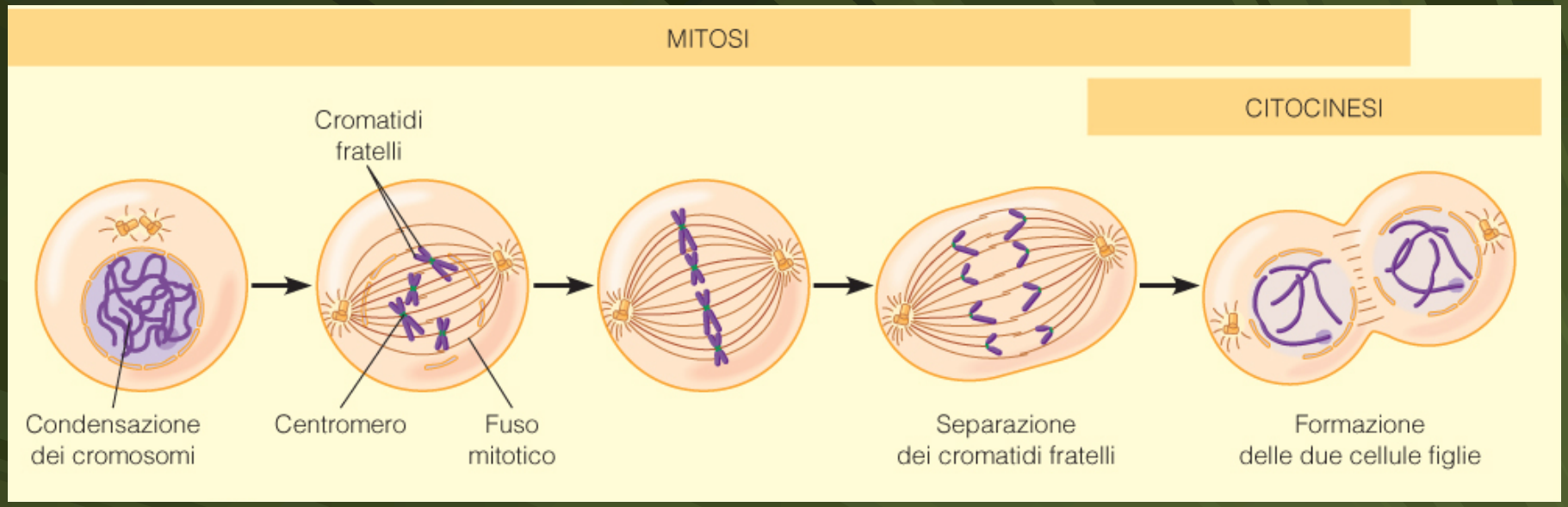
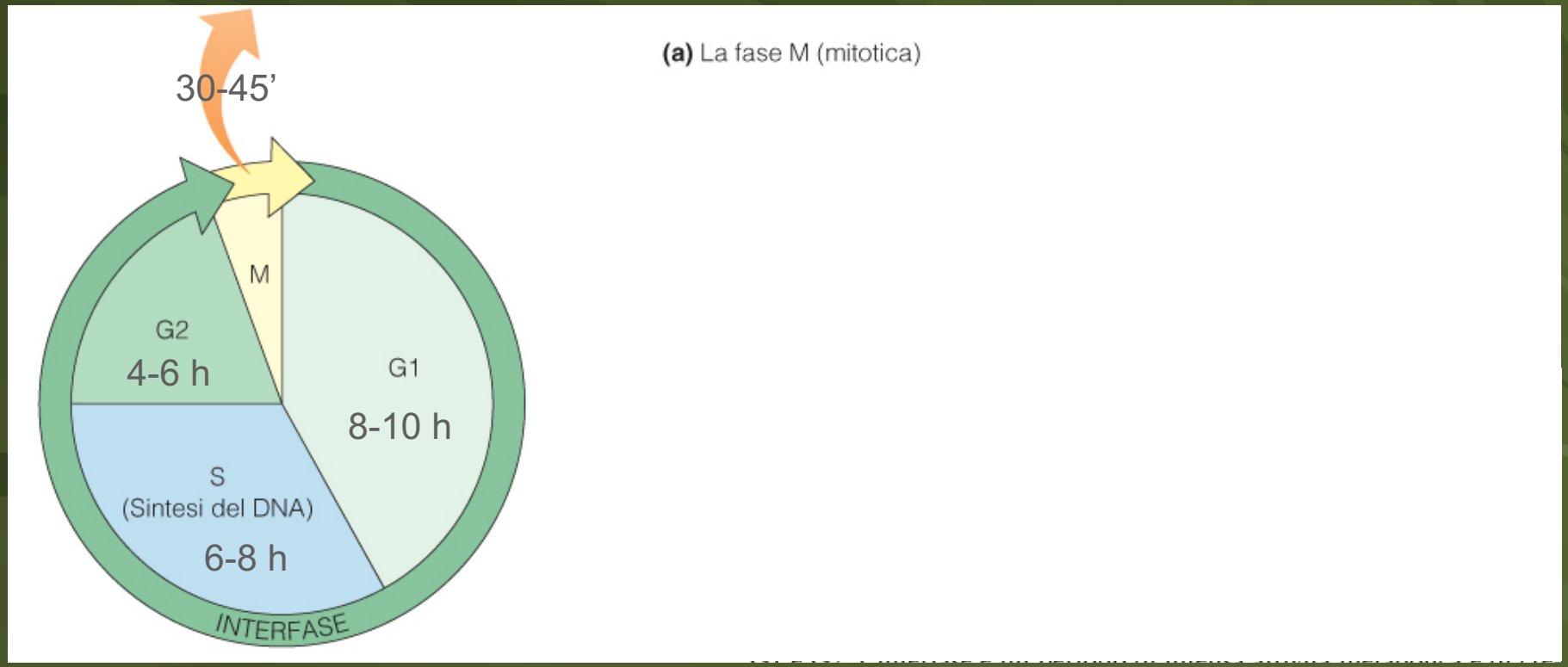
La mitosi e la meiosi

Prof.ssa Maria De Falco
Dipartimento di Biologia
madefalco@unina.it


MITOSI
CITOCINESI
Cromatidi fratelli
Condensazione dei cromosomi
Centromero
Fuso mitotico
Separazione dei cromatidi fratelli
Formazione delle due cellule figlie

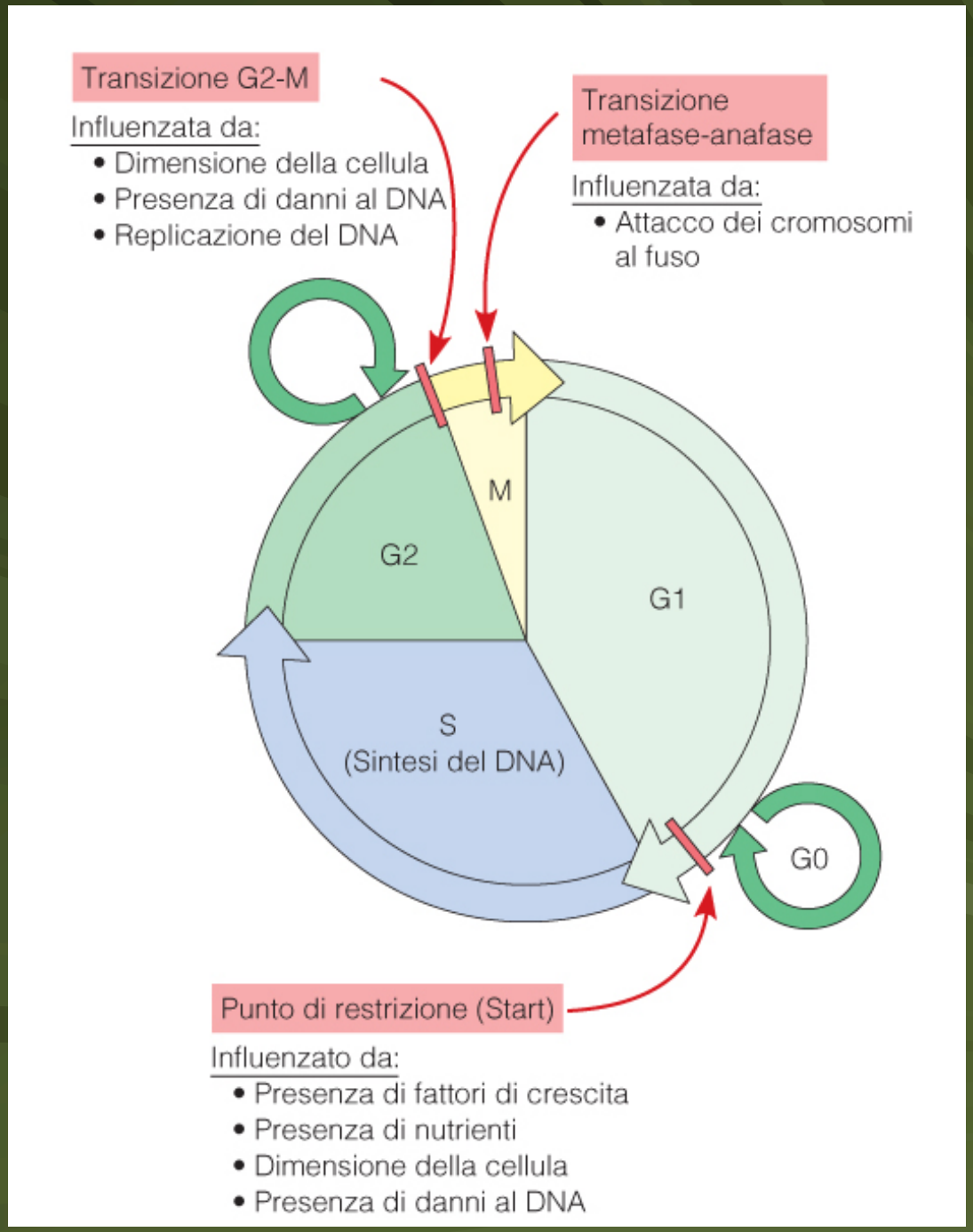

(a) La fase M (mitotica)
30-45'
M
G2
4-6 h
G1
8-10 h
S
(Sintesi del DNA)
6-8 h
INTERFASE

Fase

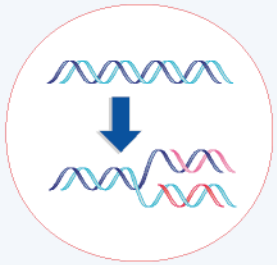
Specie	M	G_1	S	G_2	Totale
Criceto (fibroblasti)	15 min	2,7 h	5,8 h	2,1 h	11 h
Topo (fibroblasti)	9 min	9,1 h	9,9 h	2,3 h	22 h
HeLa	12 min	24 h	7 h	3,5 h	35 h
Tetrahymena (protozoi)	30 min	51 min	39 min	1,75 h	3,6 h
Zea mays	4 h	4 h	9 h	5 h	19,5 h

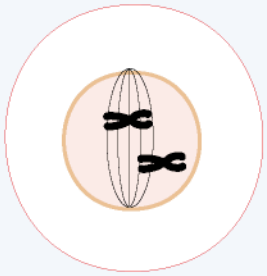
Categorie cellulari

- CELLULE LABILI: cellule che possiedono normalmente un livello relativamente alto di attività mitotica: spermatogoni, cellule staminali emopoietiche, cellule epiteliali.
- CELLULE STABILI: cellule che normalmente non si dividono, ma che possono essere indotte a dividersi in seguito ad un appropriato stimolo: epatociti, linfociti.
- CELLULE PERENNI: cellule che possiedono una estrema specializzazione strutturale che hanno perso la capacità di dividersi: le cellule nervose, muscolari e i globuli rossi.

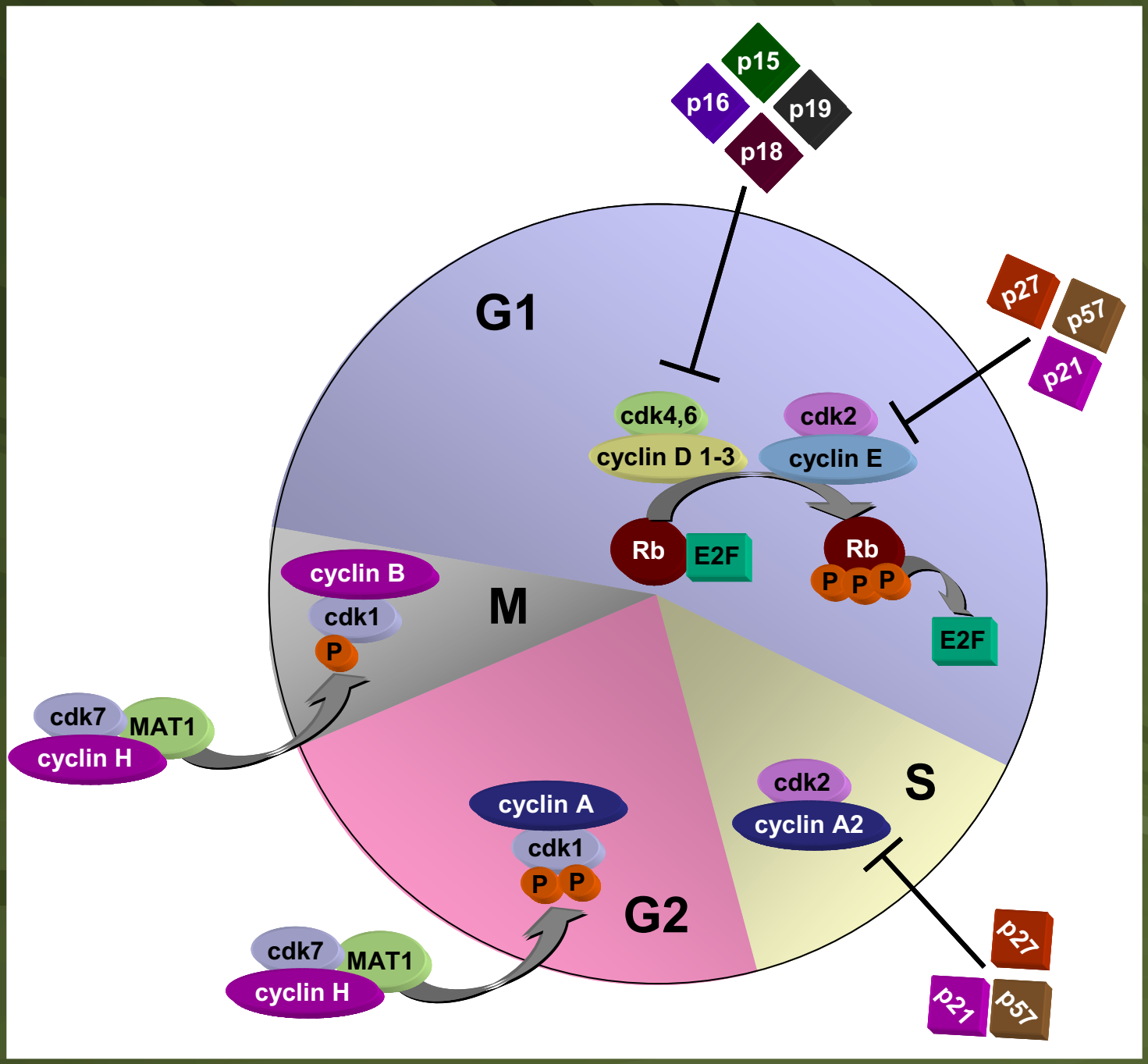

Transizione G2-M
Influenzata da:
• Dimensione della cellula
• Presenza di danni al DNA
• Replicazione del DNA
Transizione metafase-anafase
Influenzata da:
• Attacco dei cromosomi al fuso
M
G2
G1
S
(Sintesi del DNA)
G0
Punto di restrizione (Start)
Influenzato da:
• Presenza di fattori di crescita
• Presenza di nutrienti
• Dimensione della cellula
• Presenza di danni al DNA

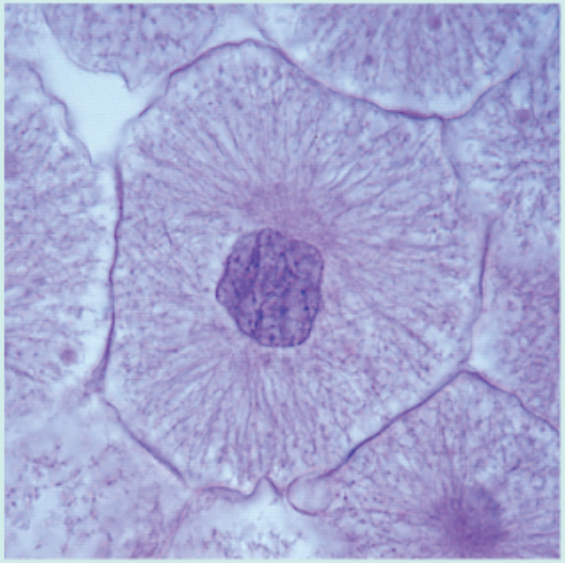
Il ciclo cellulare è provvisto di molti punti di controllo

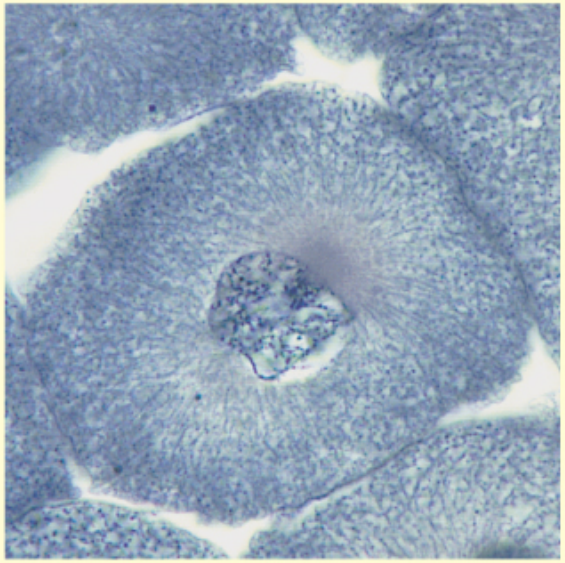


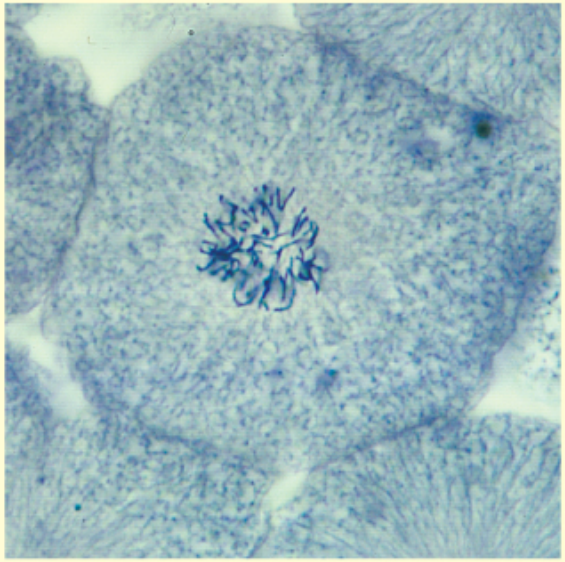


Arresto in	Risponde a
G1	DNA danneggiato
Fase S	DNA danneggiato o replicazione incompleta del DNA
G2	DNA danneggiato
Mitosi	Mancato attacco dei cinetocori

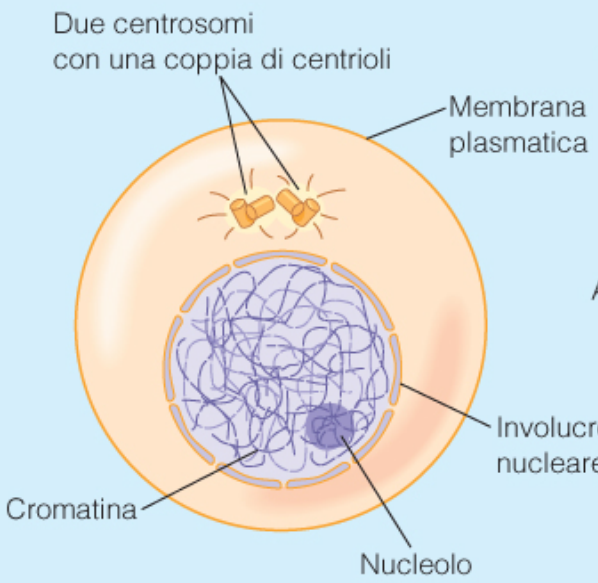

p15
p16
p19
p18
G1
p27
p57
p21
cdk4,6
cyclin D 1-3
cdk2
cyclin E
Rb
E2F
Rb
P P P
E2F
cyclin B
cdk1
P
M
cdk7
MAT1
cyclin H
cyclin A
cdk1
P P
G2
cdk2
cyclin A2
S
cdk7
MAT1
cyclin H
p27
p21
p57

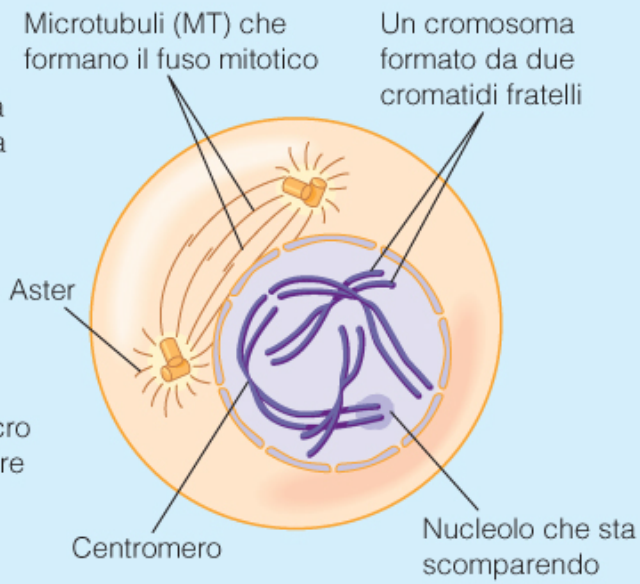




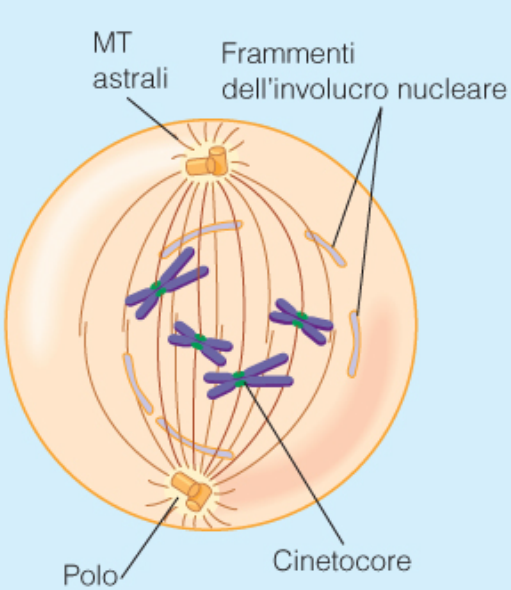


INTERFASE | PROFASE | PROMETAFASE

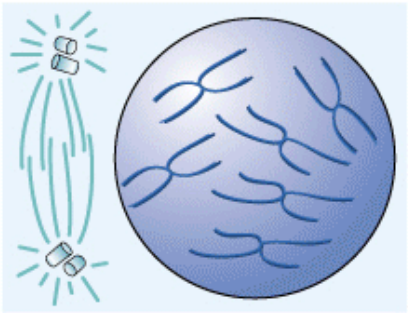
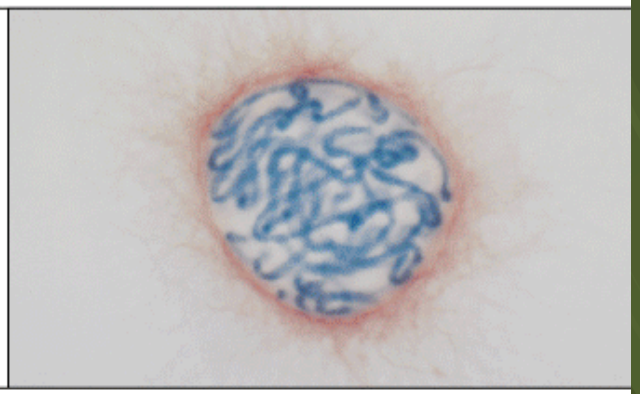
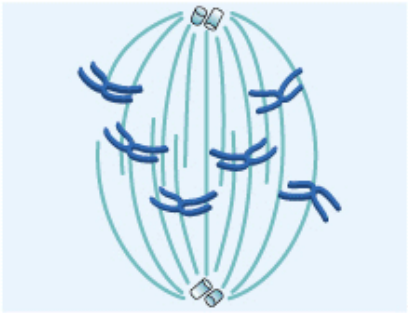
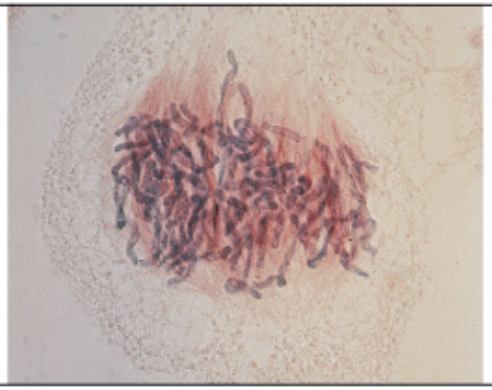


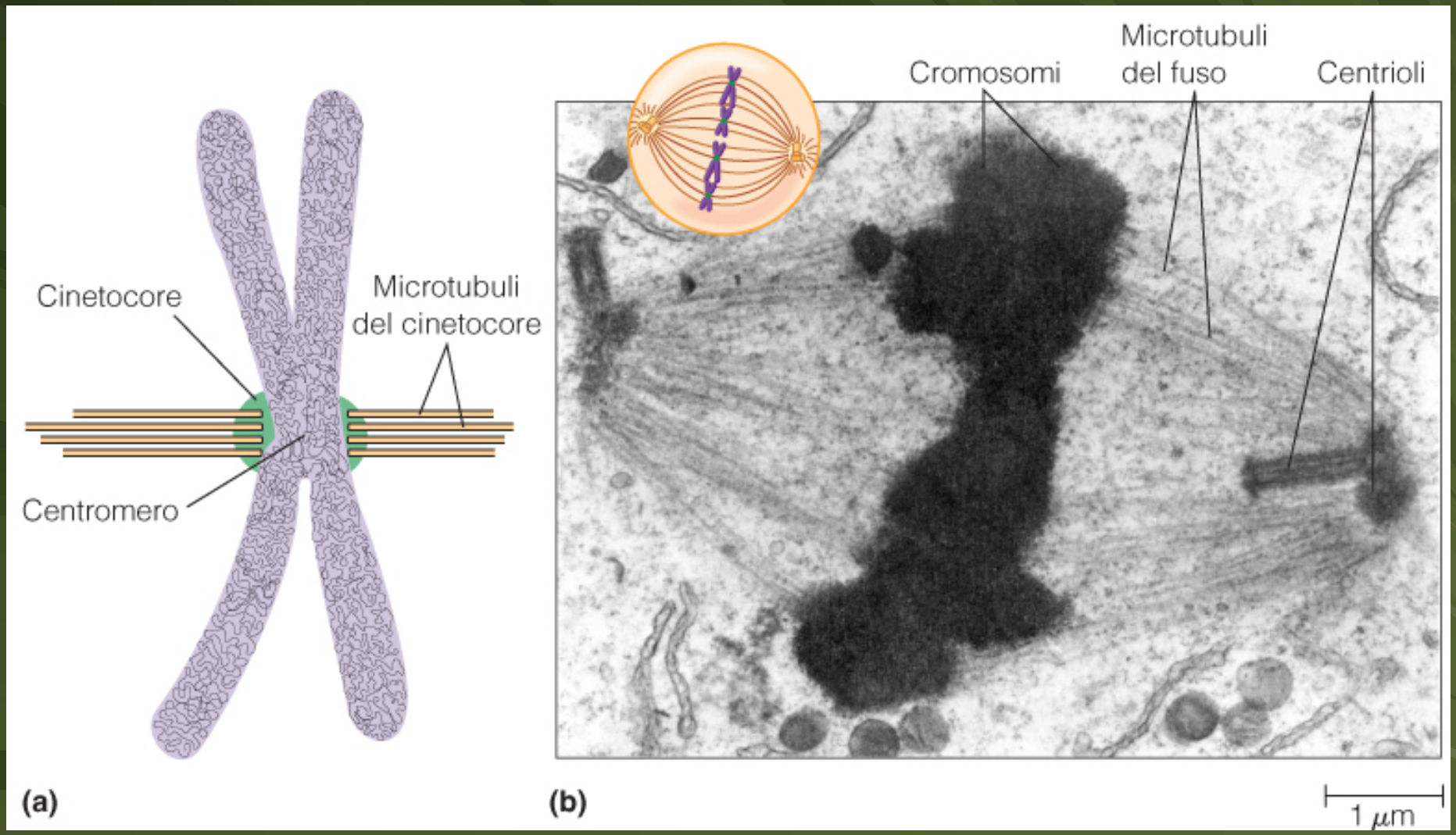


(a)

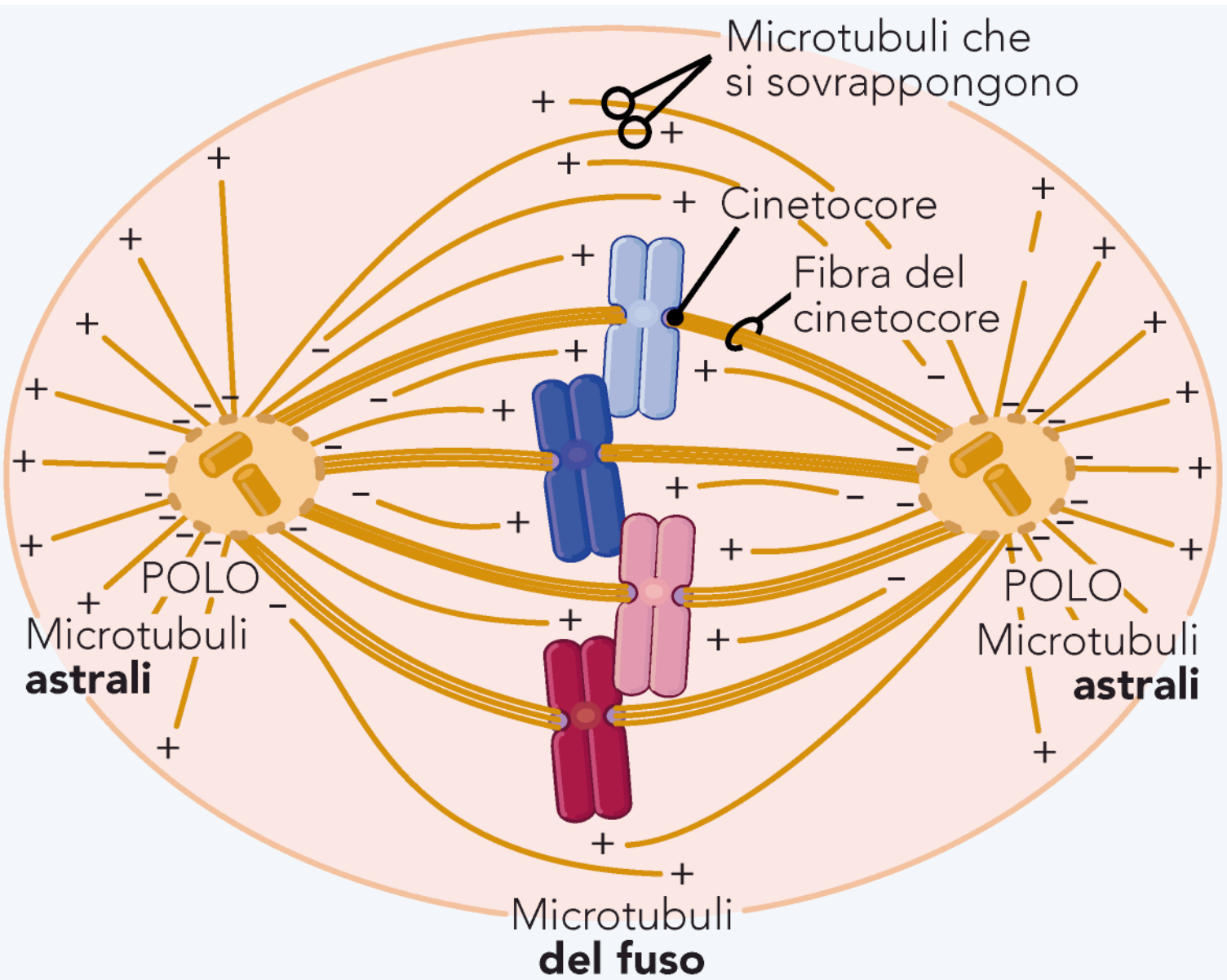


(b)

Profase		
1. Il materiale cromosomico si condensa per formare cromosomi mitotici compatti. I cromosomi sono costituiti da due cromatidi uniti fra loro a livello del centromero 2. Il citoscheletro scompare e si assembla il fuso mitotico 3. Il complesso di Golgi ed il RE si frammentano. L'involucro nucleare si disperde		
Prometafase		
1. I microtubuli cromosomici si collegano al cinetocore dei cromosomi 2. I cromosomi si muovono verso l'equatore del fuso		

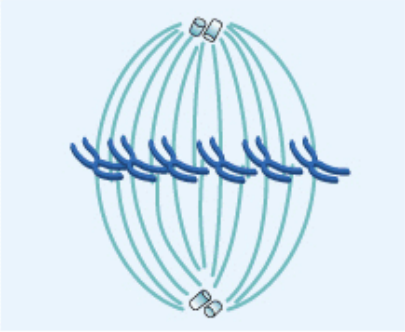

Cinetocore
Microtubuli
del cinetocore
Centromero
(a)
Cromosomi
Microtubuli
del fuso
Centrioli
(b)
1 μm

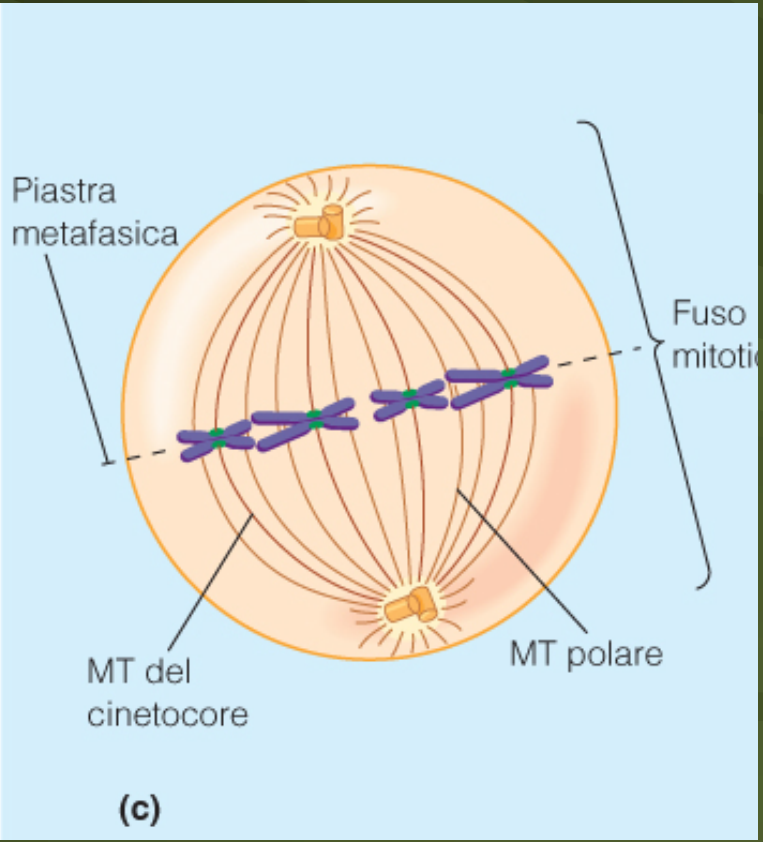
L'organizzazione dei microtubuli del fuso

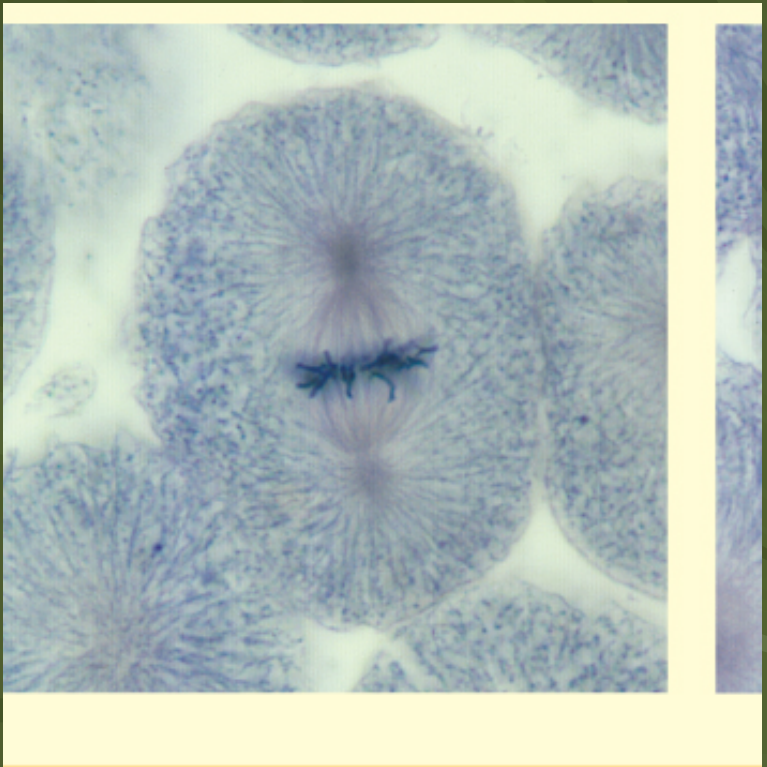


Metafase

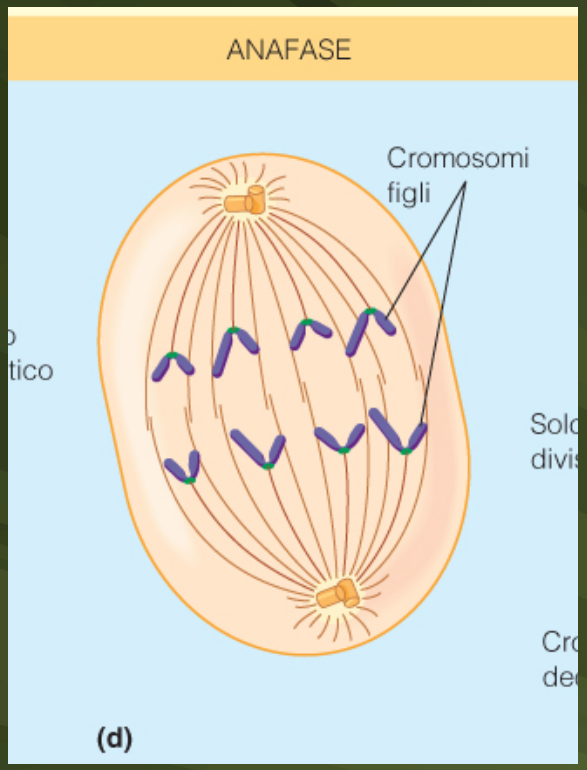
1. I cromosomi si allineano sulla piastra metafasica, connessi ad entrambi i poli dei microtubuli cromosomici

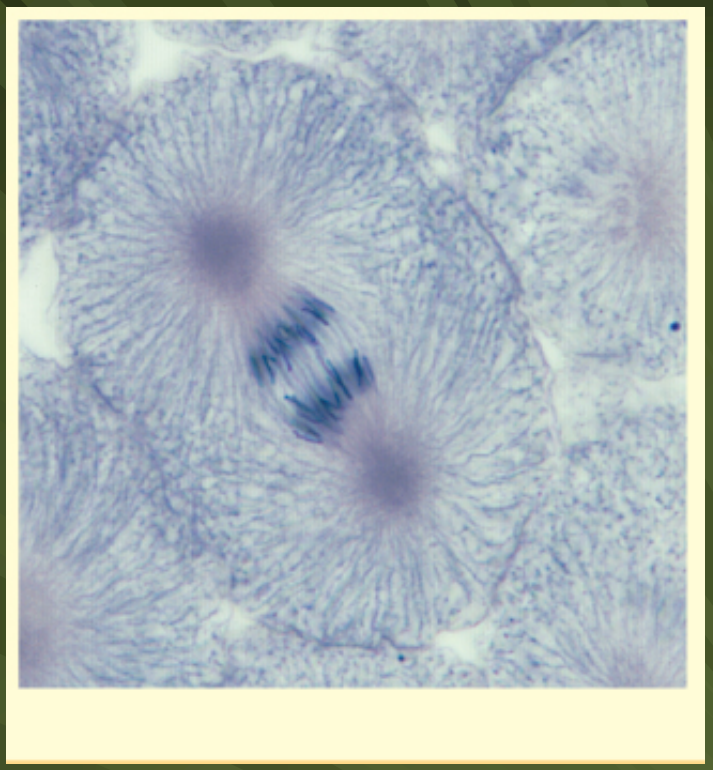






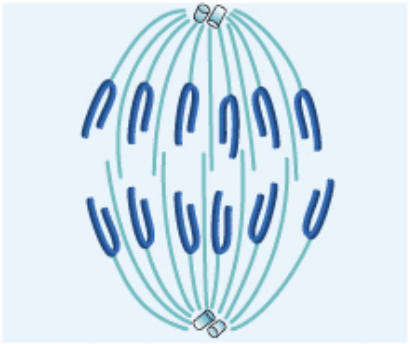
METAFASE

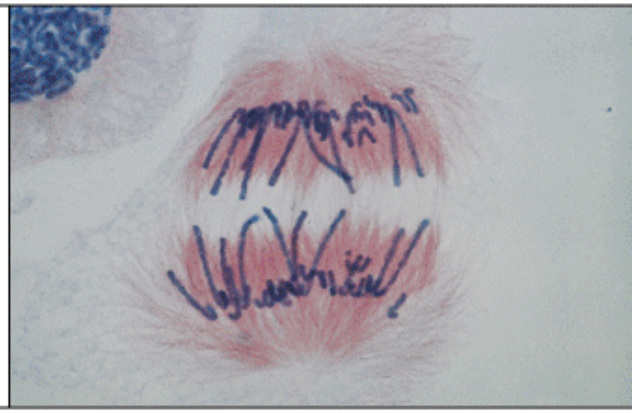


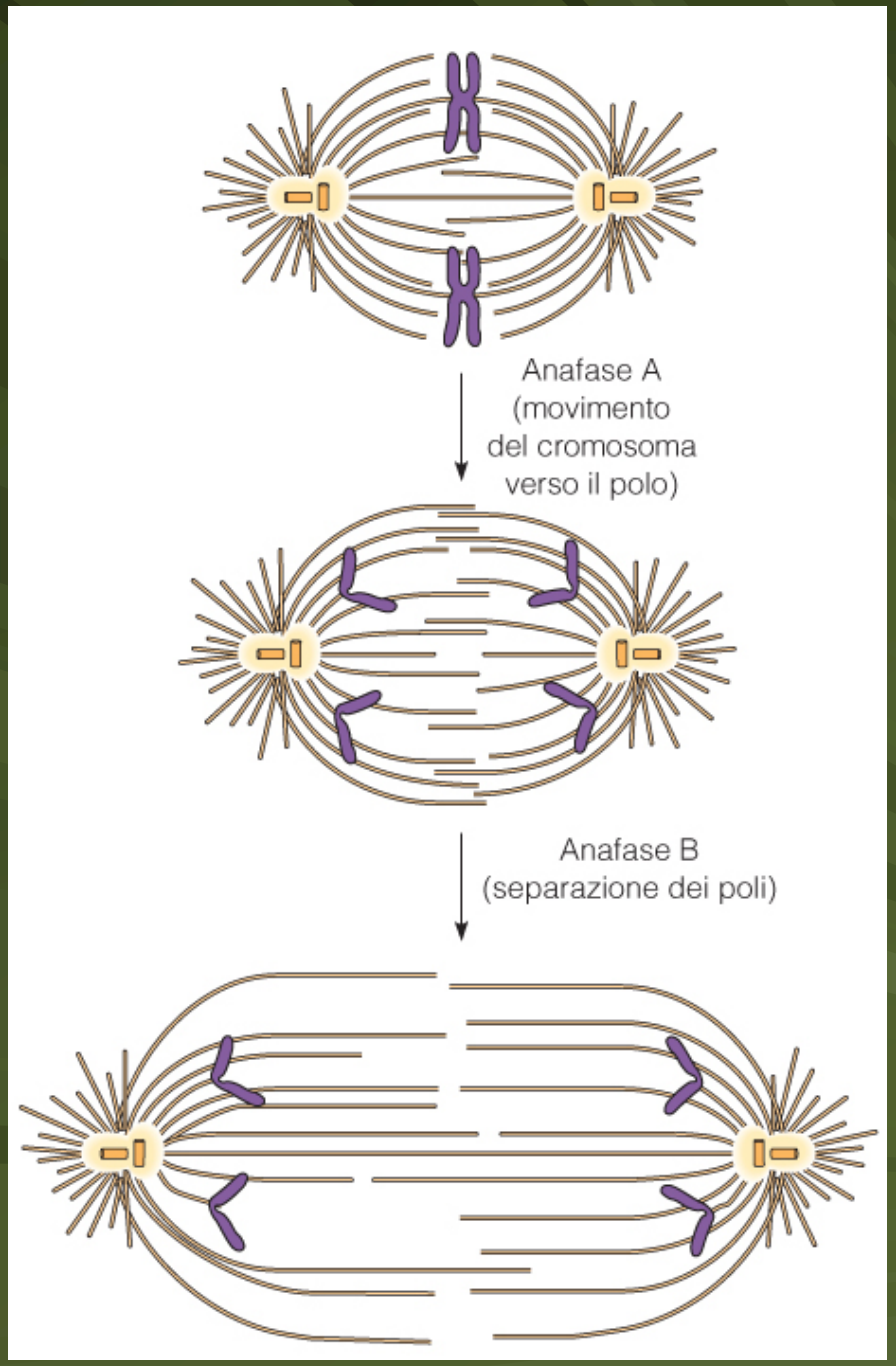


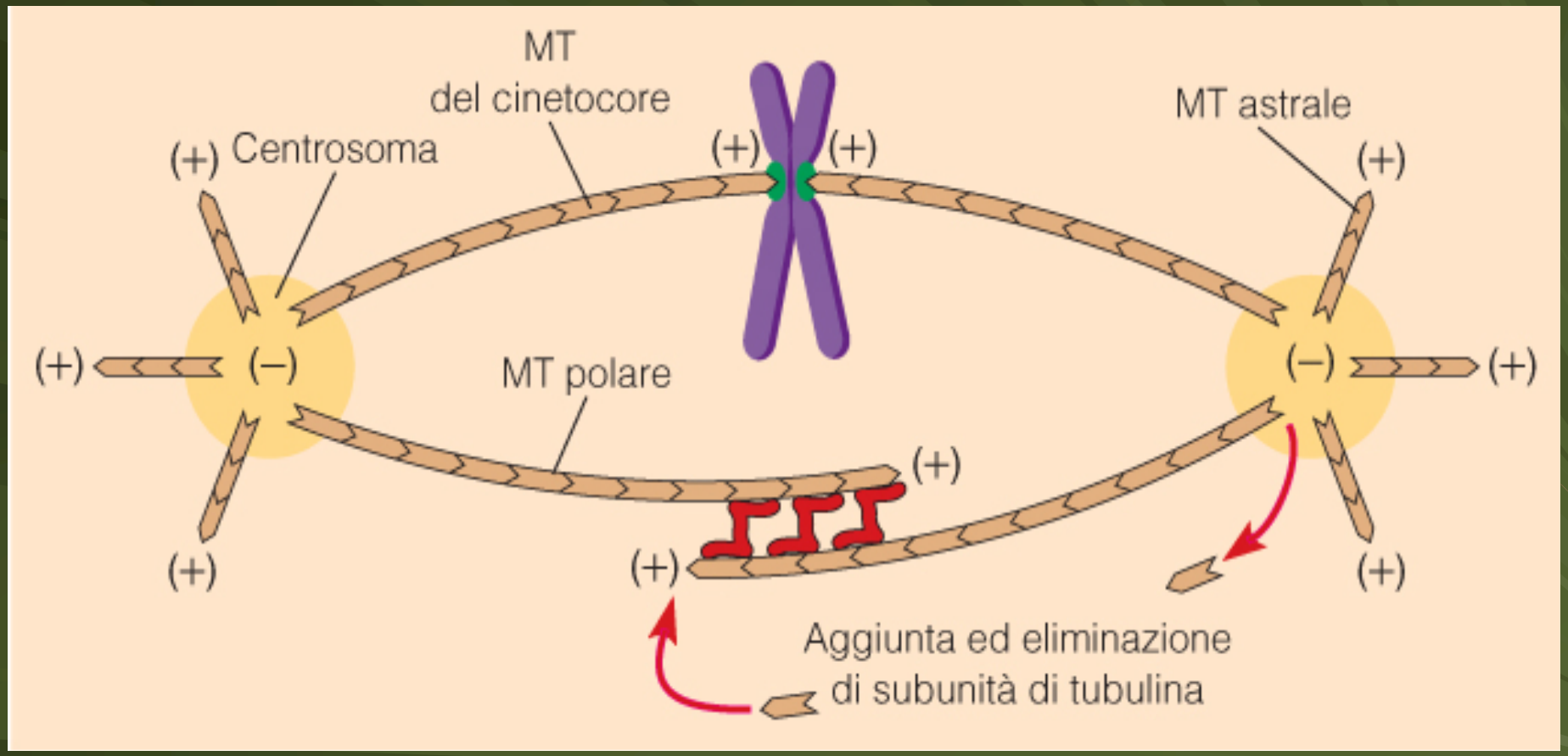
Anafase

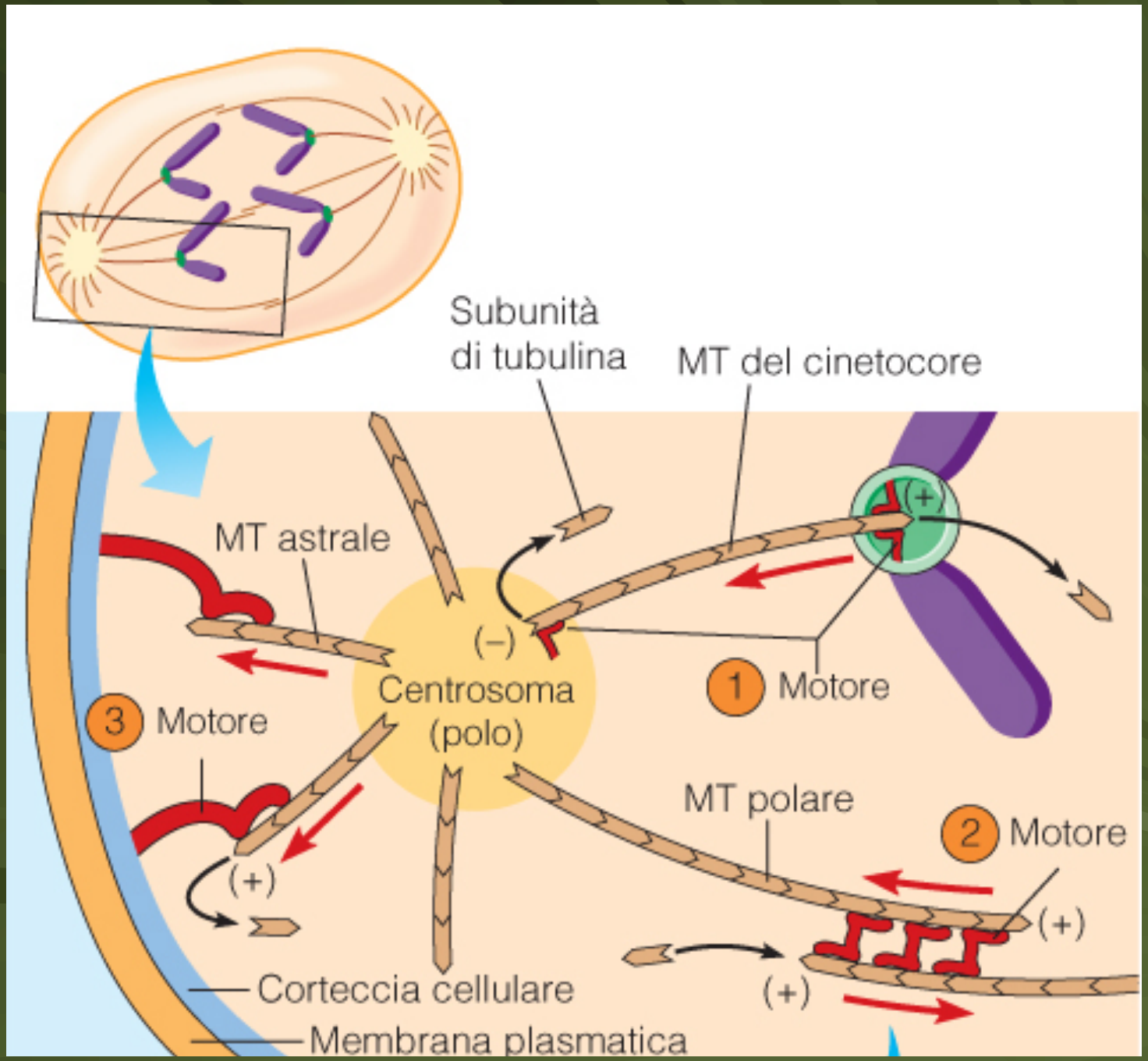
1. I centromeri si dividono e i cromatidi si separano
2. I cromosomi si muovono verso i poli opposti del fuso
3. I poli del fuso si allontanano in direzione opposta

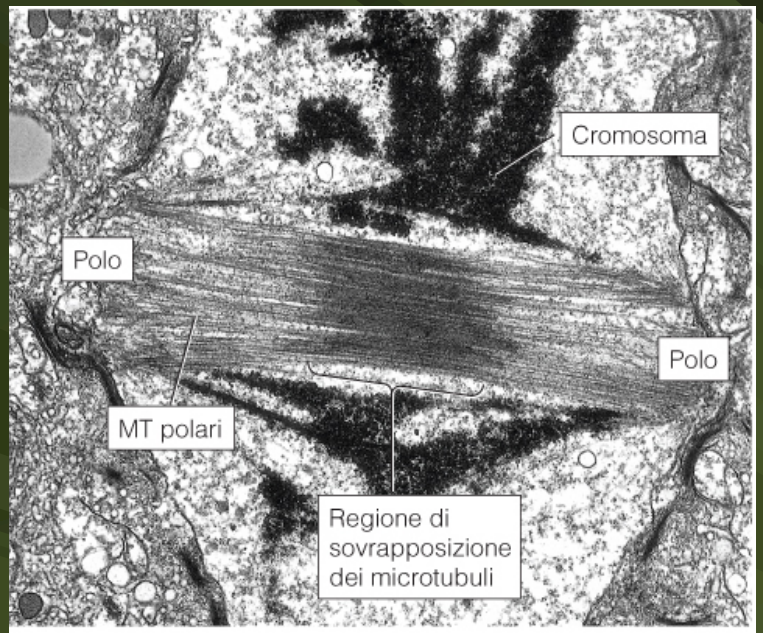





Anafase A
(movimento
del cromosoma
verso il polo)
Anafase B
(separazione dei poli)

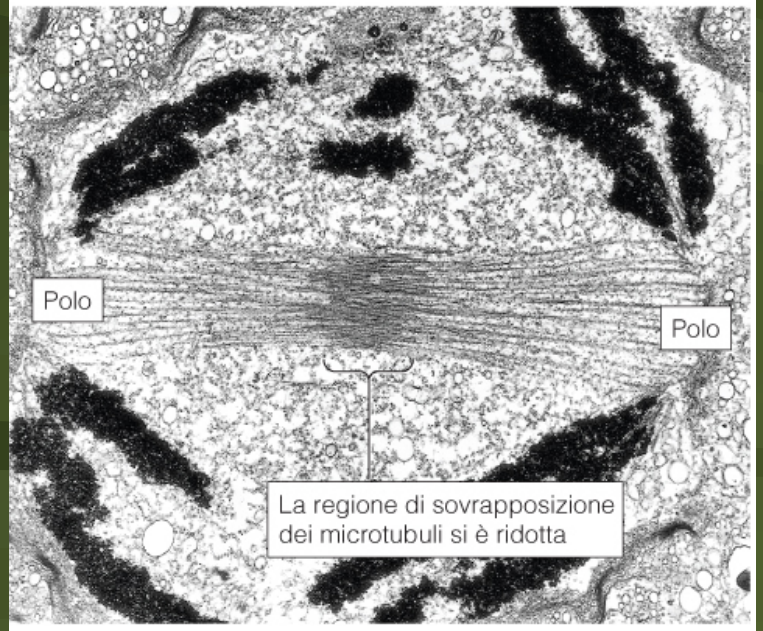

MT
del cinetocore
MT astrale
(+) Centrosoma
(+)
(+)
(+)
(+)
(−)
MT polare
(−)
(+)
(+)
(+)
(+)
(+)
Aggiunta ed eliminazione
di subunità di tubulina


Subunità
di tubulina
MT del cinetocore
MT astrale
(+)
(–)
Centrosoma
(polo)
1 Motore
3 Motore
MT polare
2 Motore
(+)
(+)
(+)
Corteccia cellulare
Membrana plasmatica



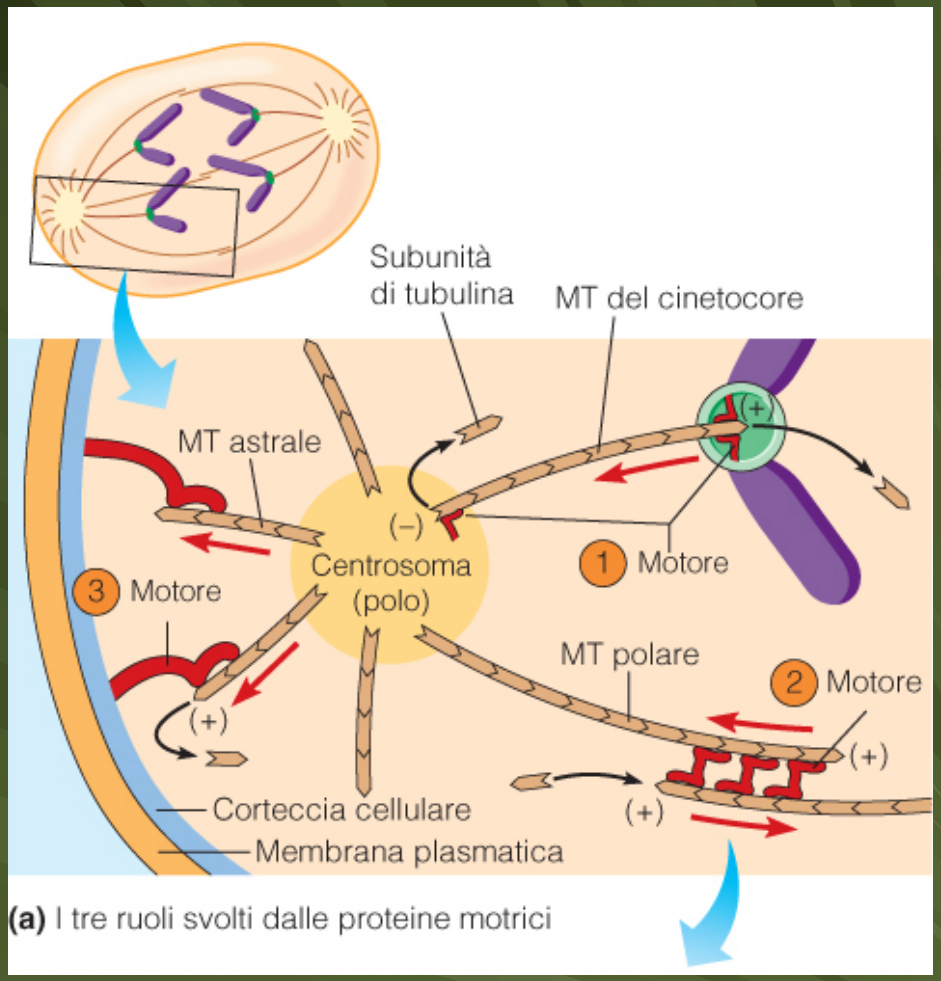
(b) Microtubuli polari durante la metafase

2 μm

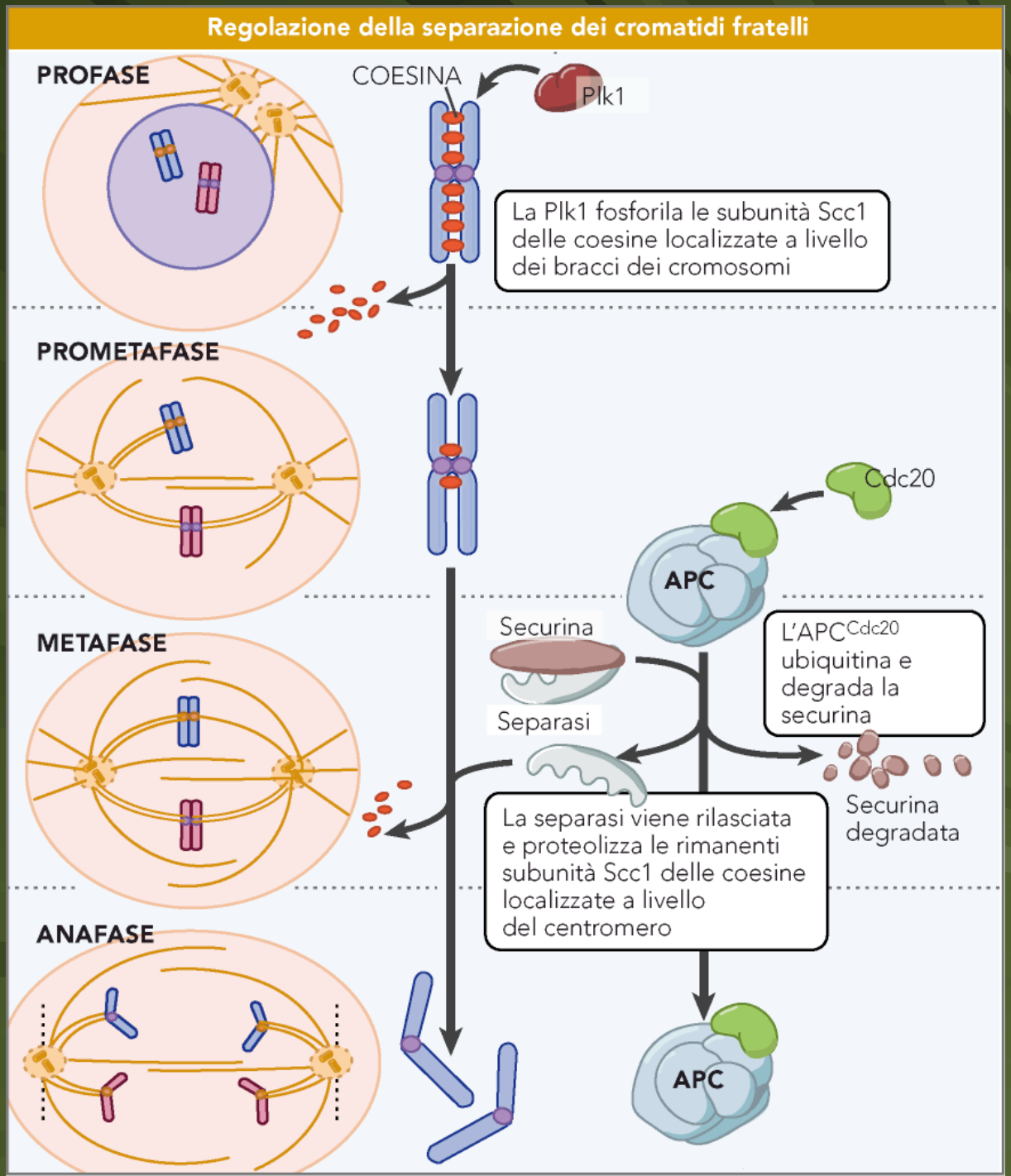


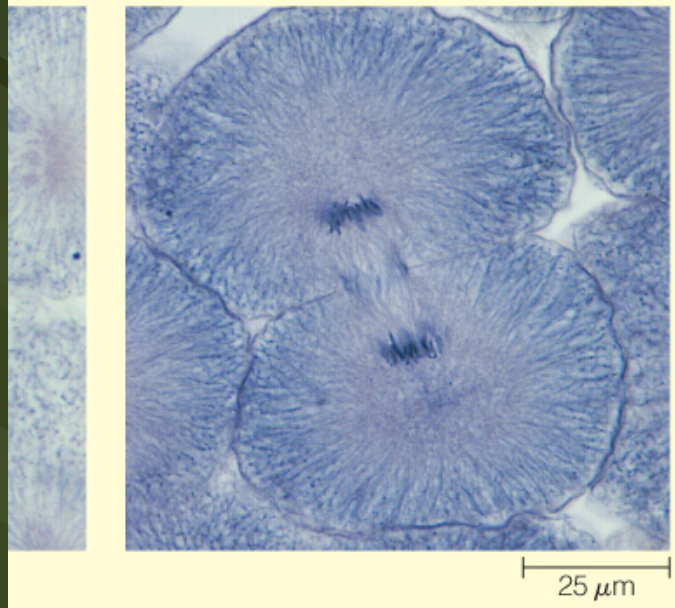
(c) Microtubuli polari durante l'anafase

2 μm

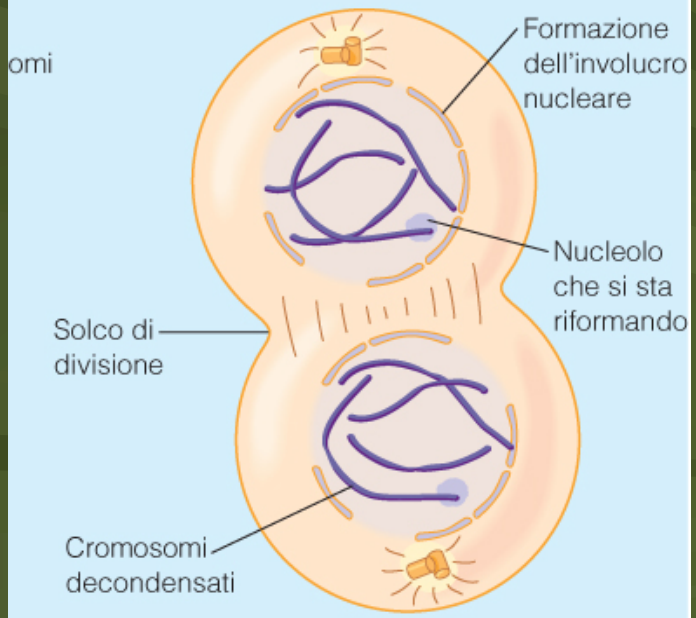


(a) I tre ruoli svolti dalle proteine motrici

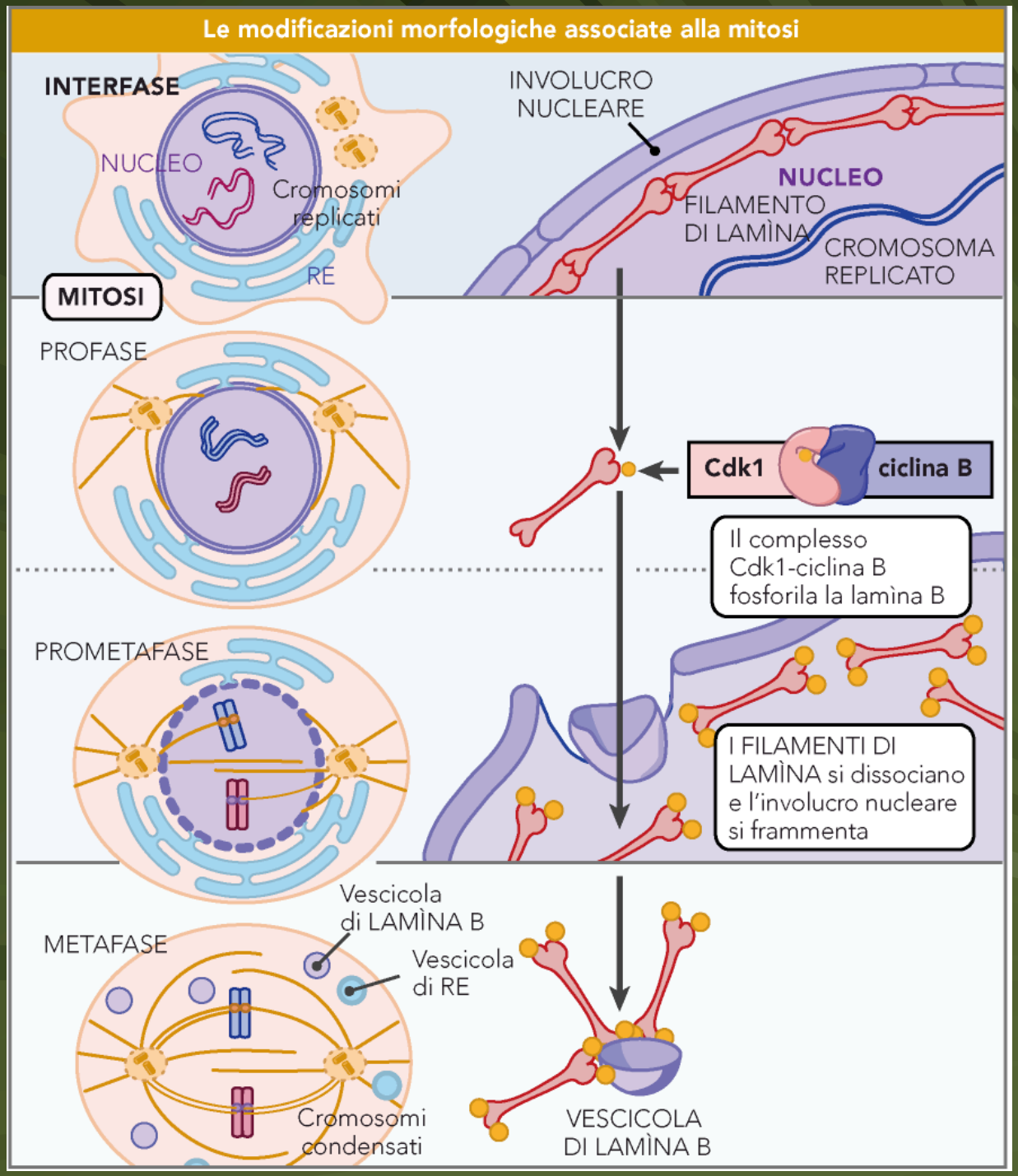

Regolazione della separazione dei cromatidi fratelli
PROFASE
COESINA
Plk1
La Plk1 fosforila le subunità Scc1 delle coesine localizzate a livello dei bracci dei cromosomi
PROMETAFASE
Cdc20
APC
METAFASE
Securina
Separasi
L'APC Cdc20 ubiquitina e degrada la securina
Securina degradata
La separasi viene rilasciata e proteolizza le rimanenti subunità Scc1 delle coesine localizzate a livello del centromero
ANAFASE
APC

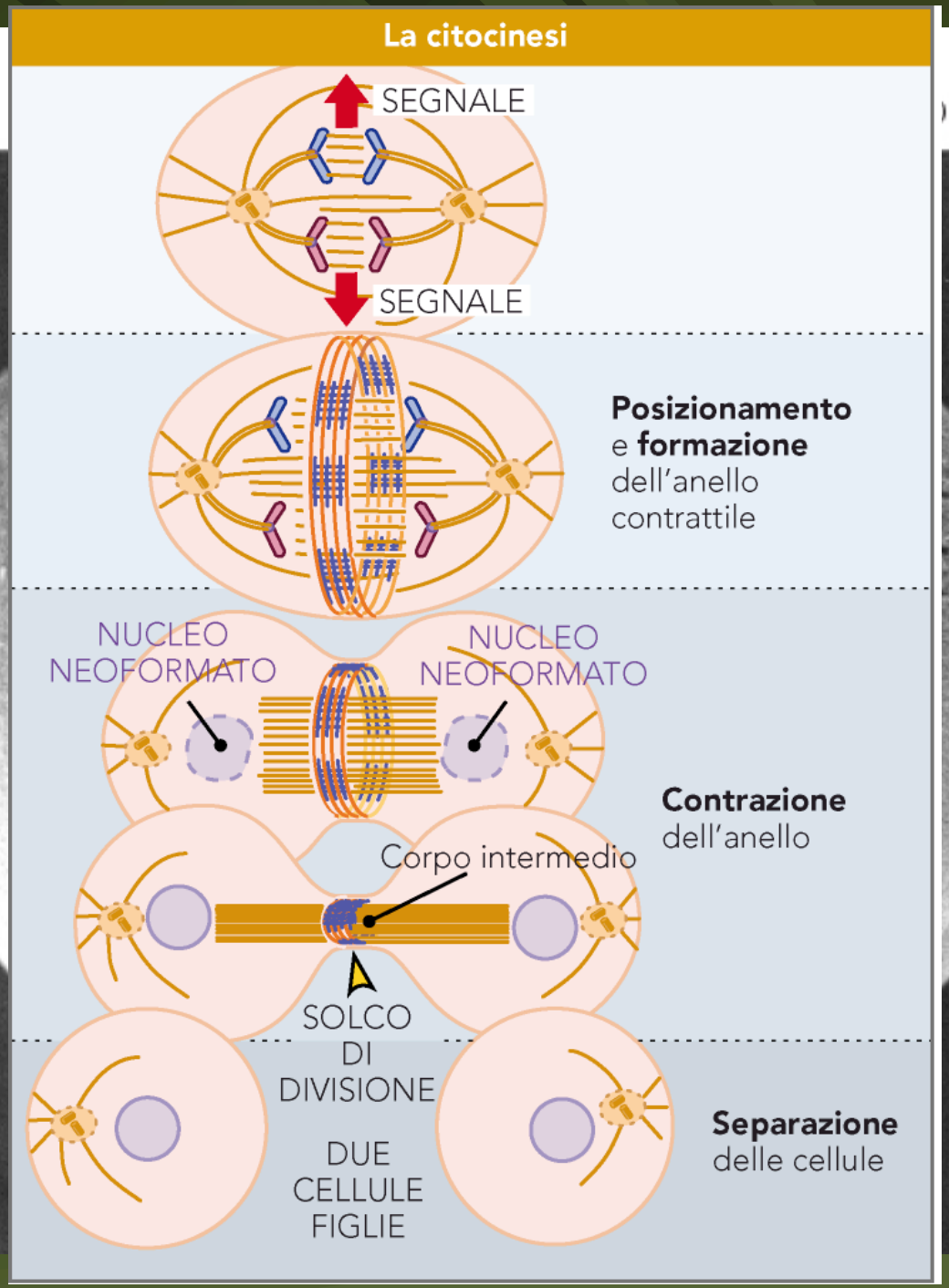


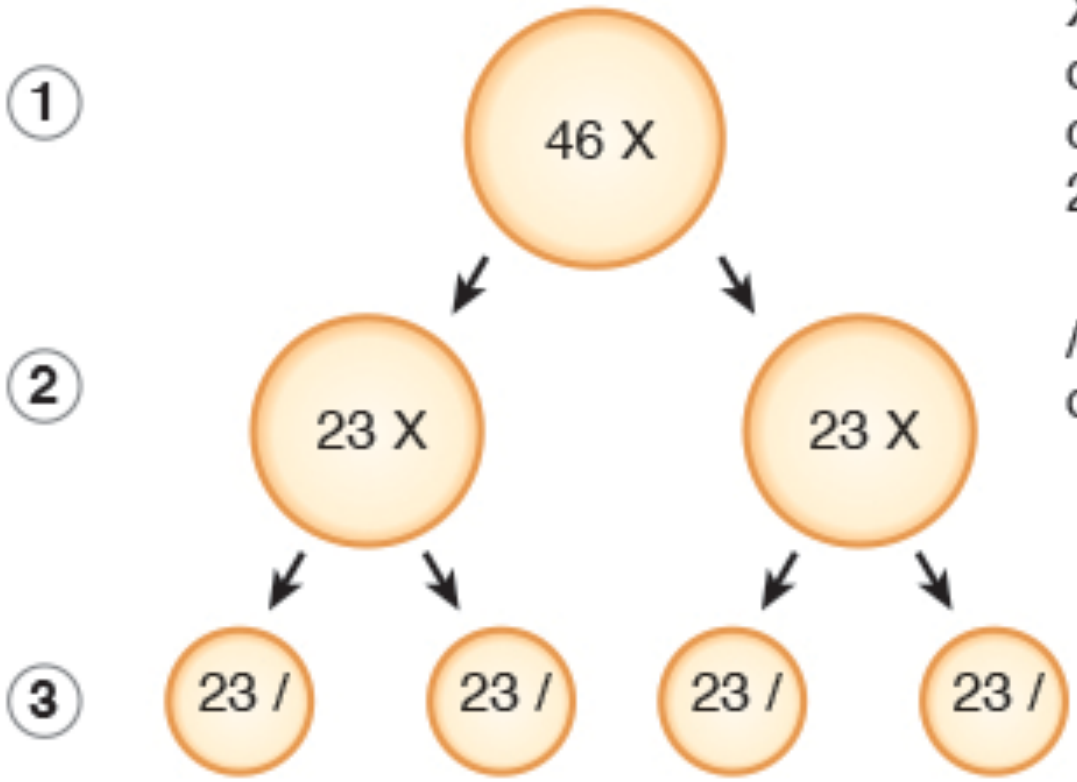
TELOFASE E CITOCINESI



(e)

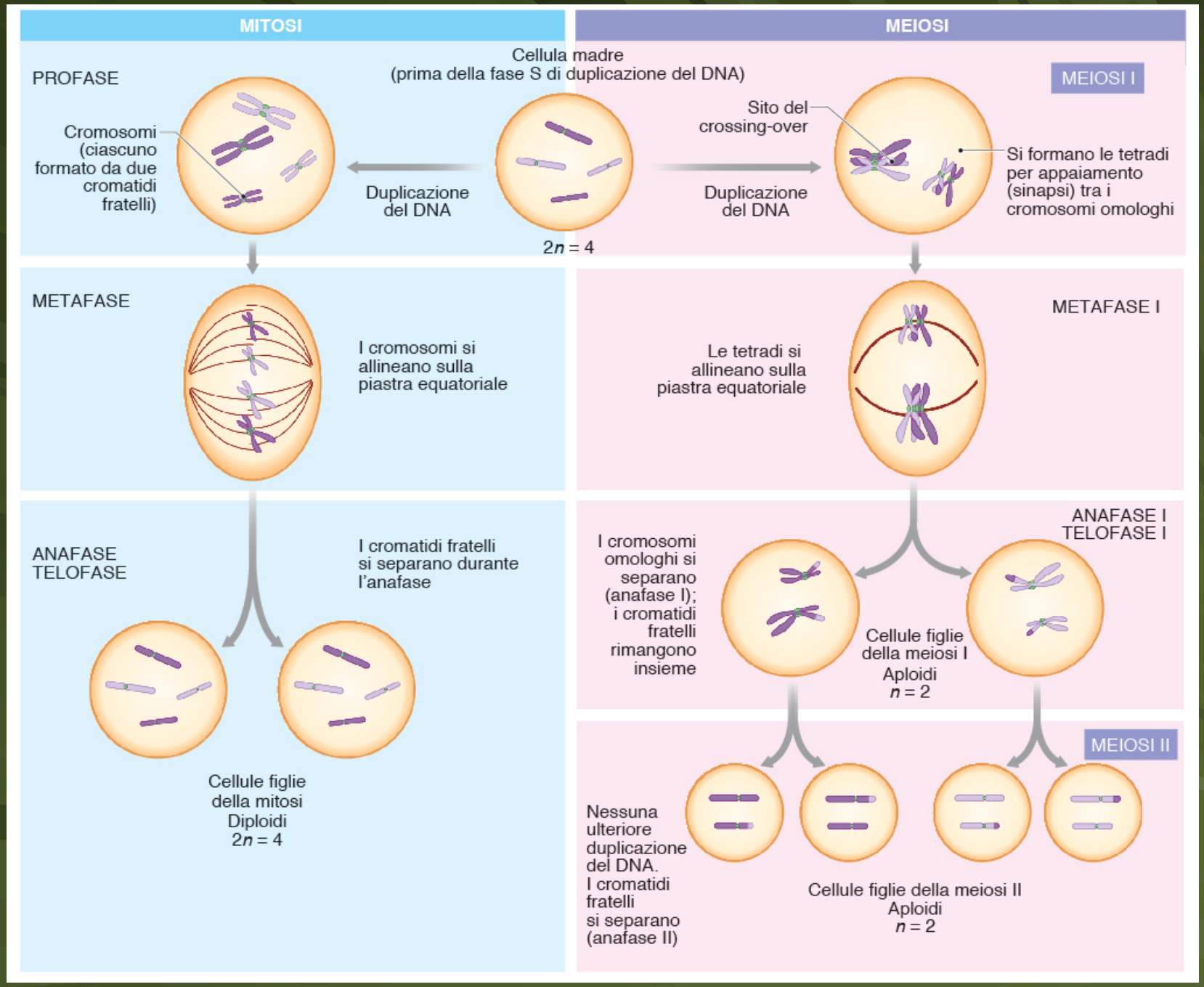

Le modificazioni morfologiche associate alla mitosi
INTERFASE
NUCLEO
Cromosomi replicati
RE
INVOLUCRO NUCLEARE
NUCLEO
FILAMENTO DI LAMÌNA
CROMOSOMA REPLICATO
MITOSI
PROFASE
Cdk1
ciclina B
Il complesso Cdk1-ciclina B fosforila la lamìna B
PROMETAFASE
I FILAMENTI DI LAMÌNA si dissociano e l'involucro nucleare si frammenta
METAFASE
Vescicola di LAMÌNA B
Vescicola di RE
Cromosomi condensati
VESCICOLA DI LAMÌNA B

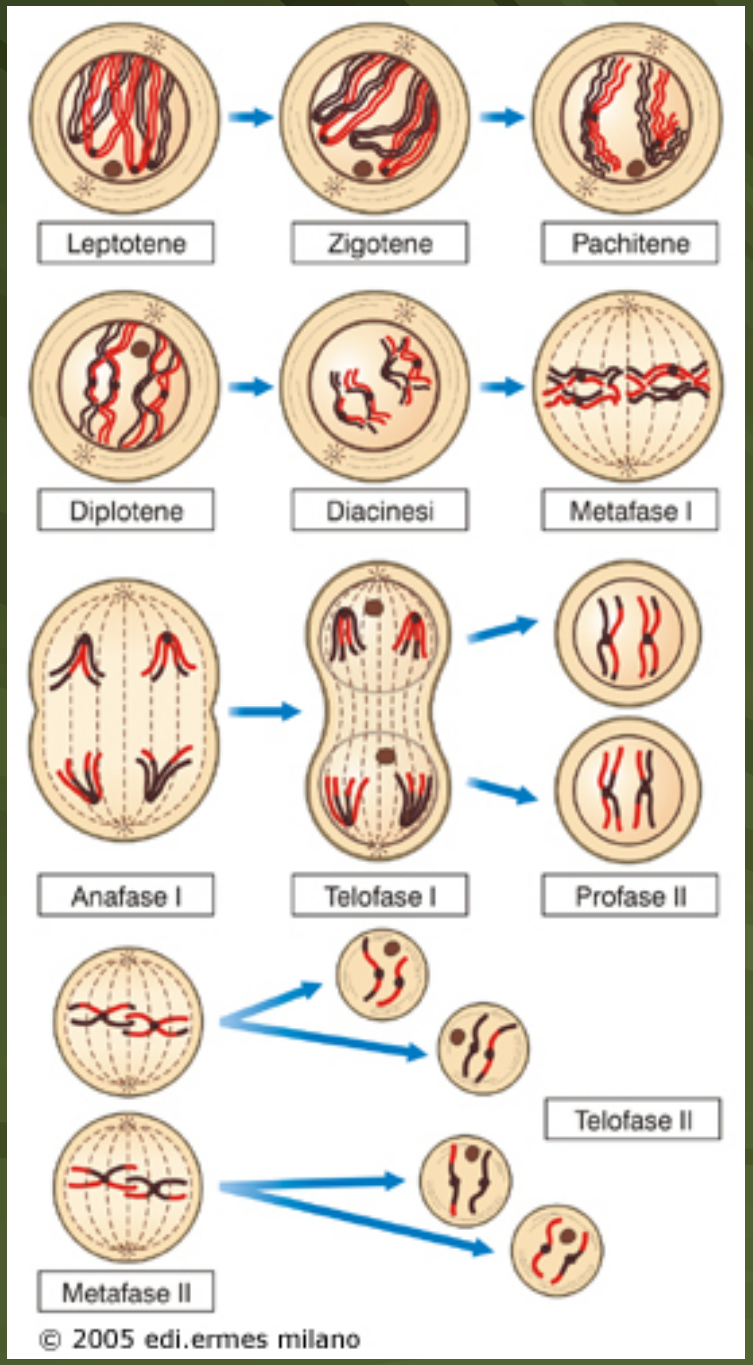

La citocinesi
SEGNALE
SEGNALE
Posizionamento e formazione dell'anello contrattile
NUCLEO NEOFORMATO
NUCLEO NEOFORMATO
Contrazione dell'anello
Corpo intermedio
SOLCO DI DIVISIONE
DUE CELLULE FIGLIE
Separazione delle cellule

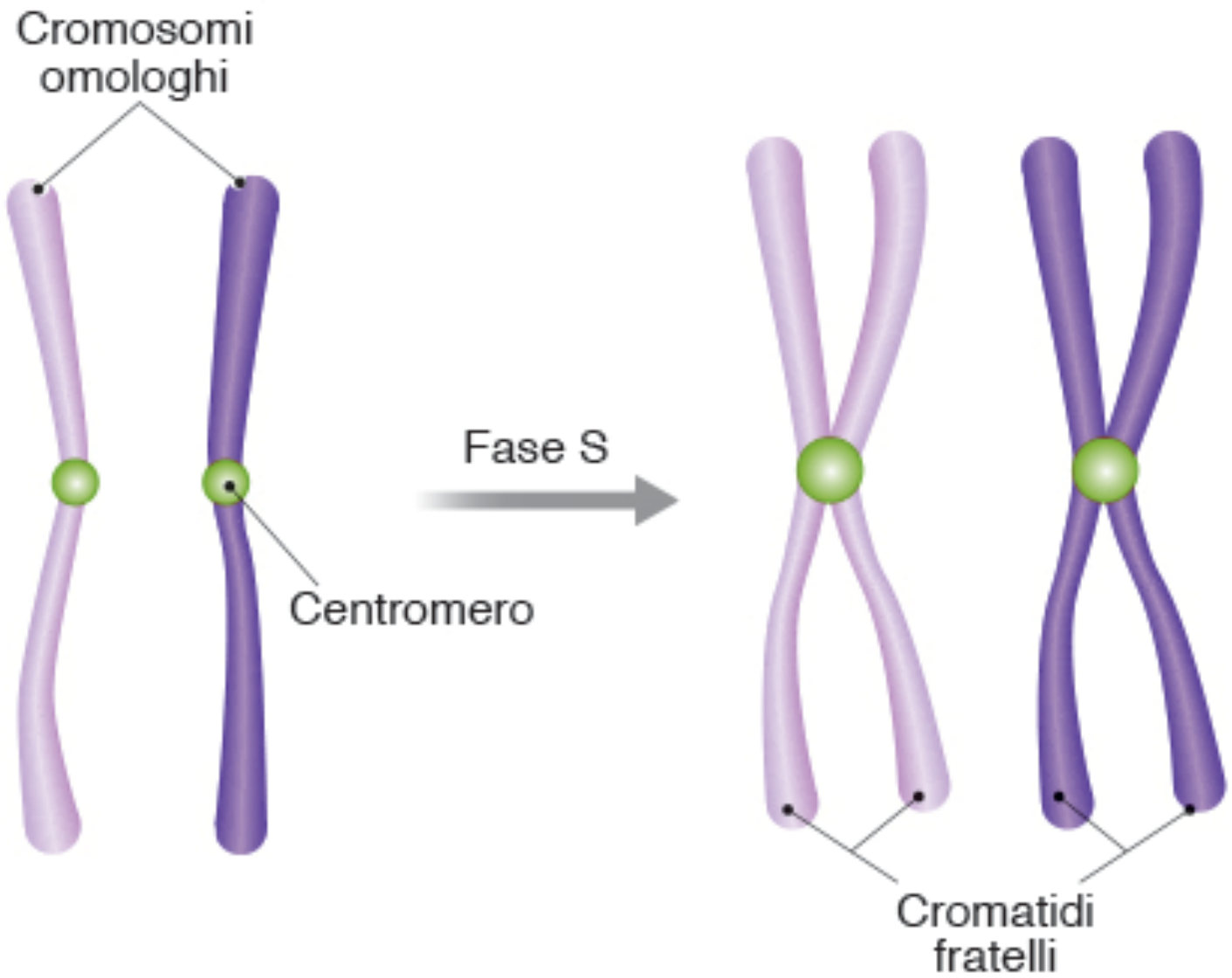


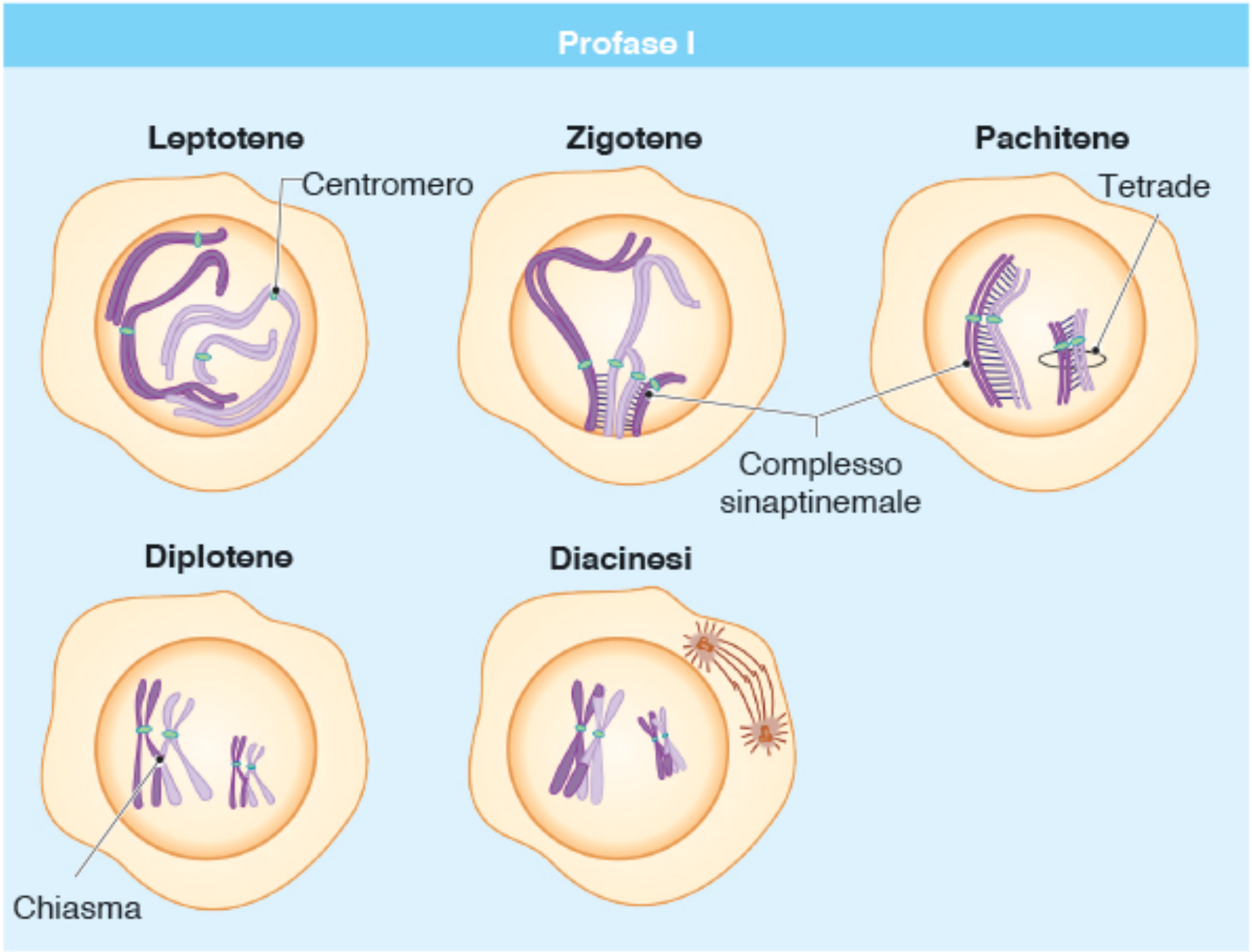
X = cromosoma dopo duplicazione del DNA, costituito quindi da 2 cromatidi fratelli

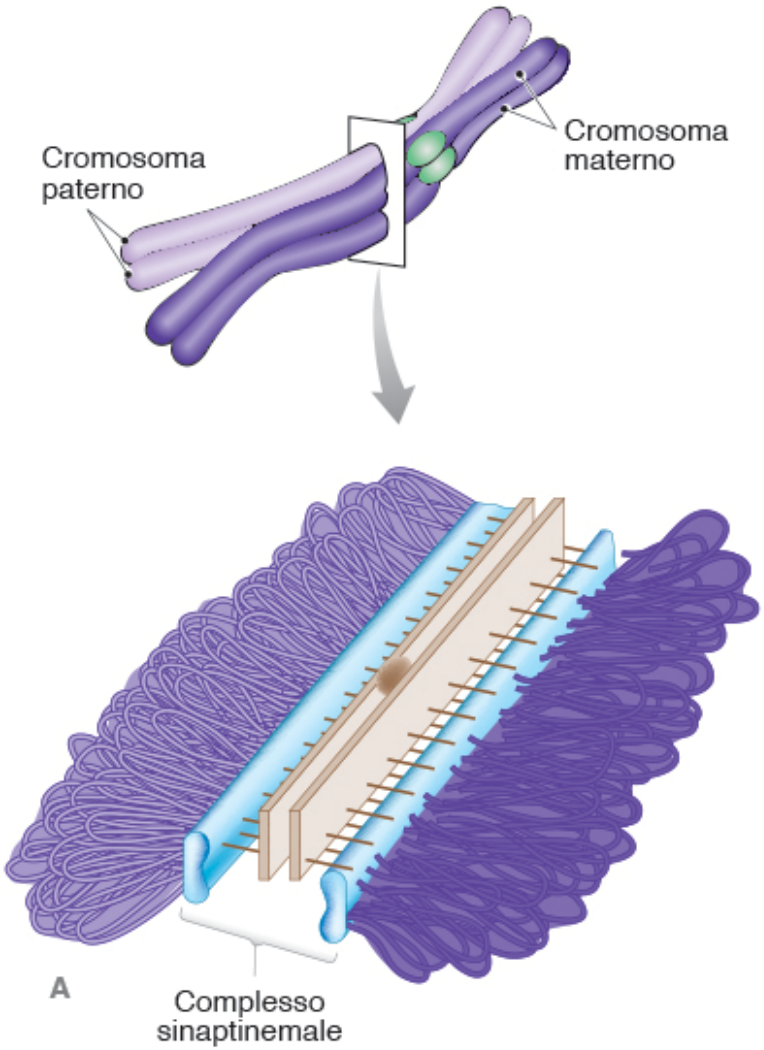
/ = cromosoma non duplicato


MITOSI
MEIOSI
Cellula madre
(prima della fase S di duplicazione del DNA)
PROFASE
Cromosomi (ciascuno formato da due cromatidi fratelli)
Duplicazione del DNA
2n = 4
MEIOSI I
Sito del crossing-over
Duplicazione del DNA
Si formano le tetradi per appaiamento (sinapsi) tra i cromosomi omologhi
METAFASE
I cromosomi si allineano sulla piastra equatoriale
METAFASE I
Le tetradi si allineano sulla piastra equatoriale
ANAFASE
TELOFASE
I cromatidi fratelli si separano durante l'anafase
Cellule figlie della mitosi
Diploidi
2n = 4
ANAFASE I
TELOFASE I
I cromosomi omologhi si separano (anafase I); i cromatidi fratelli rimangono insieme
Cellule figlie della meiosi I
Aploidi
n = 2
MEIOSI II
Nessuna ulteriore duplicazione del DNA. I cromatidi fratelli si separano (anafase II)
Cellule figlie della meiosi II
Aploidi
n = 2


Leptotene
Zigotene
Pachitene
Diplotene
Diacinesi
Metafase I
Anafase I
Telofase I
Profase II
Telofase II
Metafase II
© 2005 edi.ermes milano


Cromosomi
omologhi
Fase S
Centromero
Cromatidi
fratelli


Profase I
Leptotene
Centromero
Zigotene
Pachitene
Tetrade
Complesso
sinaptinemale
Diplotene
Diacinesi
Chiasma



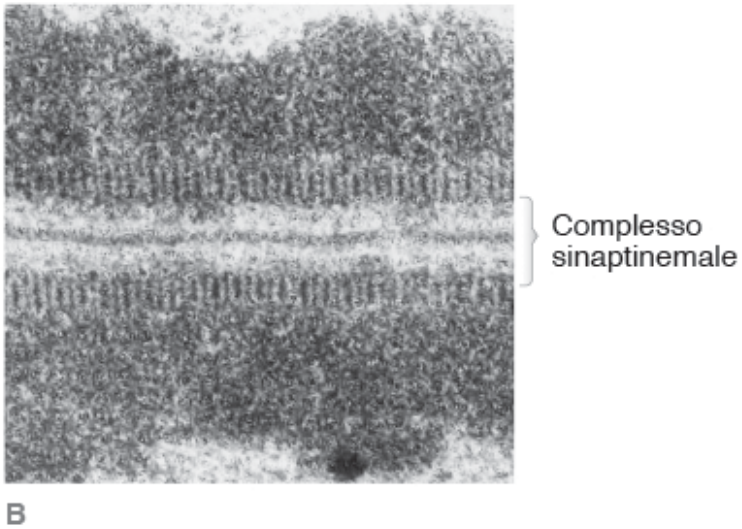
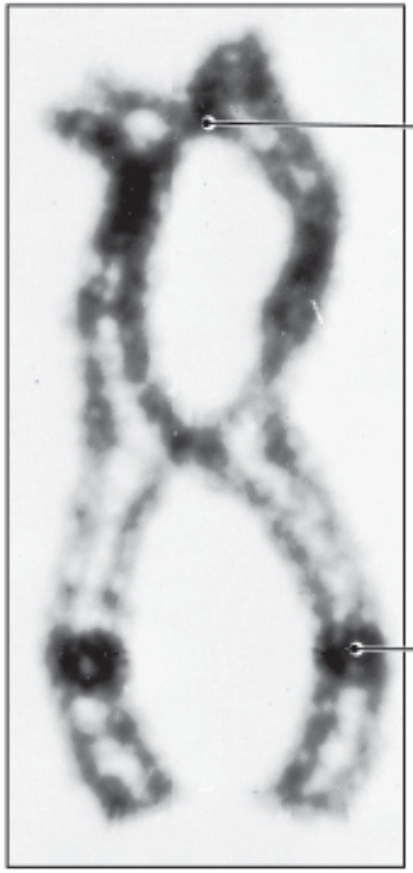
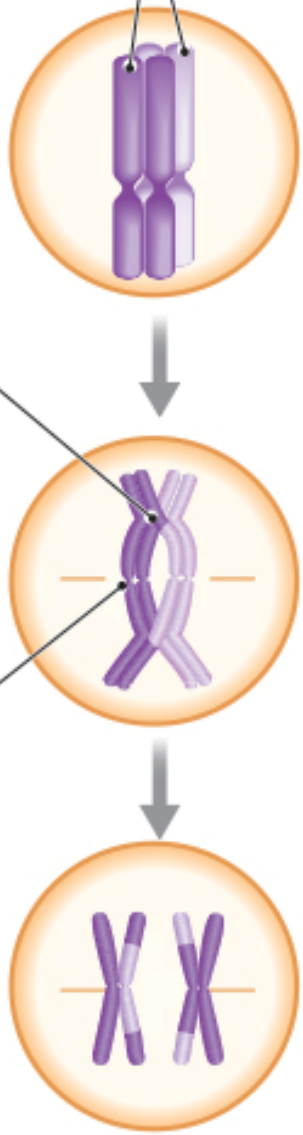
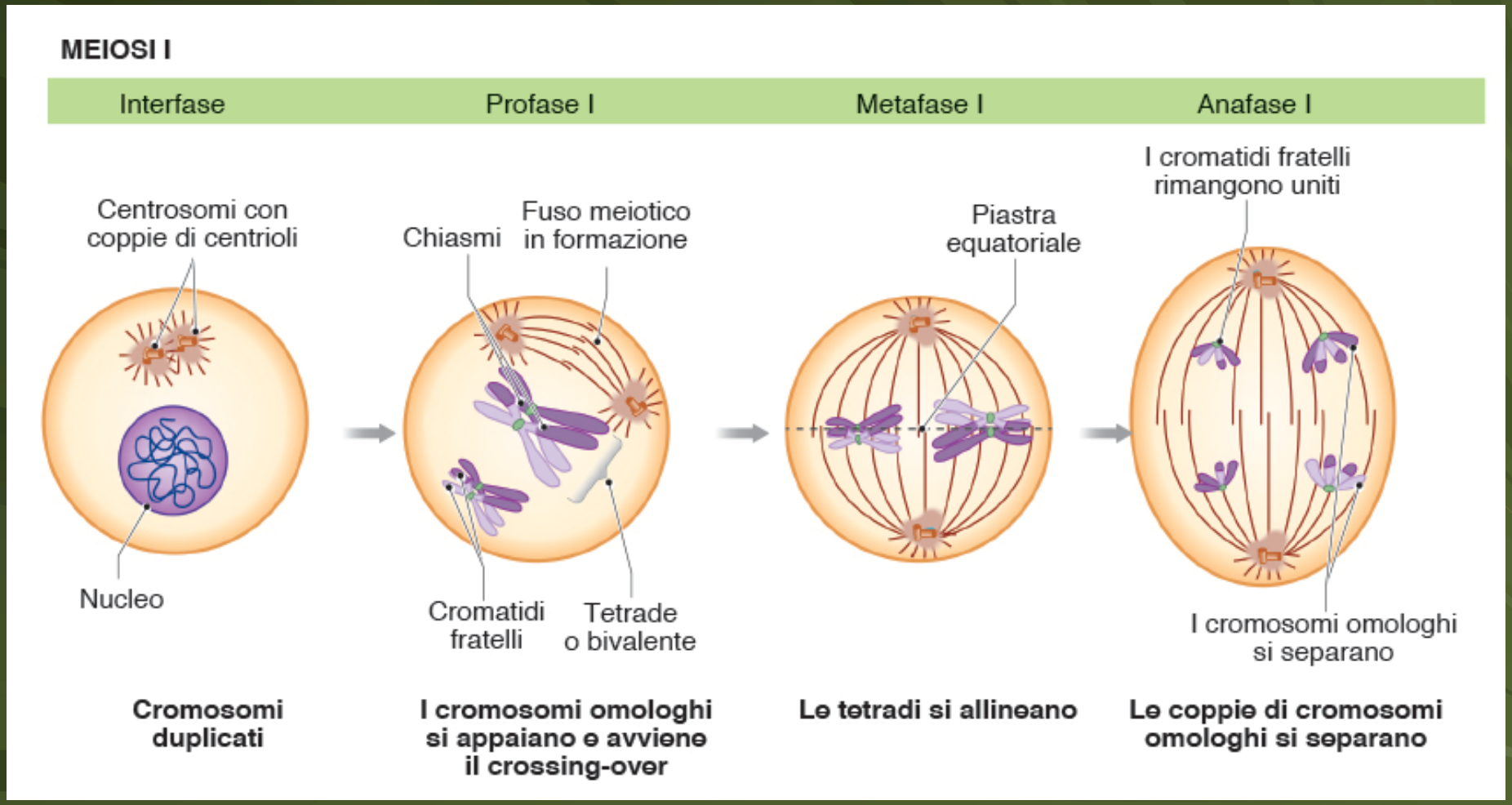
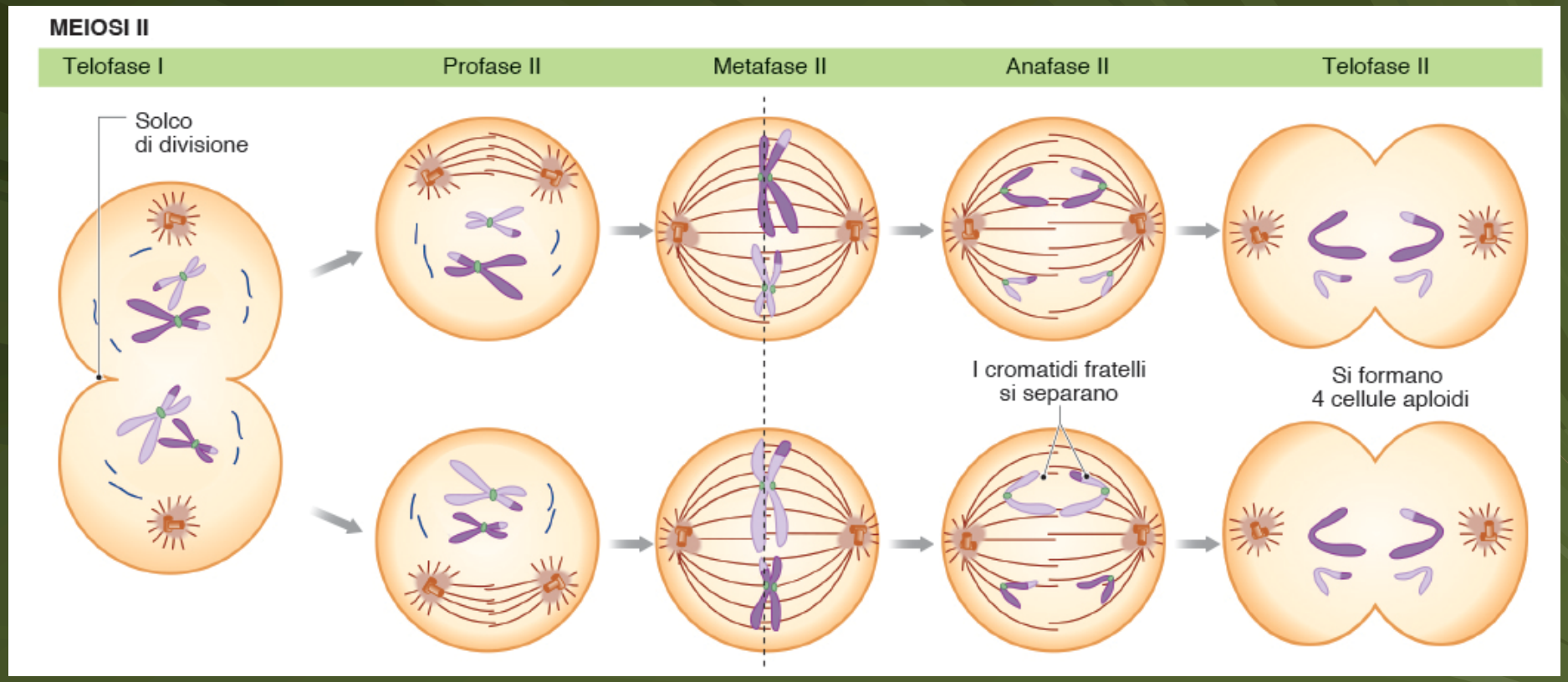


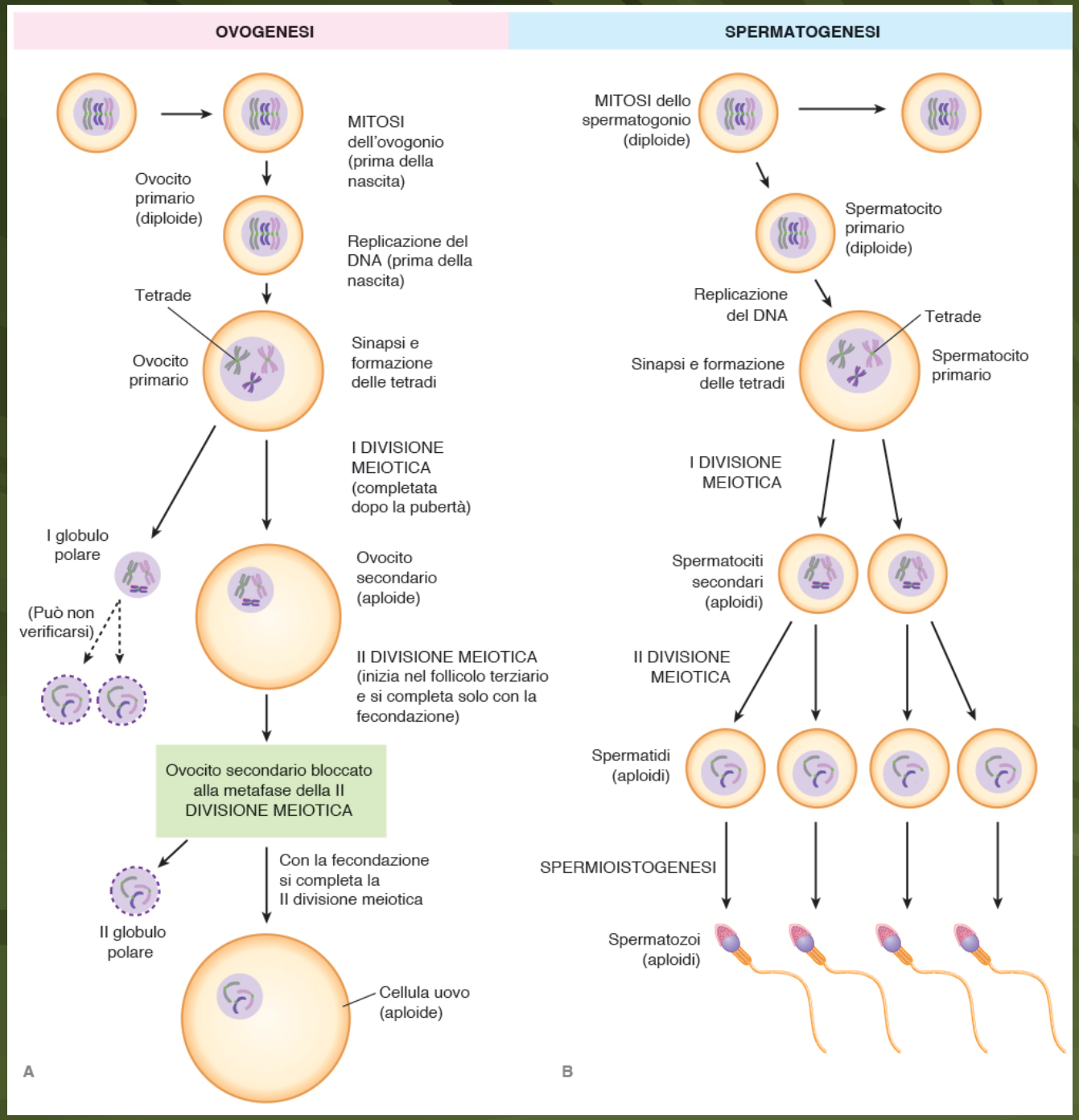
Figura 10.5 ◀ (**A**) Complesso sinaptinemale che s
tra i cromosomi omologhi per permetterne l'appa
e la formazione della tetrade. (**B**) Immagine al mic
elettronico a trasmissione del complesso mostrant
bande elettrondense laterali e quella centrale.

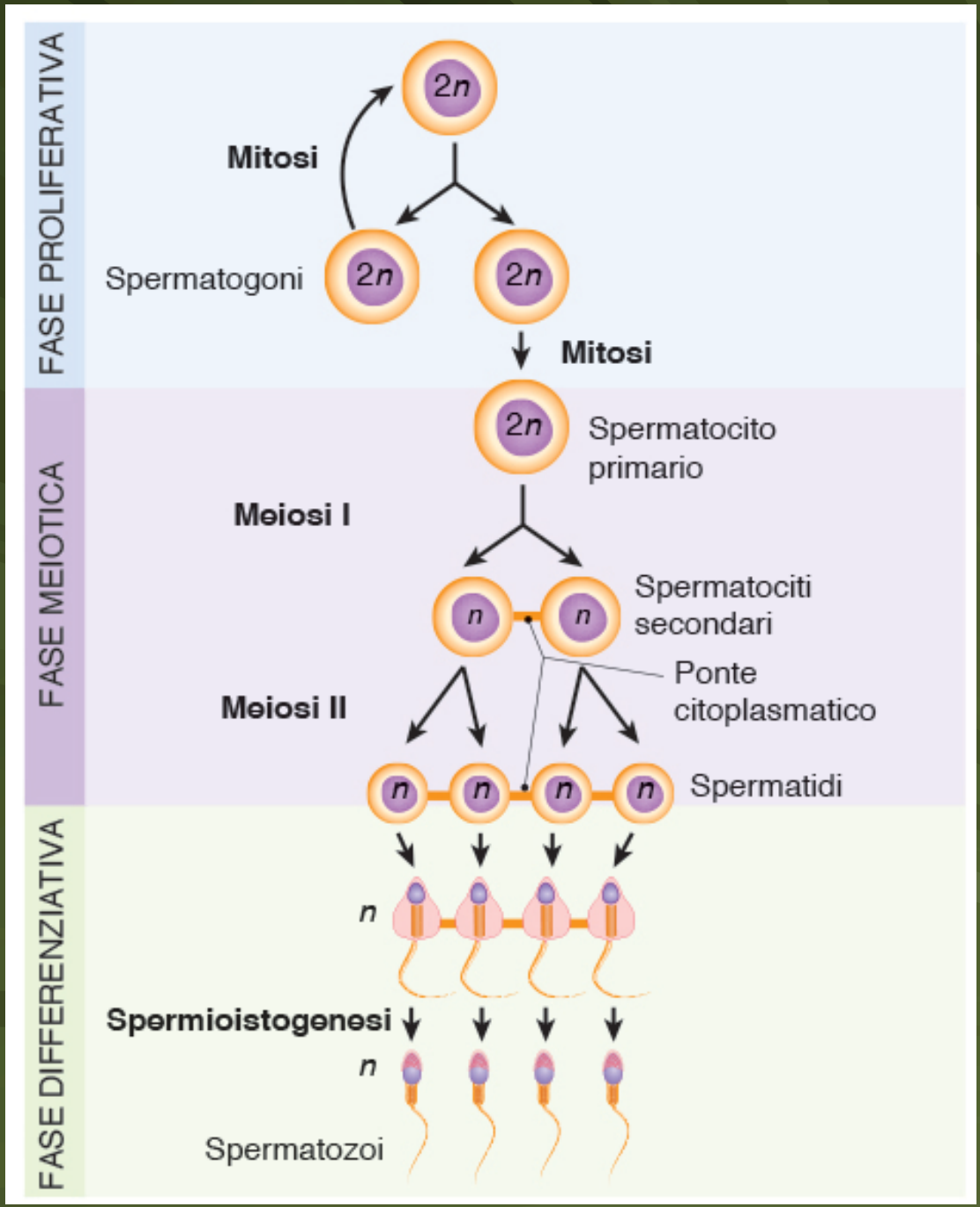


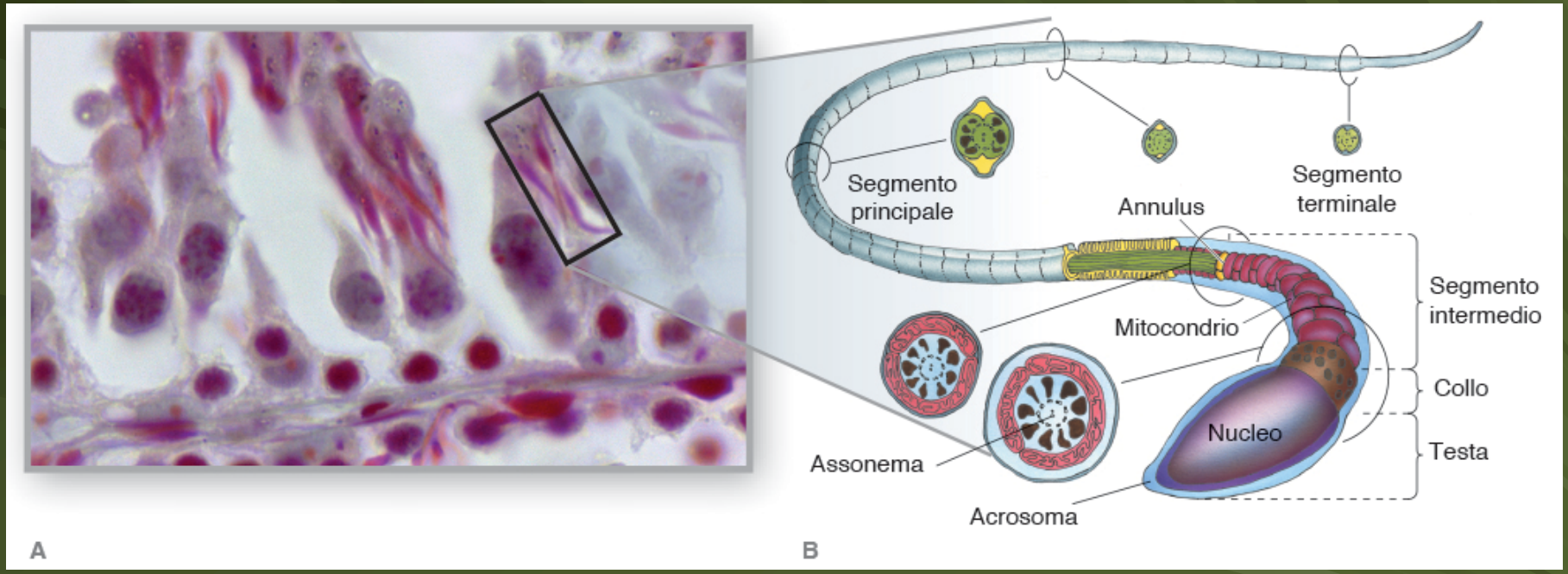

Cromosomi
omologhi appaiati
Profase I
Chiasma
Centromero
Anafase I

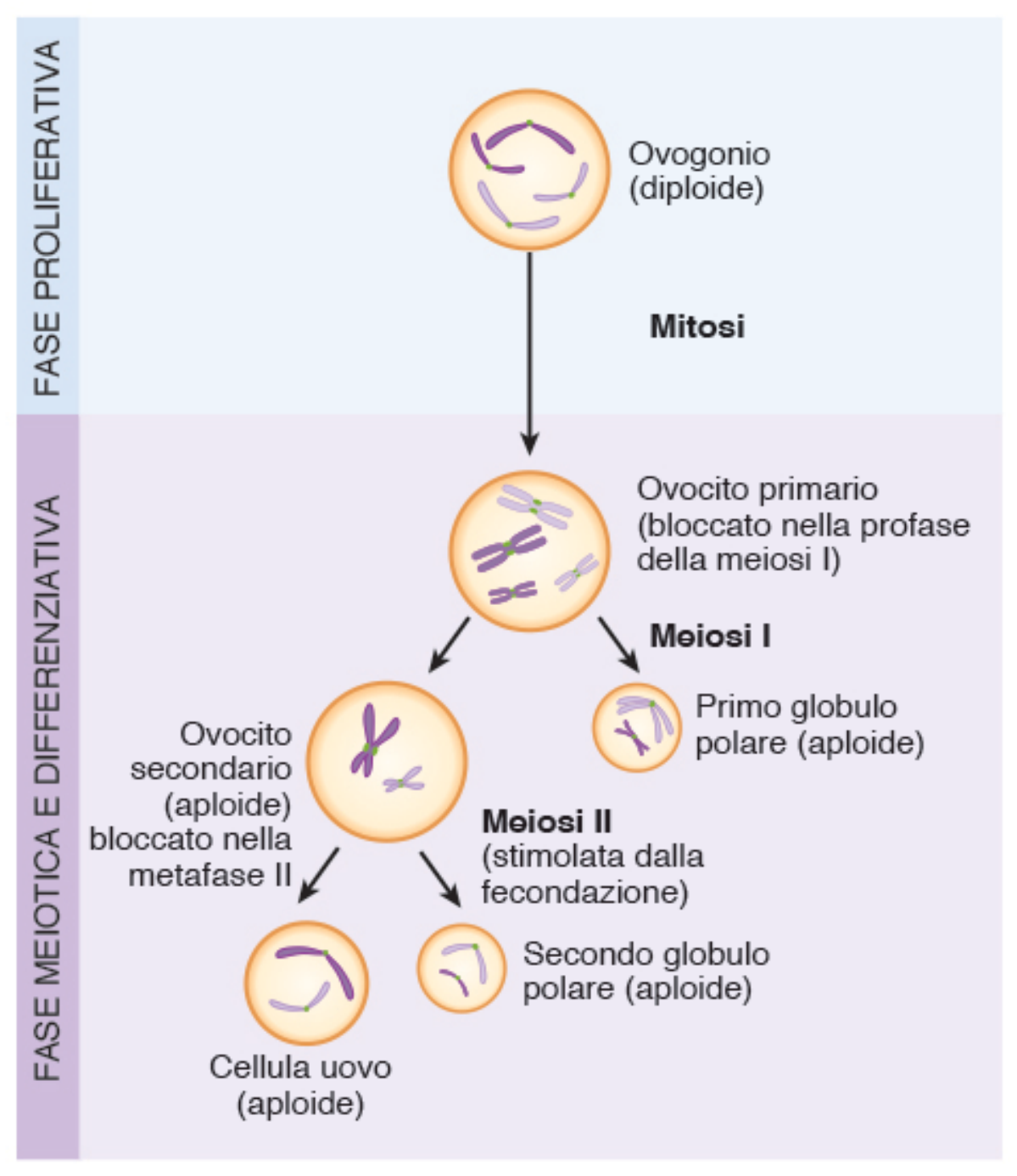

MEIOSI I
Interfase
Profase I
Metafase I
Anafase I
Centrosomi con coppie di centrioli
Nucleo
Chiasmi
Fuso meiotico in formazione
Cromatidi fratelli
Tetrade o bivalente
Piastra equatoriale
I cromatidi fratelli rimangono uniti
I cromosomi omologhi si separano
Cromosomi duplicati
I cromosomi omologhi si appaiano e avviene il crossing-over
Le tetradi si allineano
Le coppie di cromosomi omologhi si separano

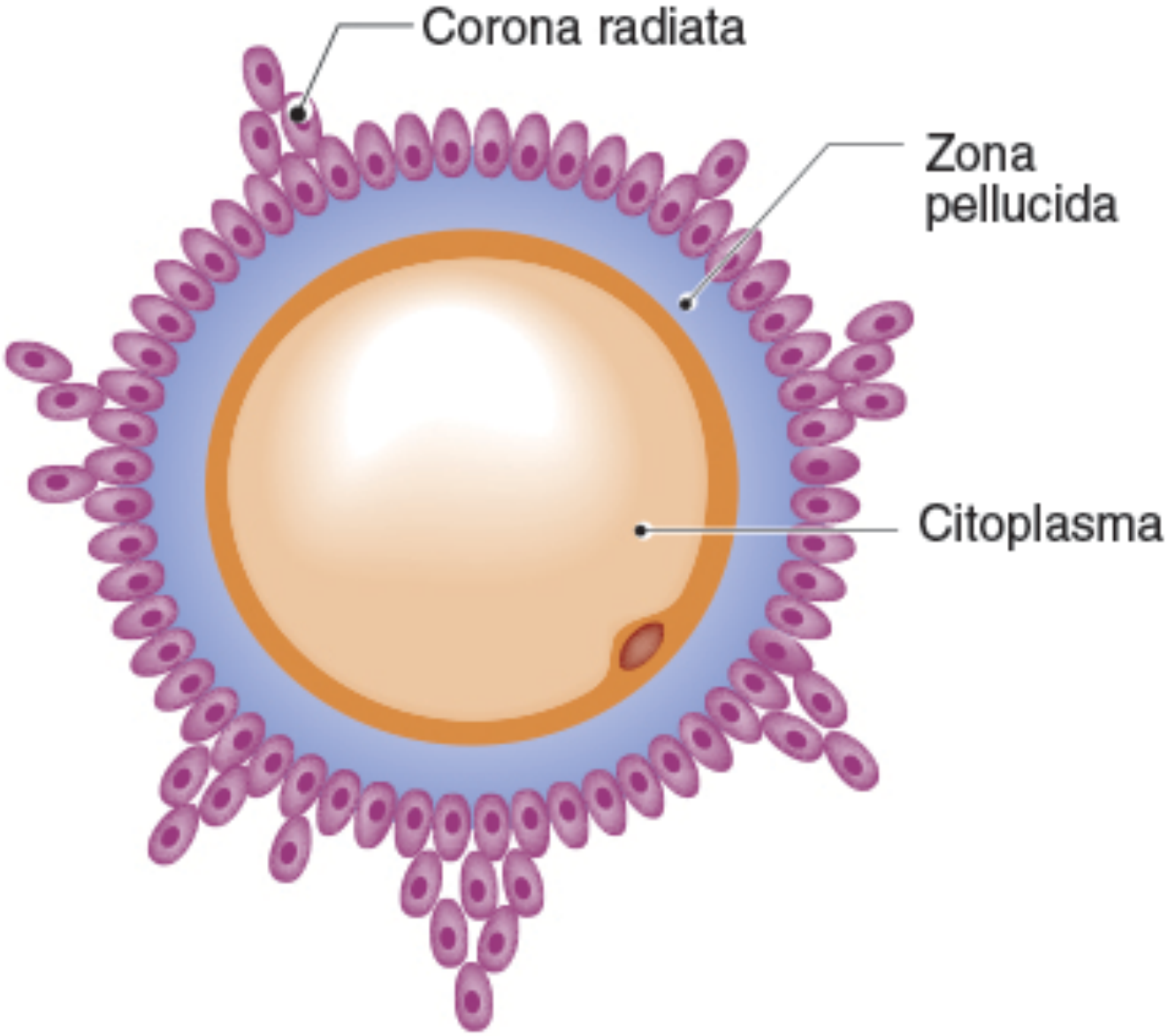

MEIOSI II
Telofase I
Profase II
Metafase II
Anafase II
Telofase II
Solco
di divisione
I cromatidi fratelli
si separano
Si formano
4 cellule aploidi

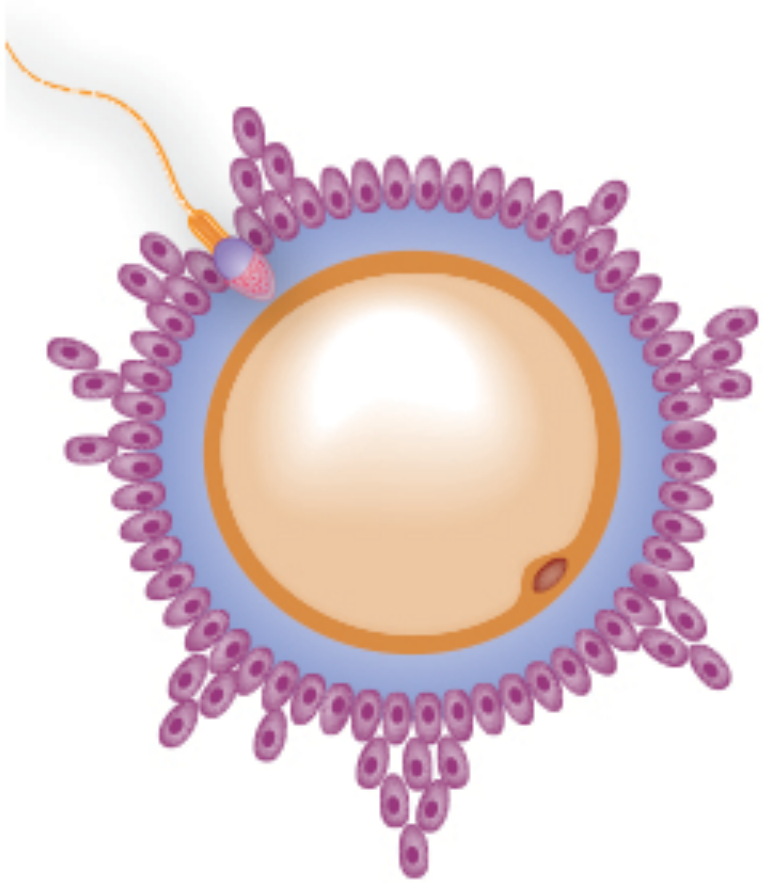

OVOGENESI
SPERMATOGENESI
MITOSI dell'ovogonio (prima della nascita)
Ovocito primario (diploide)
Replicazione del DNA (prima della nascita)
Tetrade
Ovocito primario
Sinapsi e formazione delle tetradi
I DIVISIONE MEIOTICA (completata dopo la pubertà)
I globulo polare
(Può non verificarsi)
Ovocito secondario (aploide)
II DIVISIONE MEIOTICA (inizia nel follicolo terziario e si completa solo con la fecondazione)
Ovocito secondario bloccato alla metafase della II DIVISIONE MEIOTICA
Con la fecondazione si completa la II divisione meiotica
II globulo polare
Cellula uovo (aploide)
A
MITOSI dello spermatogonio (diploide)
Spermatocito primario (diploide)
Replicazione del DNA
Tetrade
Sinapsi e formazione delle tetradi
Spermatocito primario
I DIVISIONE MEIOTICA
Spermatociti secondari (aploidi)
II DIVISIONE MEIOTICA
Spermatidi (aploidi)
SPERMIOISTOGENESI
Spermatozoi (aploidi)
B


FASE PROLIFERATIVA
Mitosi
2n
Spermatogoni
2n
2n
Mitosi
FASE MEIOTICA
2n
Spermatocito primario
Meiosi I
n
n
Spermatociti secondari
Ponte citoplasmatico
Meiosi II
n
n
n
n
Spermatidi
FASE DIFFERENZIATIVA
n
Spermioistogenesi
n
Spermatozoi

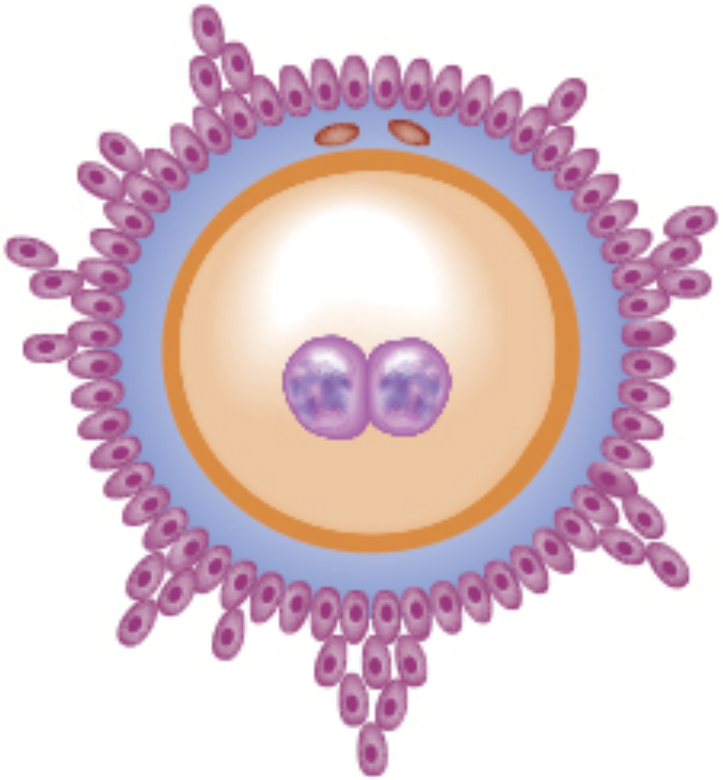

Segmento principale
Annulus
Segmento terminale
Segmento intermedio
Mitocondrio
Collo
Nucleo
Testa
Assonema
Acrosoma
A
B


FASE PROLIFERATIVA
Ovogonio
(diploide)
Mitosi
FASE MEIOTICA E DIFFERENZIATIVA
Ovocito primario
(bloccato nella profase
della meiosi I)
Meiosi I
Primo globulo
polare (aploide)
Ovocito
secondario
(aploide)
bloccato nella
metafase II
Meiosi II
(stimolata dalla
fecondazione)
Secondo globulo
polare (aploide)
Cellula uovo
(aploide)


Corona radiata
Zona pellucida
Citoplasma



Riconoscimento e adesione dello spermatozoo alla cellula uovo durante la fecondazione



Fusione dei pronuclei e formazione dello zigote