi omologhi duplicati
si allineano indipendentemente
sulla piastra metafaseca

(B)

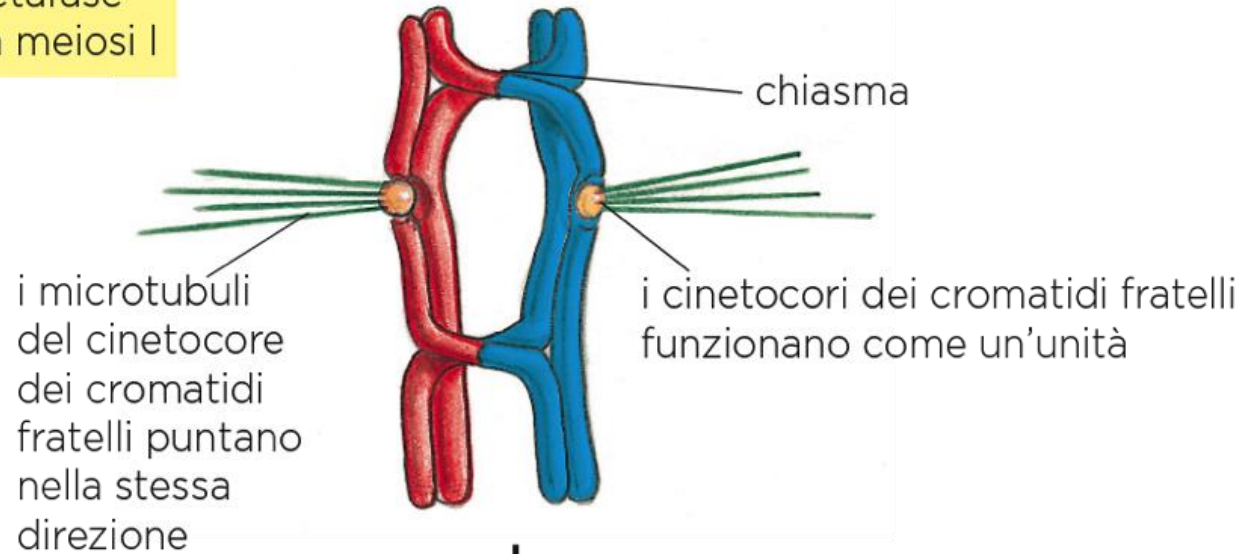
MEIOSI I



i cromosomi omologhi duplicati
si appaiano prima di allinearsi
sulla piastra metafaseca

Profase I e
Metafase I
occupano il 90%
in tempo della
Meiosi

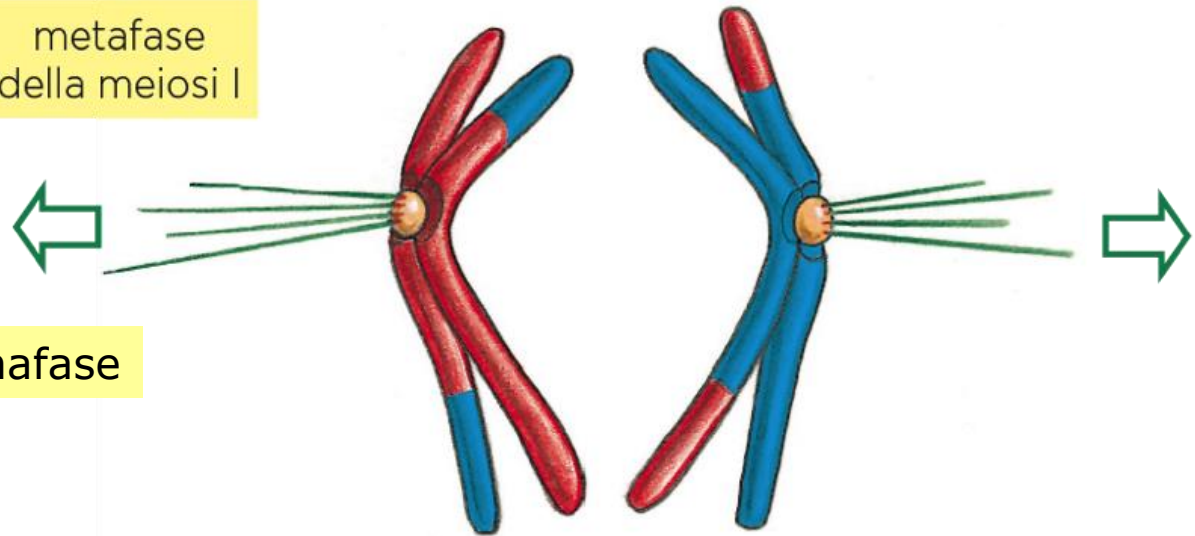
(A) metafase
della meiosi I



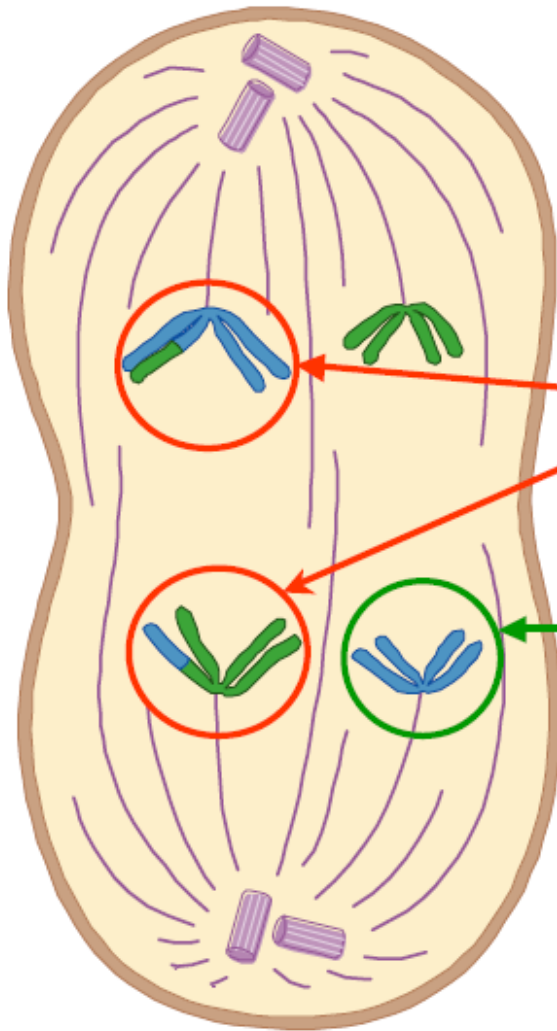
I BRACCI DEI CROMATIDI FRATELLI
SI STACCANO E GLI OMOLOGHI
DUPLICATI SI SEPARANO

(B) metafase
della meiosi I

anafase



ANAFASE I



I **cromosomi omologhi** si appaiano e migrano ai poli opposti.

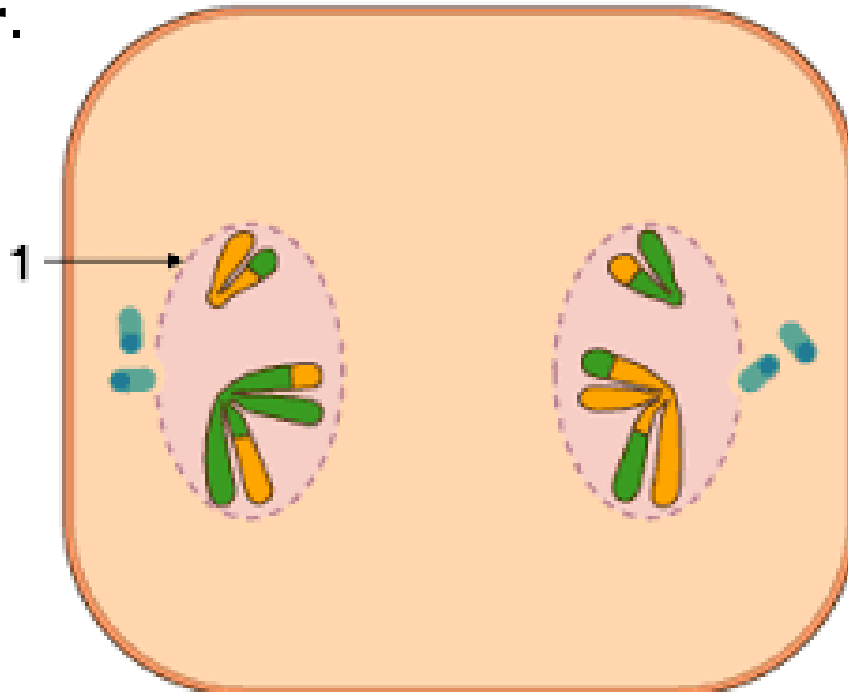
I **cromatidi fratelli** rimangono attaccati tra loro.

I microtubuli accorciandosi tirano verso i poli i centromeri che trascinano con loro i cromosomi

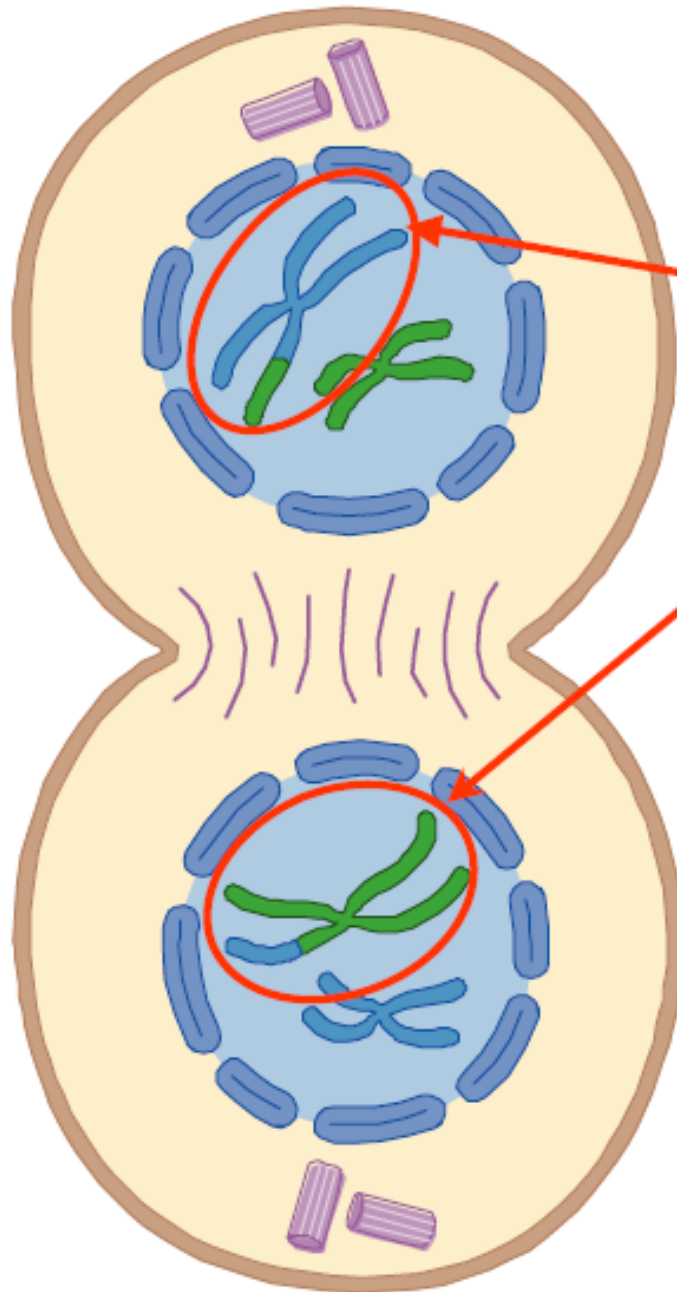
Entrambi i cromatidi fratelli dello stesso cromosoma omologo sono trascinati verso lo stesso polo poiché il centromero li tiene insieme.

TELOFASE I

- Gli omologhi si radunano ai poli opposti.
- La membrana nucleare si riforma attorno ai due gruppi di cromosomi.
- ciascun cromosoma è ancora costituito da **2 cromatidi fratelli che non sono più identici** poiché è avvenuto il **crossing over**.



TELOFASE I



**cromosomi
omologhi**

Si riforma la membrana nucleare

Scompare il fuso.

**Con la citochinesi la cellula si
divide in due.**

MEIOSI II

- Tra la meiosi I e II, **non c'è duplicazione del DNA**

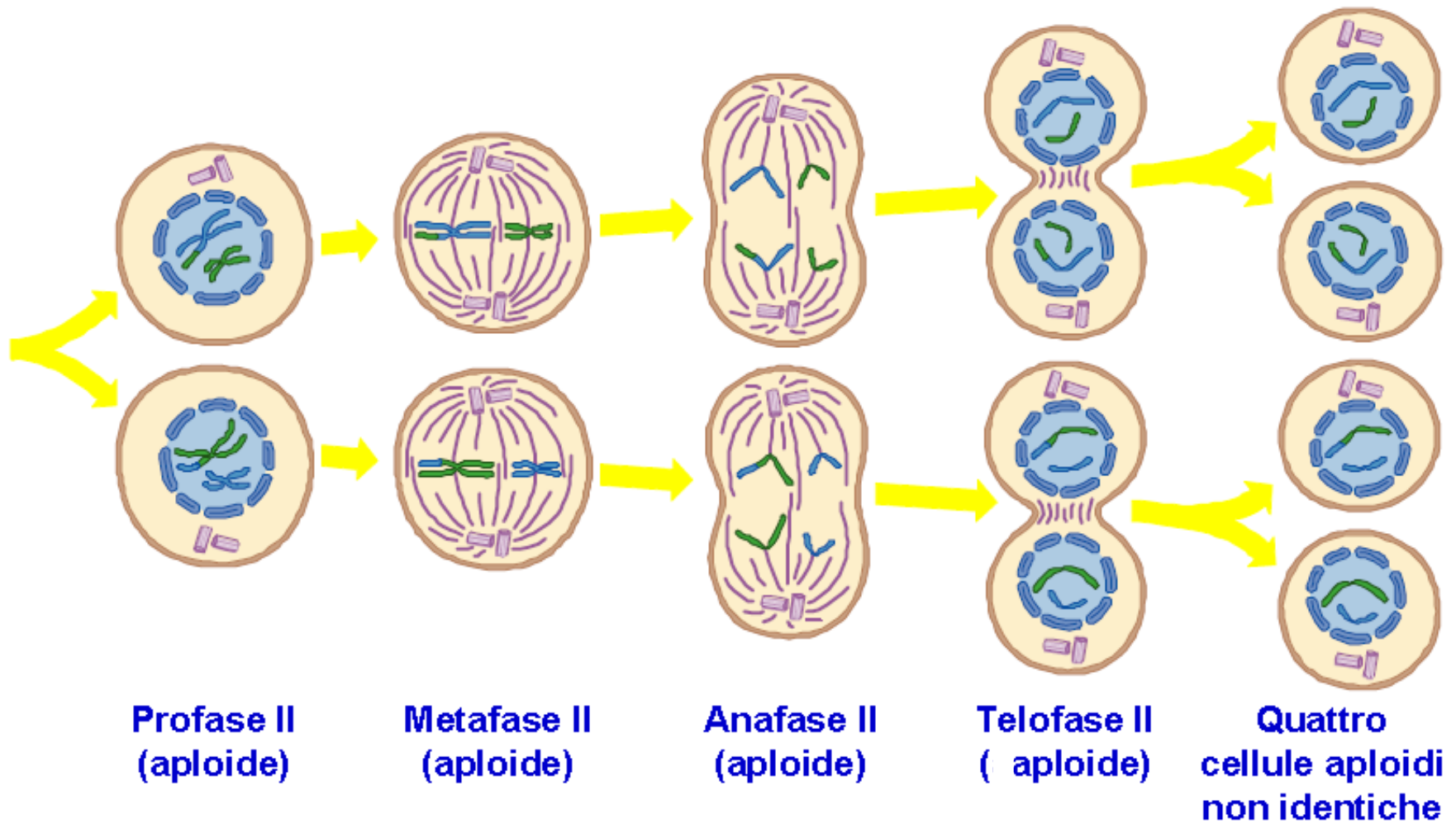
1. Profase II – si rompe la membrana nucleare e si forma il fuso

2. Metafase II – i cromosomi si allineano sulla piastra metafasica ed i microtubuli si attaccano da entrambi i lati del centromero

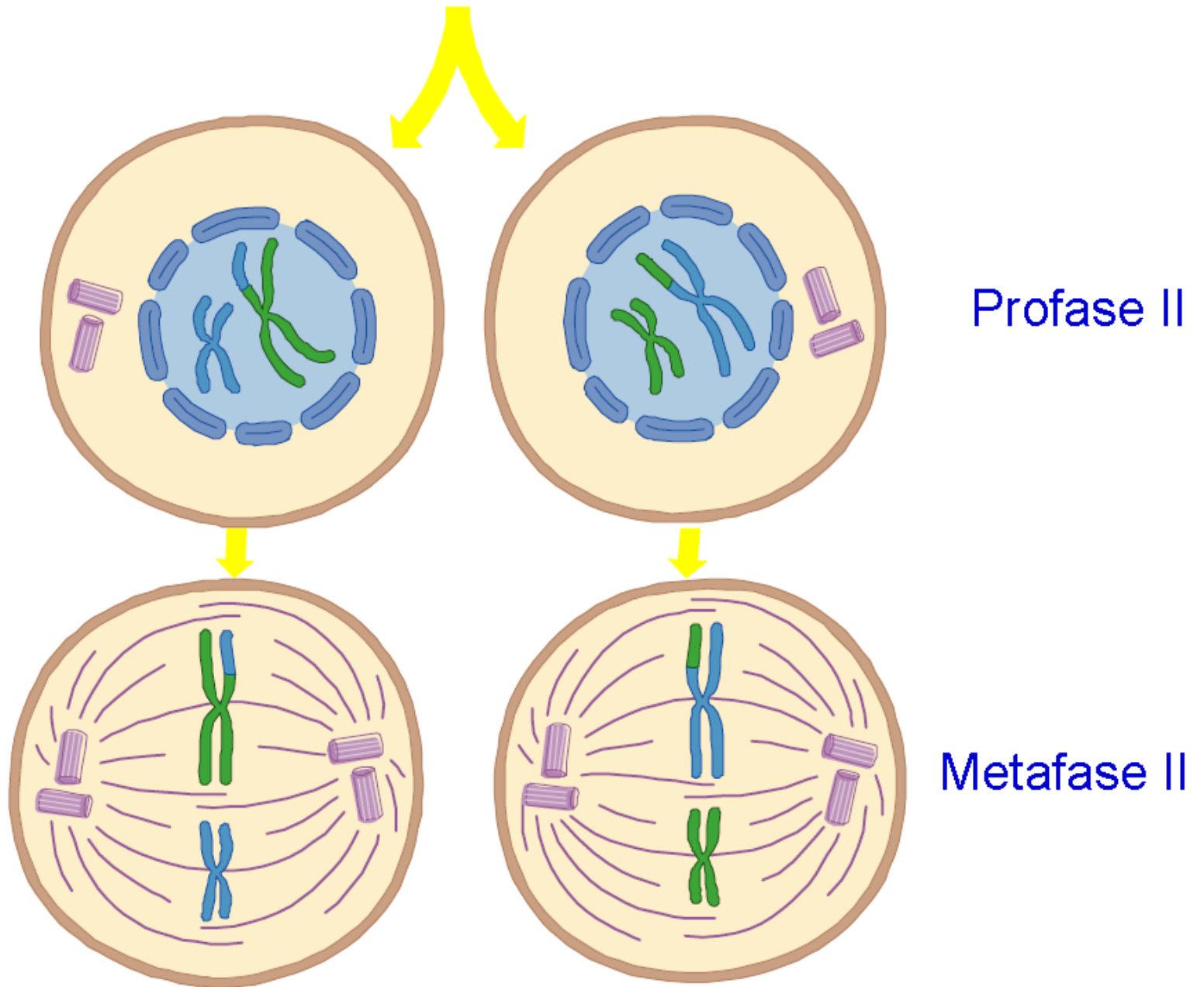
3. Anafase II – i microtubuli si accorciano, rompono il centromero e muovono i cromatidi fratelli ai poli opposti.

4. Telofase II – si riformano le membrane nucleari intorno ai quattro gruppi di cromosomi fratelli.

Meiosi II : divisione equazionale

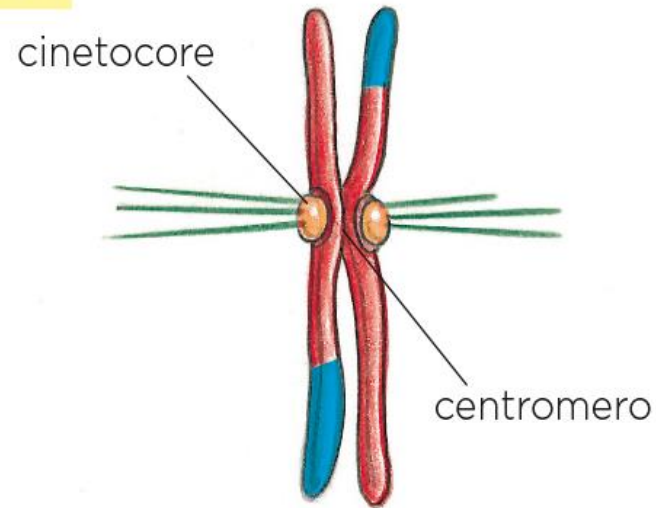


MEIOSI II



METAFASE II

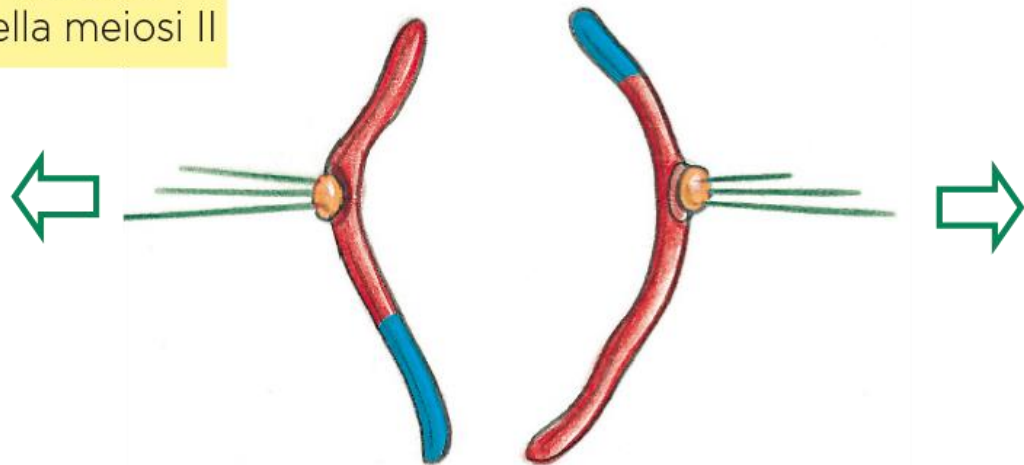
(A) metafase della meiosi II



LE COESINE DEL CENTROMERO SONO DEGRADATE; I CROMATIDI FRATELLI SI SEPARANO

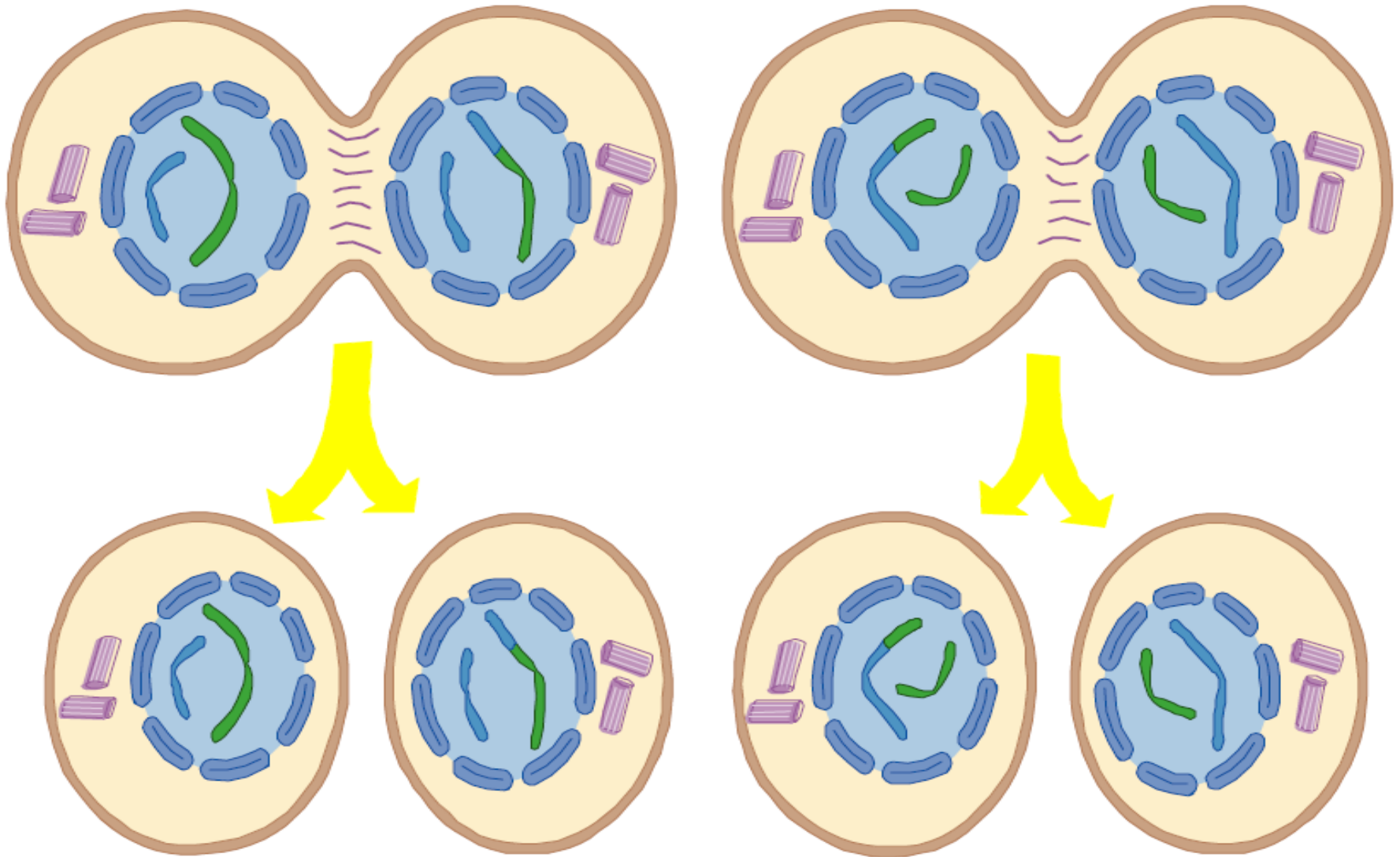
ANAFASE II

(B) anafase della meiosi II

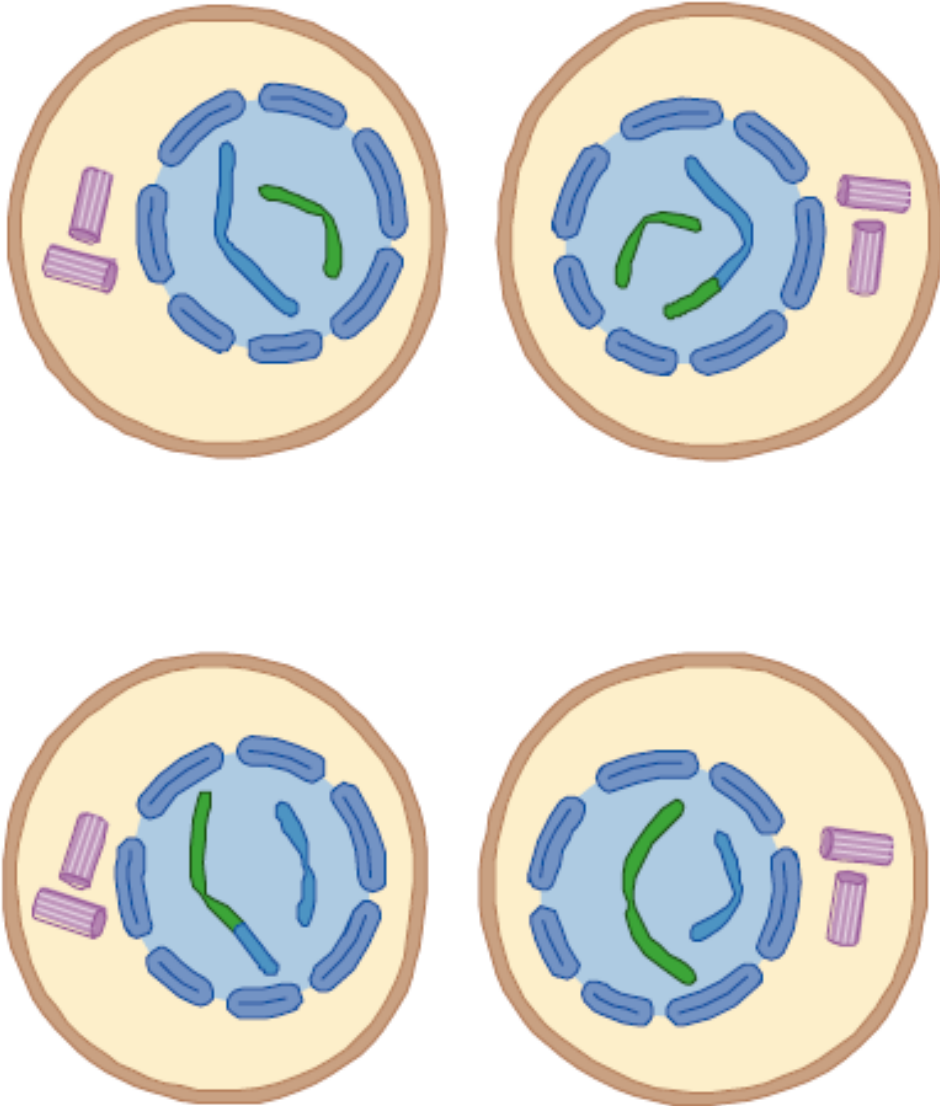


TELOFASE II

Quattro gameti aploidi: una sola copia di ciascun cromosoma



Risultato della MEIOSI



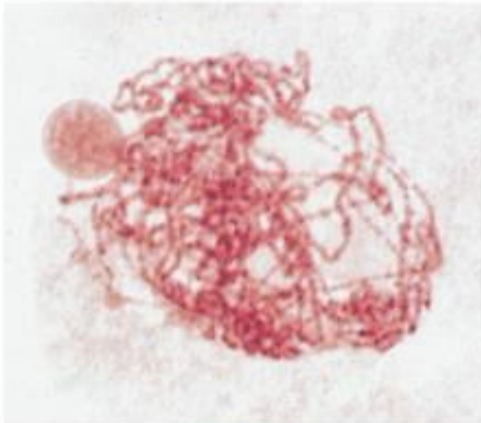
La meiosi II produce 4 cellule aploidi (**gameti**) con una copia di ciascun tipo di cromosoma e così una copia di ciascun gene

- Un allele di ciascun gene
- Differenti combinazioni di alleli di geni diversi

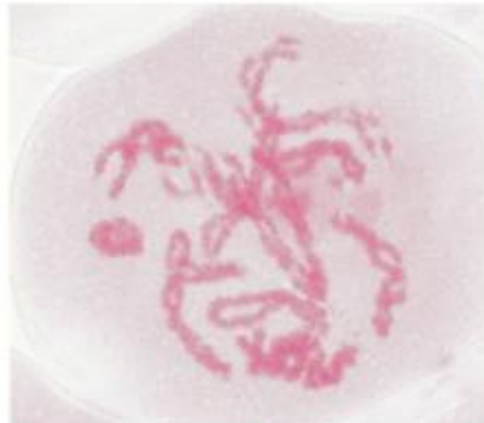
RIASSUNTO MEIOSI I

MEIOSI I

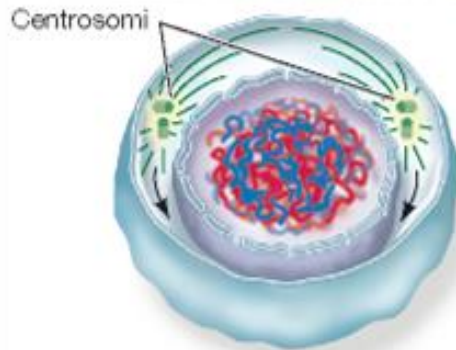
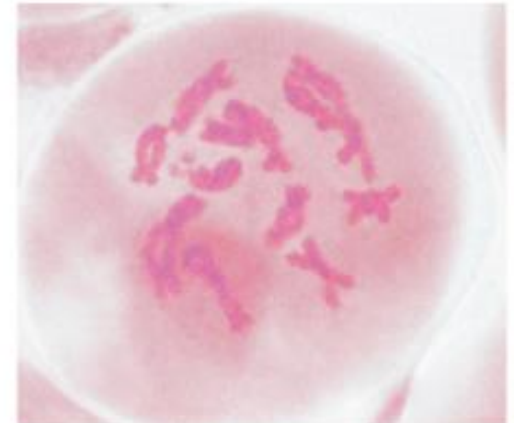
Profase I iniziale



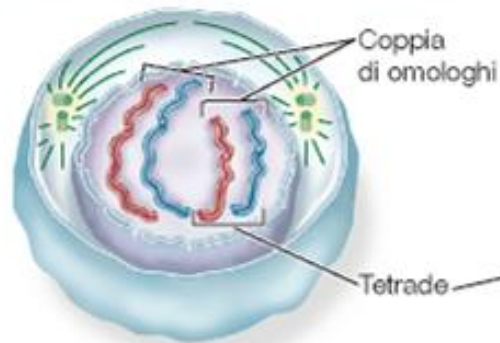
Profase I intermedia



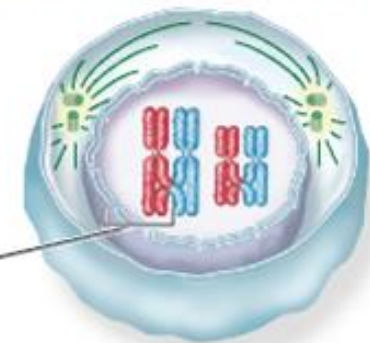
Tarda profase I-prometafase



1 Dopo l'interfase la cromatina comincia a condensarsi.



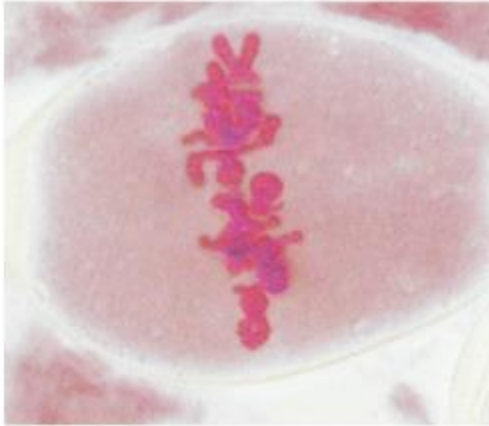
2 Le sinapsi tengono uniti gli omologhi e i cromosomi si condensano ancora.



3 I cromosomi continuano a condensarsi e ad accorciarsi. Il crossing-over porta allo scambio di materiale genetico. Durante la prometafase l'involucro nucleare si frammenta.

RIASSUNTO MEIOSI I

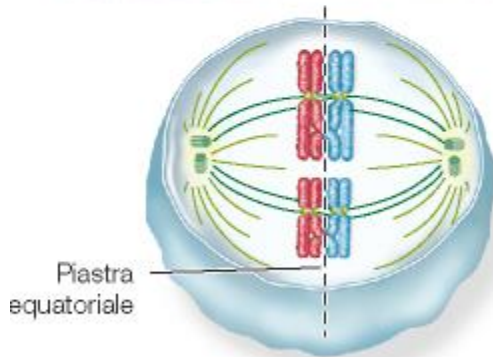
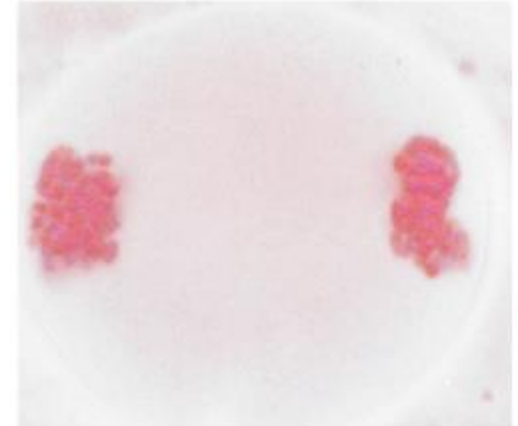
Metafase I



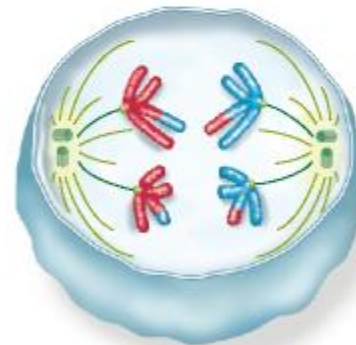
Anafase I



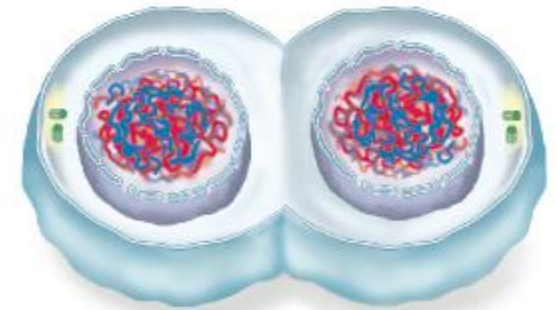
Telofase I



4 Le coppie di omologhi si allineano sul piano equatoriale (metafase).



5 I cromosomi omologhi (ciascuno formato da due cromatidi) si muovono verso i poli opposti della cellula.

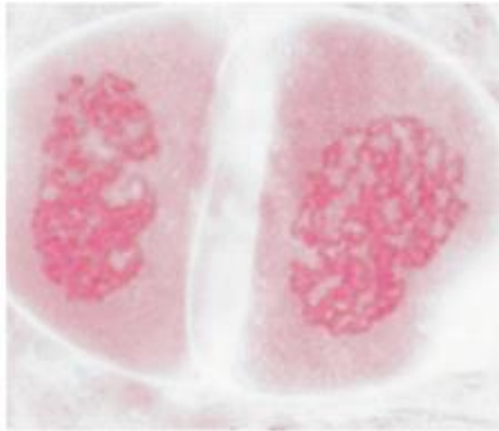


6 I cromosomi segregano all'interno dei nuclei e la cellula d'origine si divide.

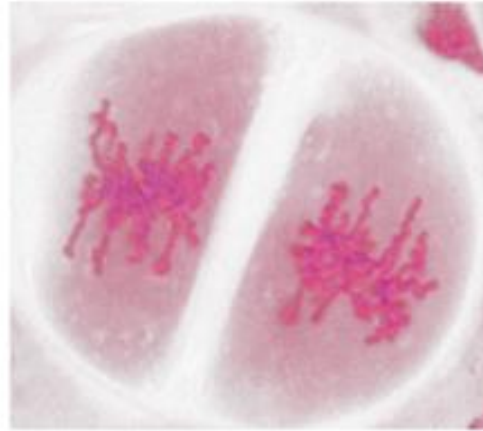
RIASSUNTO MEIOSI II

MEIOSI II

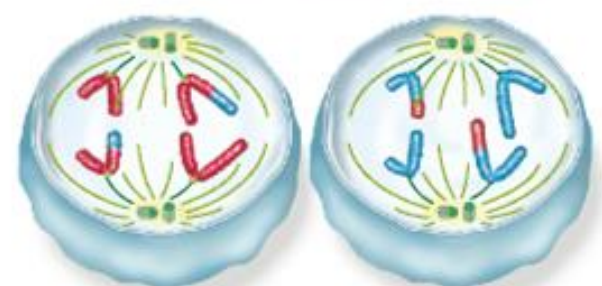
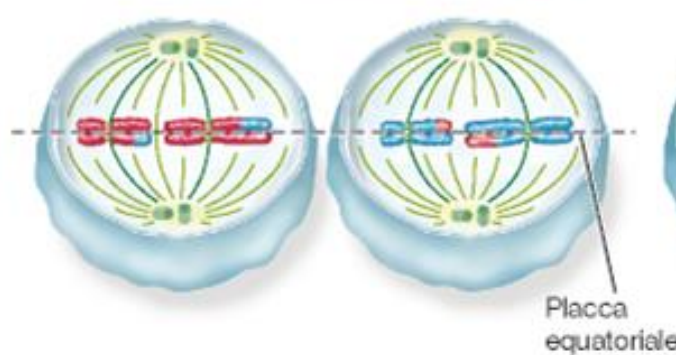
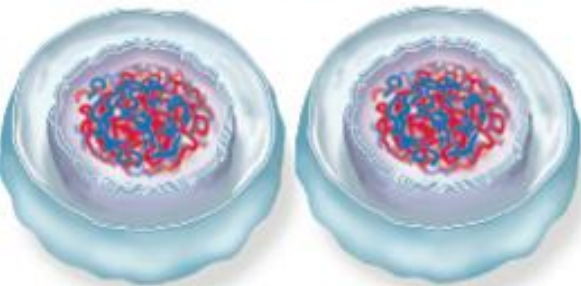
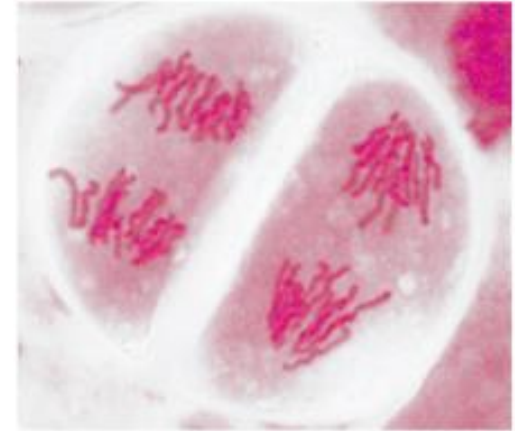
Profase II



Metafase II



Anafase II



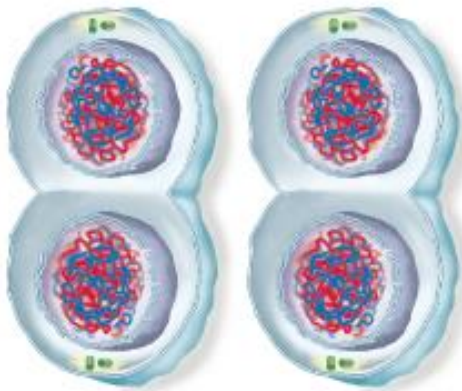
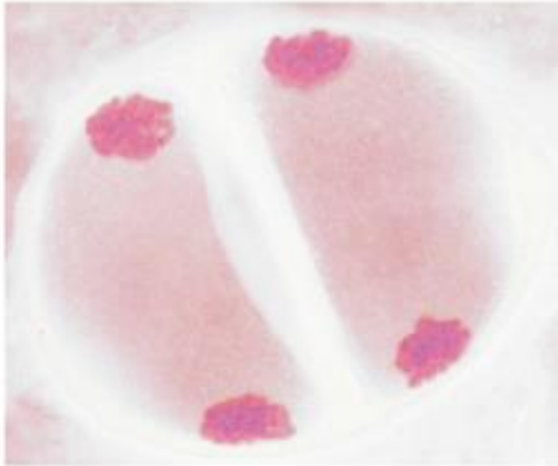
7 Dopo una breve interfase (intercinesi), durante la quale il DNA non si duplica, i cromosomi si condensano di nuovo.

8 I centromeri delle coppie di cromatidi si allineano sul piano equatoriale di ciascuna cellula.

9 Alla fine i cromatidi si separano e diventano cromosomi a tutti gli effetti, migrando verso i poli opposti. A seguito del crossing over durante la profase I, ogni nuova cellula contiene un patrimonio genetico differente.

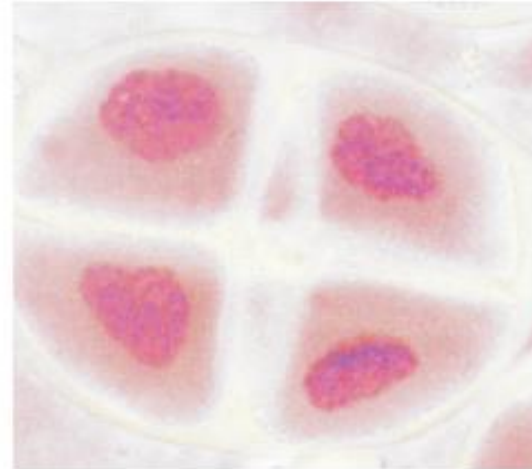
RIASSUNTO MEIOSI II

Telofase II



10 I cromosomi segregano dentro i nuclei e le cellule si separano.

Prodotti



11 Ognuna delle quattro cellule ha un nucleo con un corredo aploide di cromosomi.

CONFRONTO MITOSI - MEIOSI

MITOSI

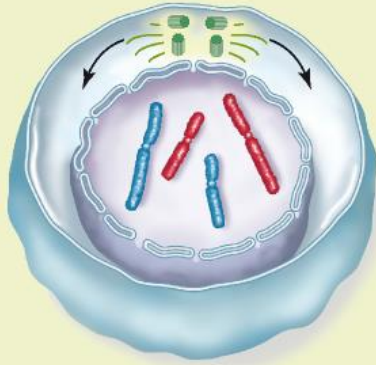
- Funzione
 - Riproduzione asexuata negli organismi unicellulari, pochi casi in pluricellulari
 - Crescita e riparo
- Avviene nelle cellule somatiche
- Produce cloni

MEIOSI

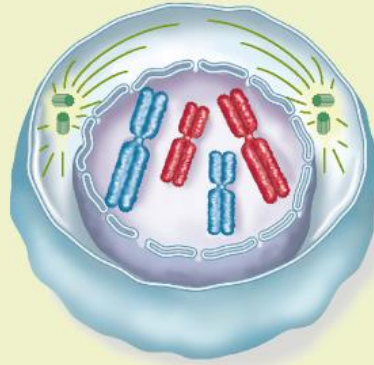
- Funzione
 - Riproduzione sessuata
- Avviene nelle cellule germinali
- Produce variabilità nella progenie

MITOSI

Cellula parentale ($2n$)

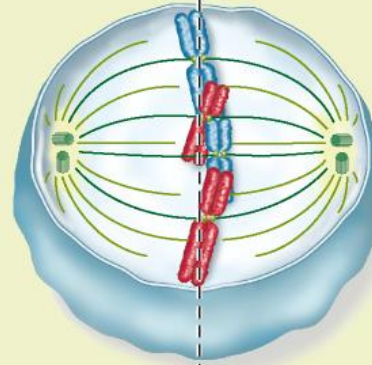


Profase



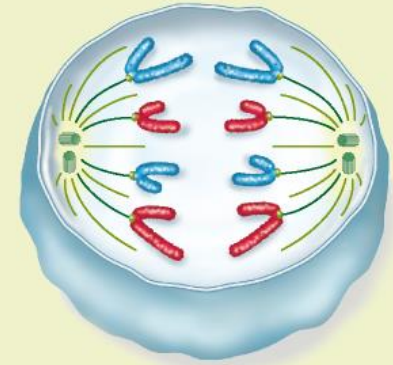
1 Non c'è sinapsi di cromosomi omologhi.

Metafase



2 I singoli cromosomi si allineano sulla piastra equatoriale

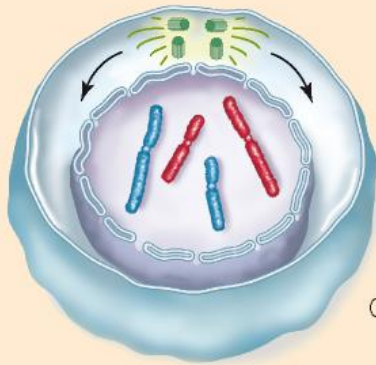
Anafase



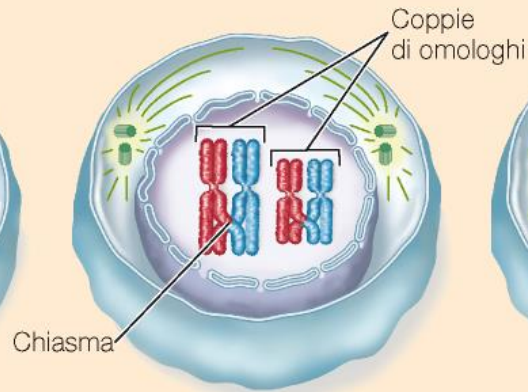
3 I centromeri si separano, i cromatidi fratelli si separano durante l'anafase, divenendo cromosomi figli.

MEIOSI

Cellula parentale ($2n$)

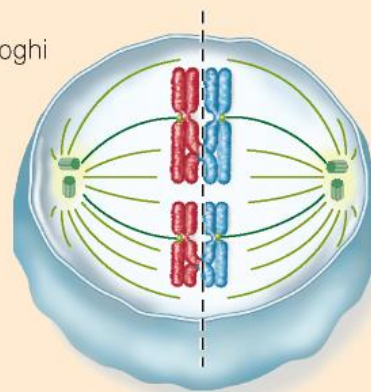


Profase I



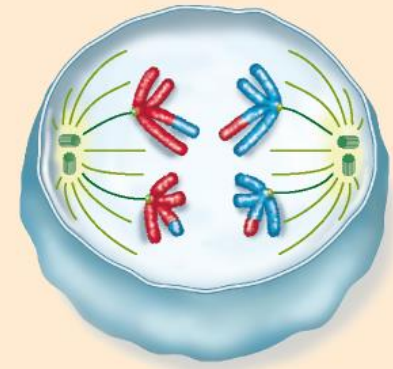
1 Sinapsi e crossing-over fra omologhi.

Metafase I



2 Le coppie di omologhi si allineano sul piano equatoriale.

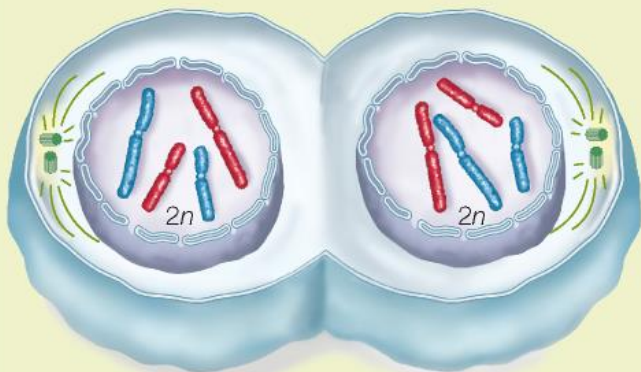
Anafase I



3 I centromeri non si separano; i cromatidi fratelli rimangono uniti durante l'anafase; si separano gli omologhi; il DNA non si replica prima della profase II.

MITOSI

Due cellule figlie (ciascuna $2n$)



La mitosi è un meccanismo che assicura costanza genetica: il nucleo di partenza produce due nuclei identici.

- **MITOSI**

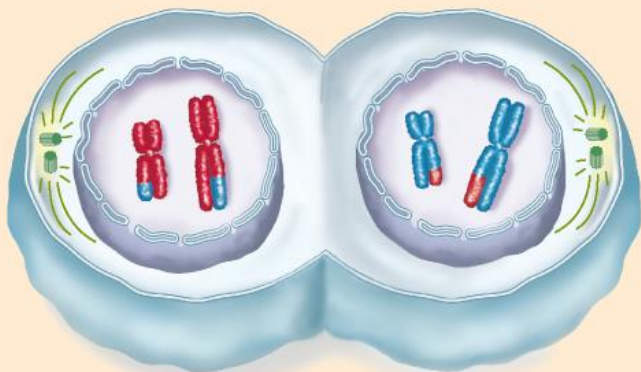
- Produce 2 cellule figlie diploidi
- Ciascuna identica alla cellula madre

- **MEIOSI**

- Produce quattro cellule aploidi
- Differiscono dalla cellula madre e tra di loro

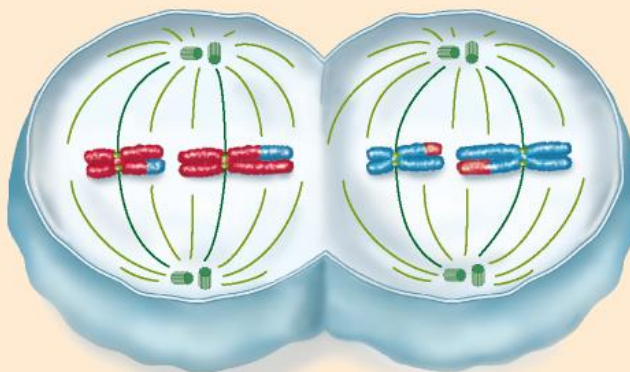
MEIOSI

Telofase I



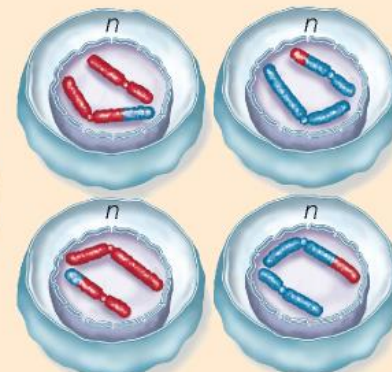
Alla fine della telofase I, i due cromosomi omologhi si separano l'uno dall'altro.

Metafase II



Questo stadio è simile alla metafase mitotica, ma adesso ogni cellula è aploide.

Quattro cellule figlie (ognuna n)



La meiosi assicura diversità genetica: il nucleo di partenza dà luogo a quattro nuclei aploidi diversi.

CONFRONTO

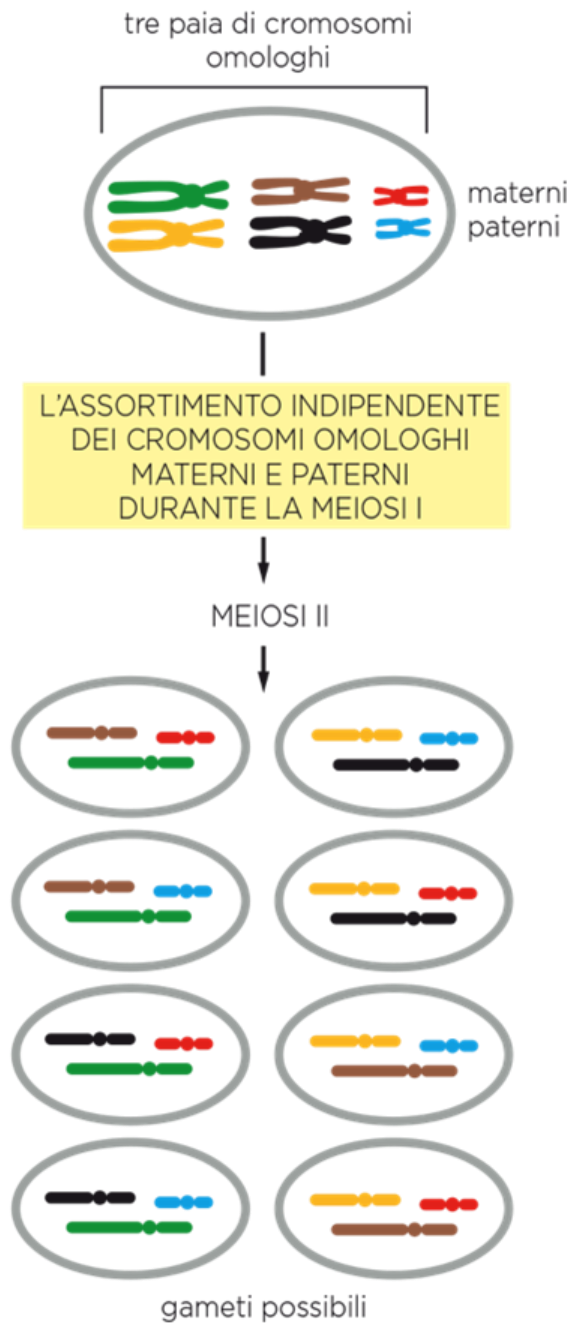
	Mitosi	Meiosi
Numero di divisioni	1	2
Numero di cellule figlie	2	4
Geneticamente identiche?	Si	No
Cromosomi #	Lo stesso della cellula madre	Metà della cellula madre
Dove	Cellule somatiche	Cellule della linea germinale
Quando	Tutta la vita	Maturità sessuale
Ruolo	Crescita e riparo	Riproduzione sessuata

RIPRODUZIONE SESSUATA

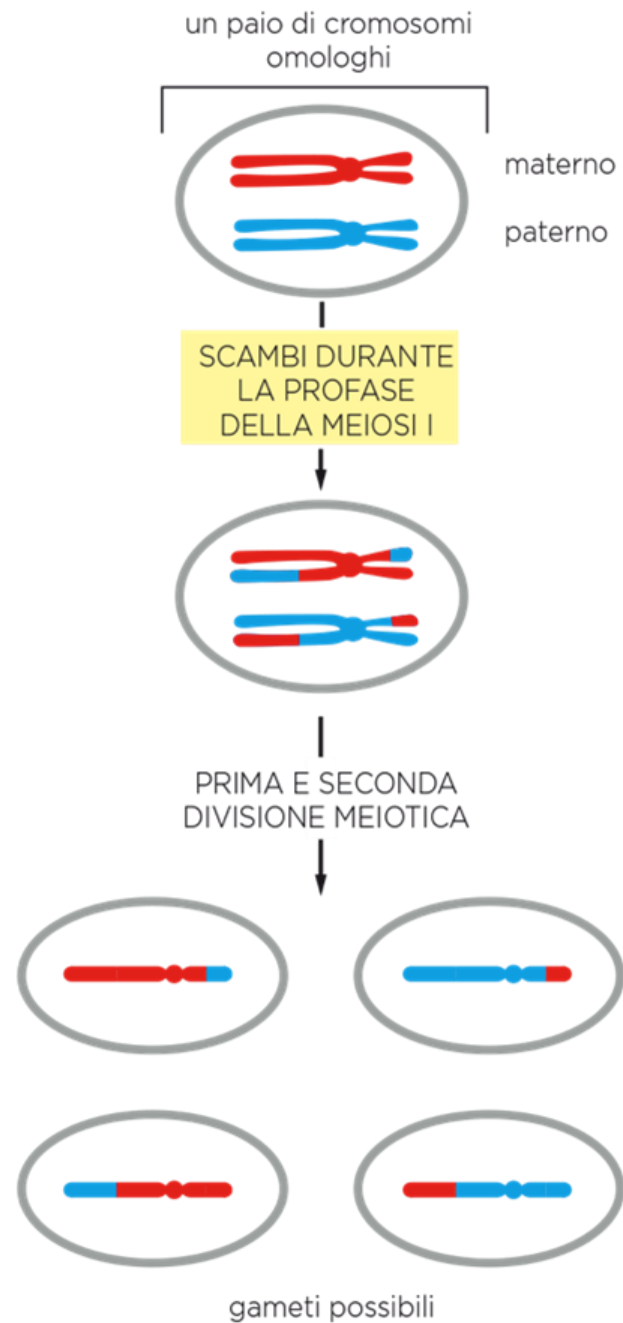
- Comporta
 - La **meiosi**
 - La **produzione dei gameti**
 - La **fecondazione**
- Attraverso la riproduzione sessuata la progenie eredita **nuove combinazioni alleliche** che porta alla variabilità dei caratteri
- Causa **variabilità genetica** tra la progenie
- Questa variabilità è la **base degli adattamenti evolutivi**

I fattori che contribuiscono alla variabilità nella riproduzione sessuata

- Il **crossing over** alla profase I
- La disposizione casuale delle coppie di cromosomi omologhi alla metafase I
- La combinazione casuale dei gameti maschile e femminile alla fecondazione



(A)



(B)

Assortimento indipendente delle diverse coppie di omologhi

La combinazione nei gameti di cromosomi di origine paterna e materna è casuale.

Nella specie umana: $2n = 46$

Nella specie umana ci sono, nei gameti, 23 cromosomi

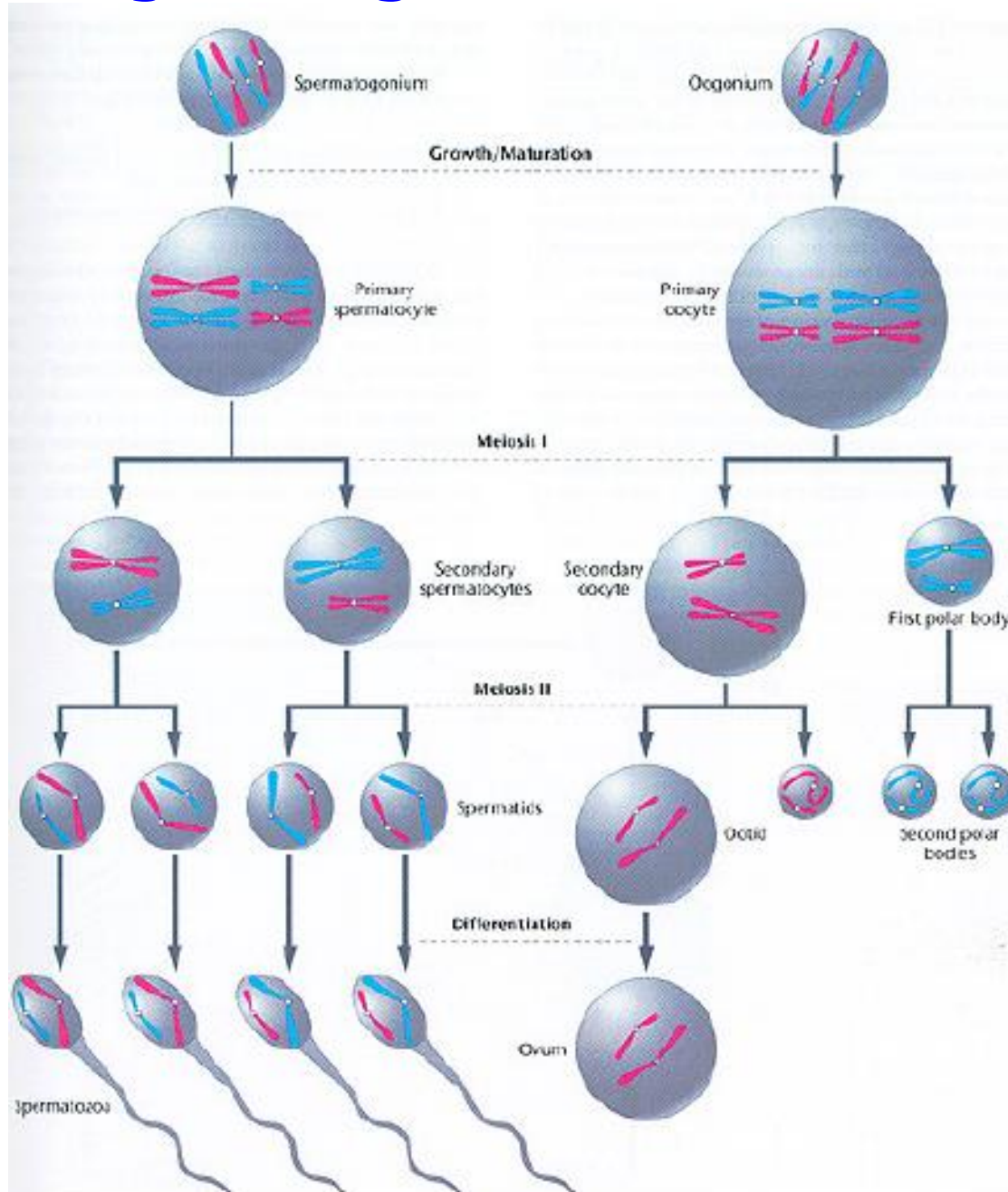
- Le combinazioni possibili nei **gameti**:

$$2^{23} = \sim \mathbf{8 \text{ milioni}}$$

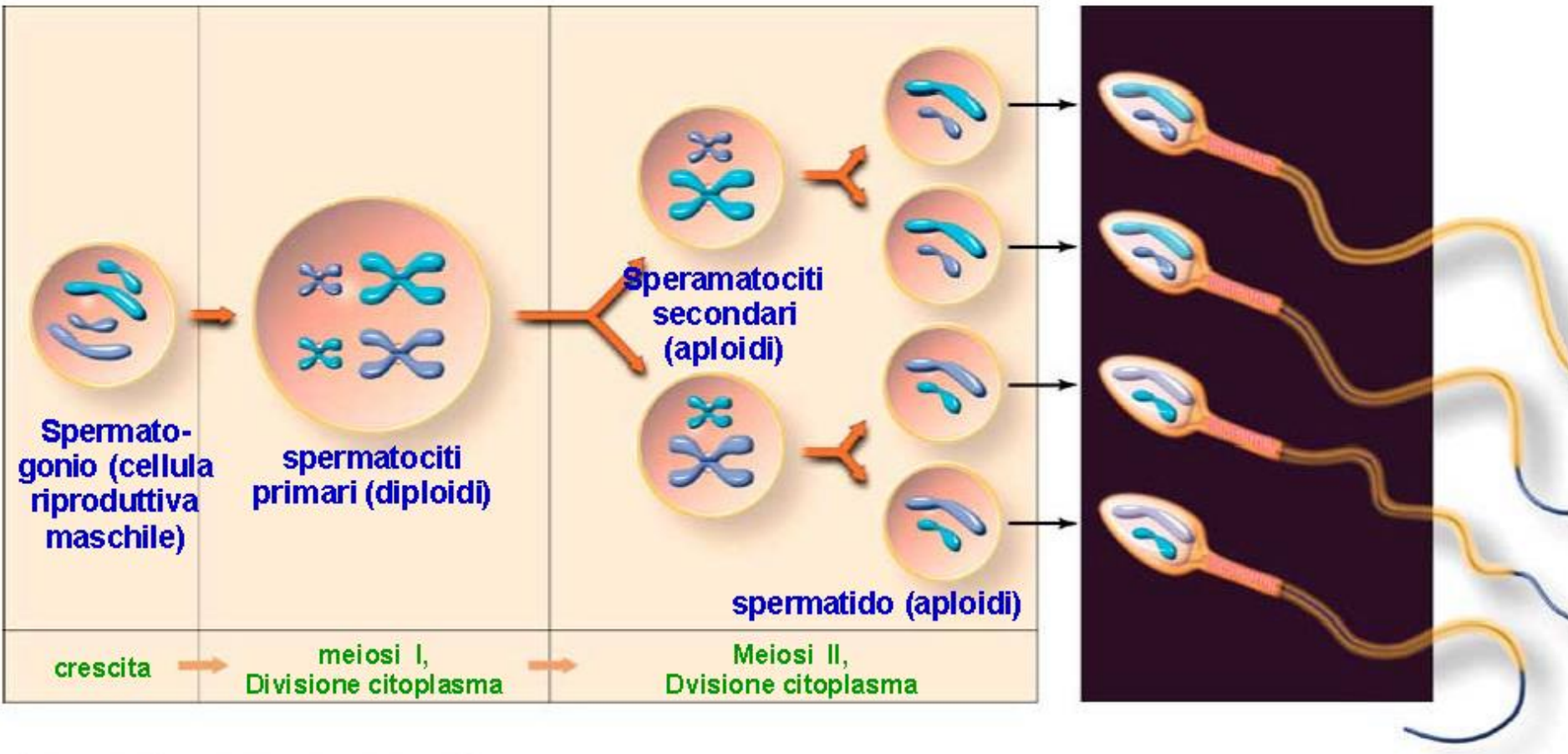
- Le combinazioni possibile nella **progenie**:

$$2^{23} \times 2^{23} = \sim \mathbf{70 \text{ mila miliardi}}$$

Meiosi e gametogenesi maschile e femminile

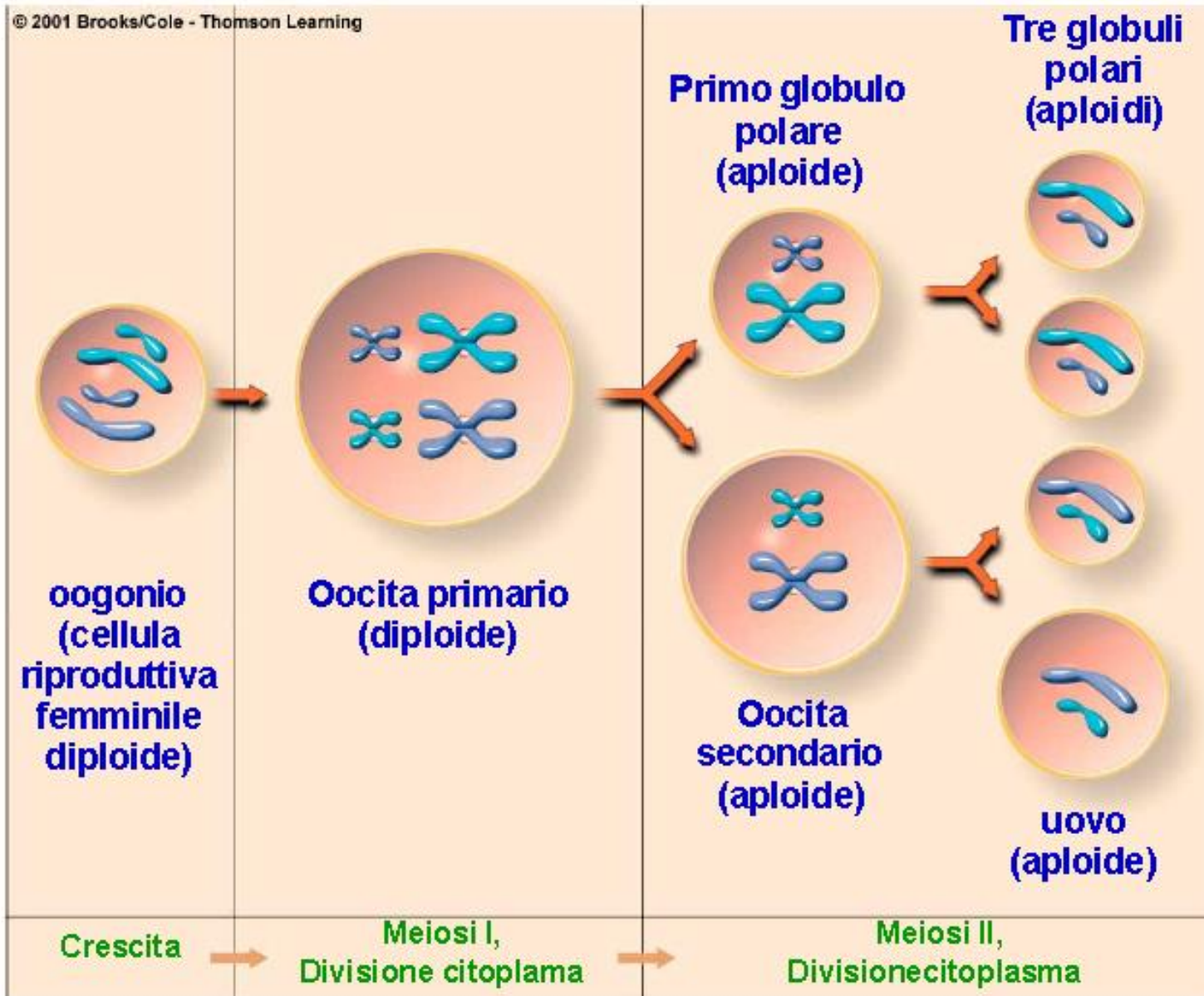


SPERMATOGENESI



OOGENESI

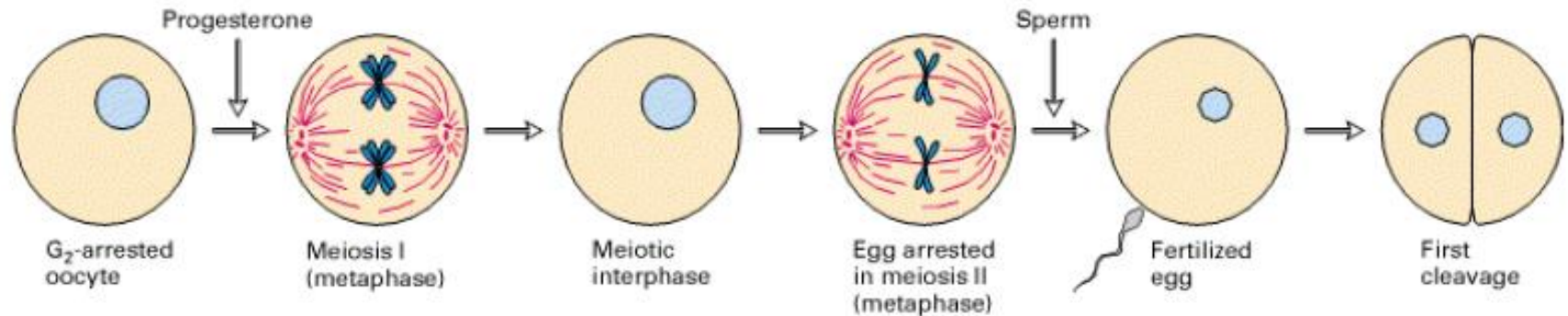
© 2001 Brooks/Cole - Thomson Learning



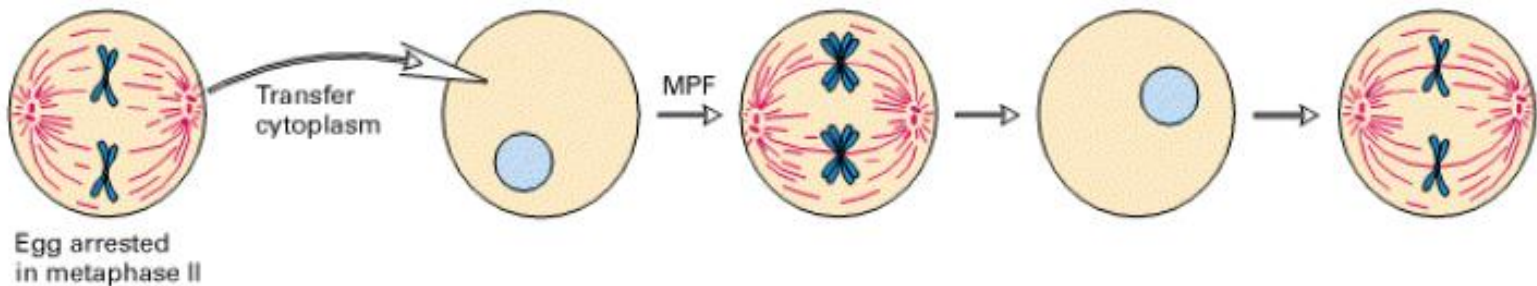
La meiosi nell'ovocita è interrotta due volte:

- ❖ in **profase I** (dal periodo prenatale all'ovulazione)
- ❖ in **metafase II** (in attesa della fecondazione).

(a) Oocyte maturation in vitro



(b) Assay for MPF

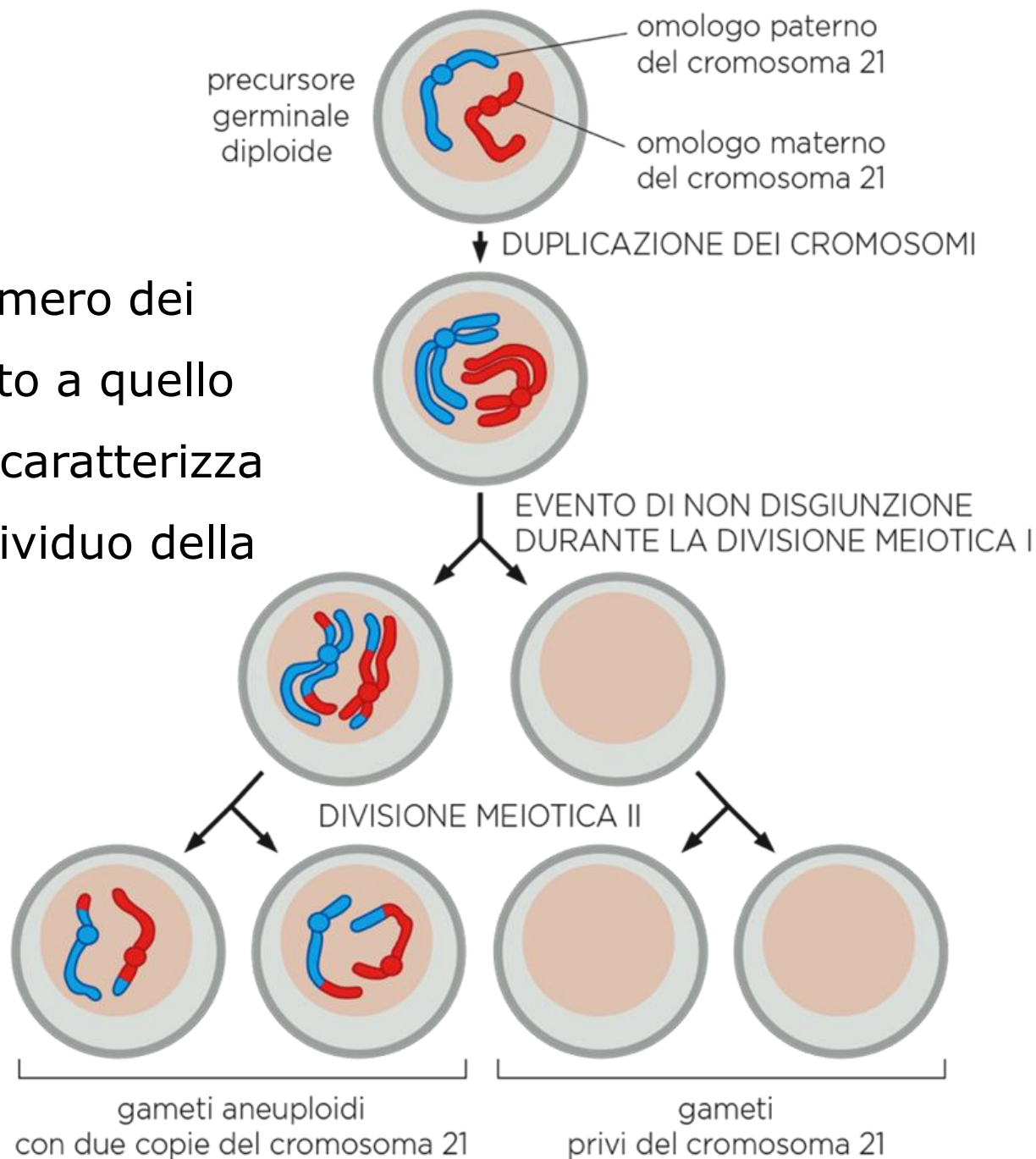


L'attività **MPF** è indispensabile per la ripresa.

MPF: Maturation promoting factor - fattore che promuove la maturazione

ANEUPLOIDIA

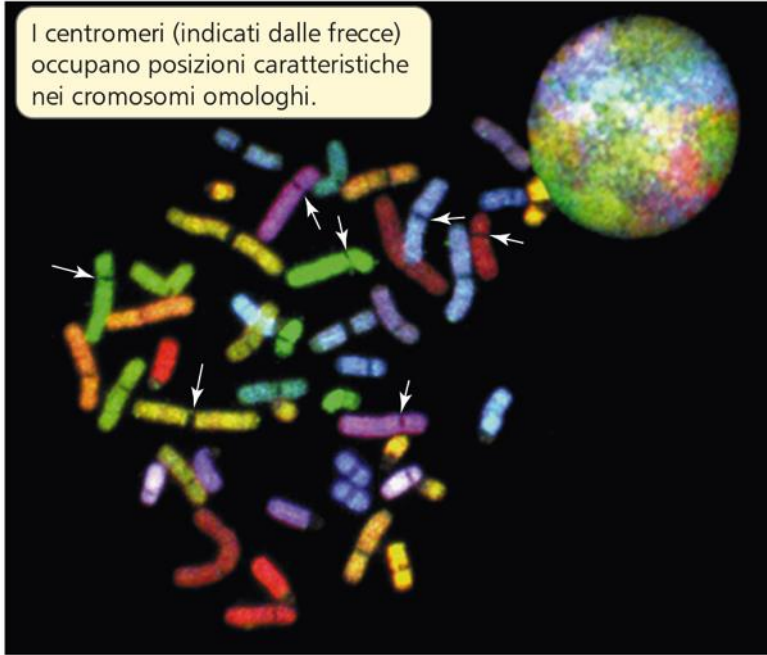
Alterazione nel numero dei cromosomi, rispetto a quello che normalmente caratterizza le cellule di un individuo della stessa specie



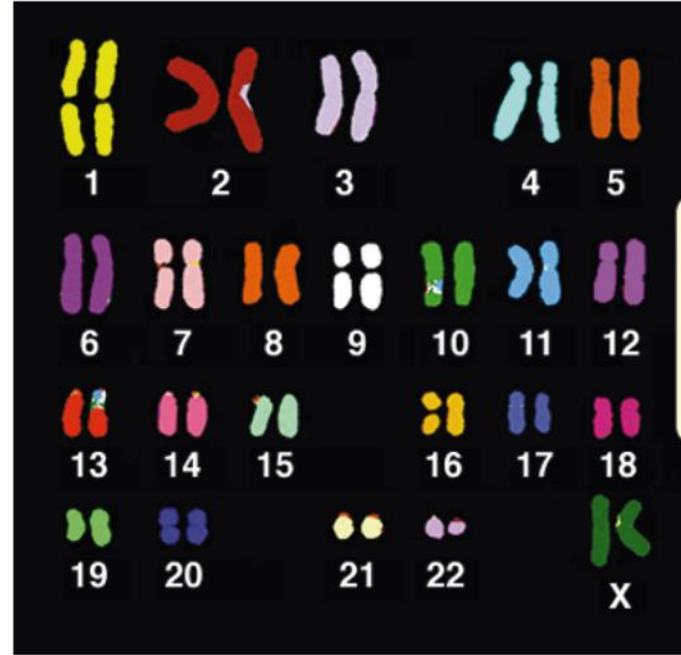
CARIOGRAMMA

A

I centromeri (indicati dalle frecce) occupano posizioni caratteristiche nei cromosomi omologhi.



B

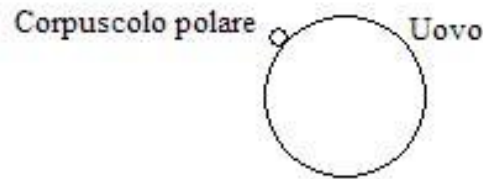


L'uomo ha 23 coppie di cromosomi, inclusi quelli sessuali. I cromosomi sessuali di questa femmina sono X e X; un maschio avrebbe un cromosoma X e uno Y.

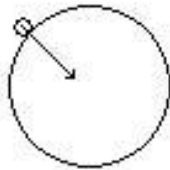
PARTENOGENESI

Tipo di riproduzione sessuale caratterizzato dal fatto che la cellula-uovo si sviluppa senza essere stata fecondata.

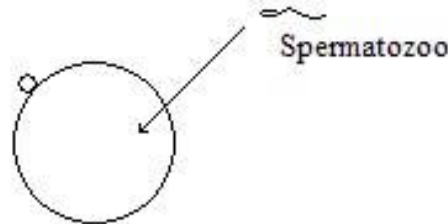
A) Durante la sua maturazione, l'uovo espelle il corpuscolo polare, dal corredo n .



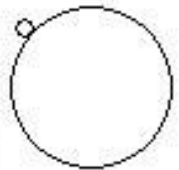
B1) Il corpuscolo polare si fonde con l'uovo, che diviene $2n$.



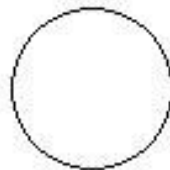
B2) Si ha fecondazione dell'uovo da parte di uno spermatozoo; la cellula prodotta ha corredo $2n$.



B3) Né B1 né B2 sussistono; l'uovo procede nel suo sviluppo con corredo n .

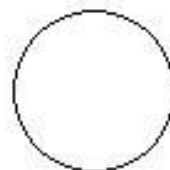


C1) Si produce una femmina adulta.



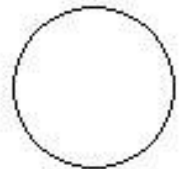
P

C2) Si produce una femmina adulta.



N

C3) Si produce un maschio adulto.



P

N.B.: Le vie 1 e 3 sono di tipo partenogenetico.