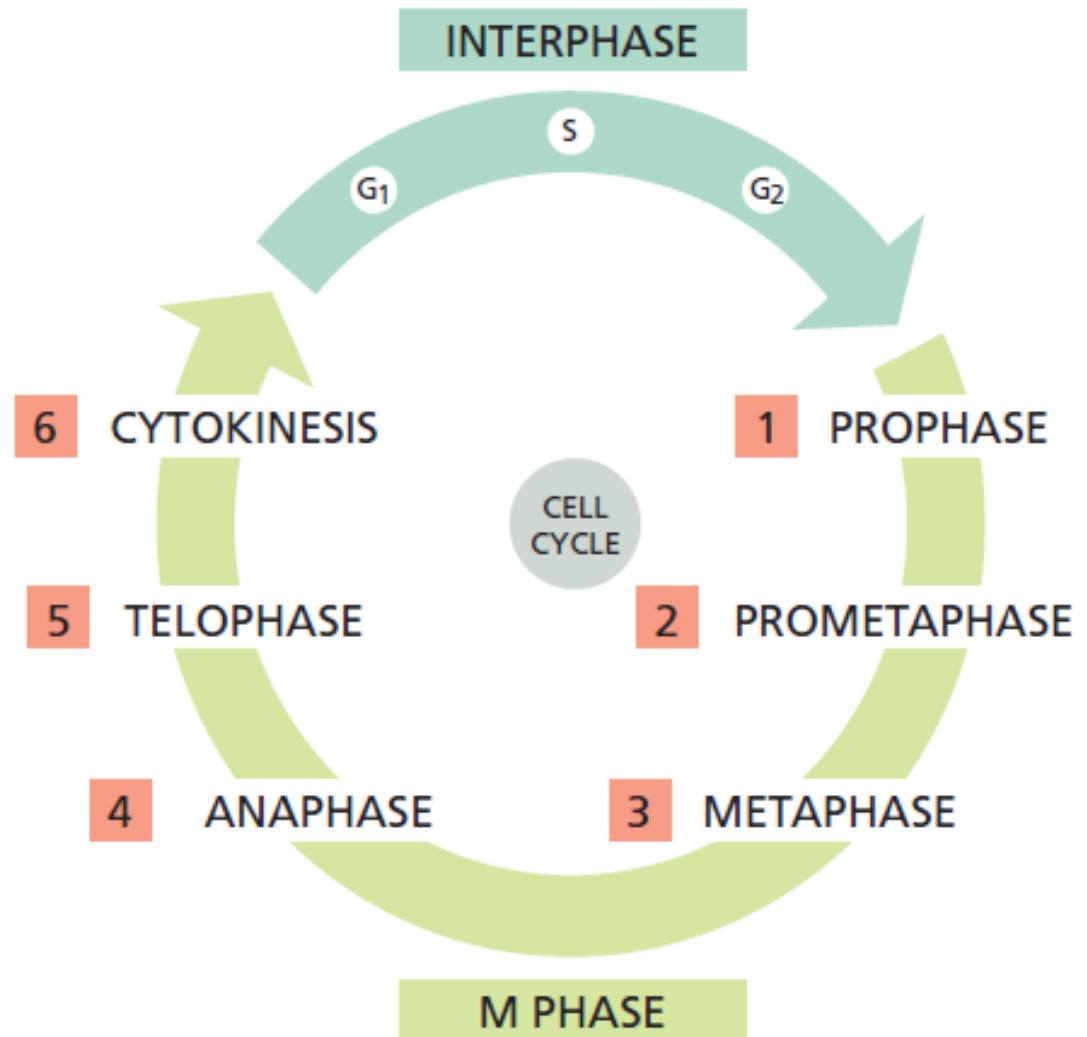
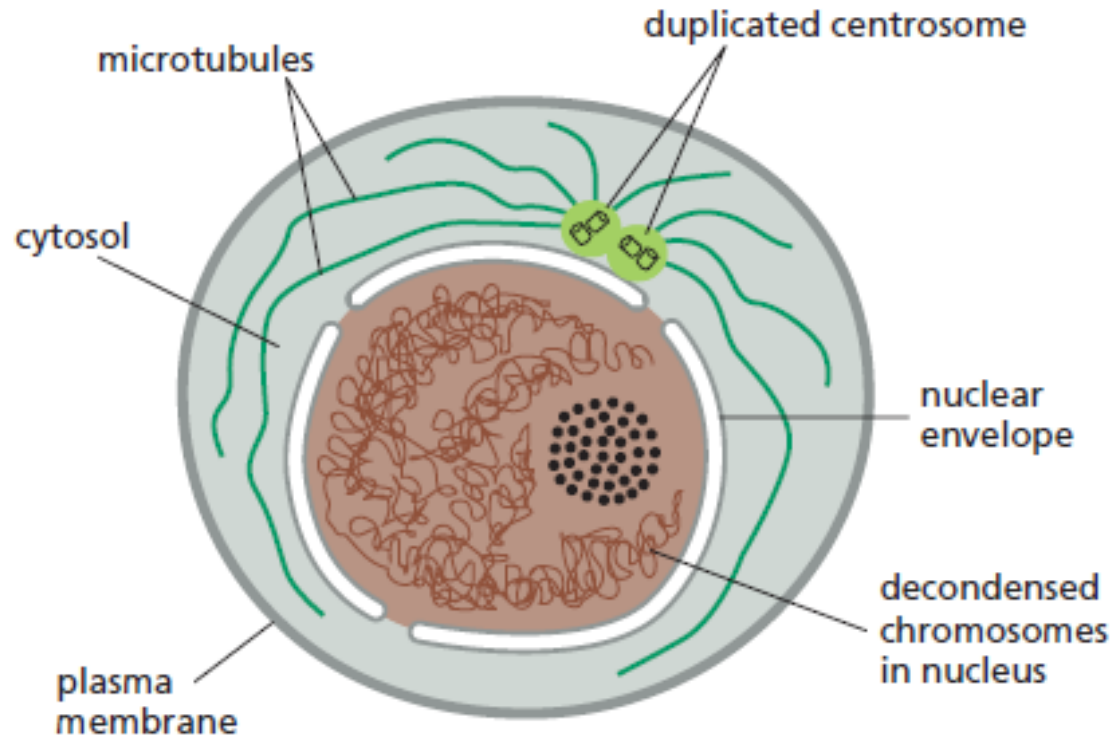


Le sei
suddivisioni
della mitosi:



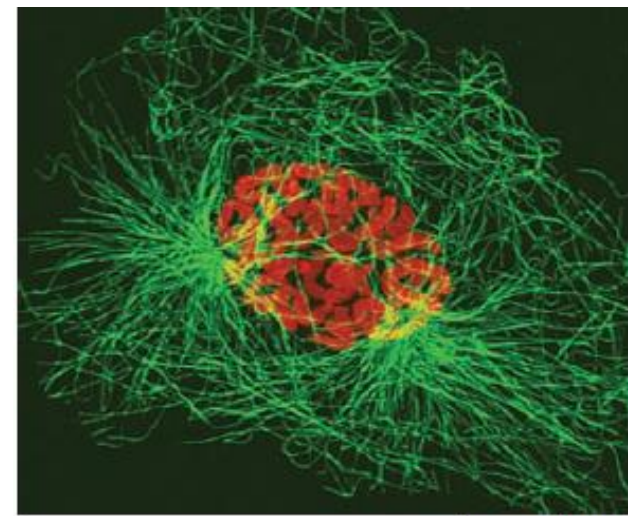
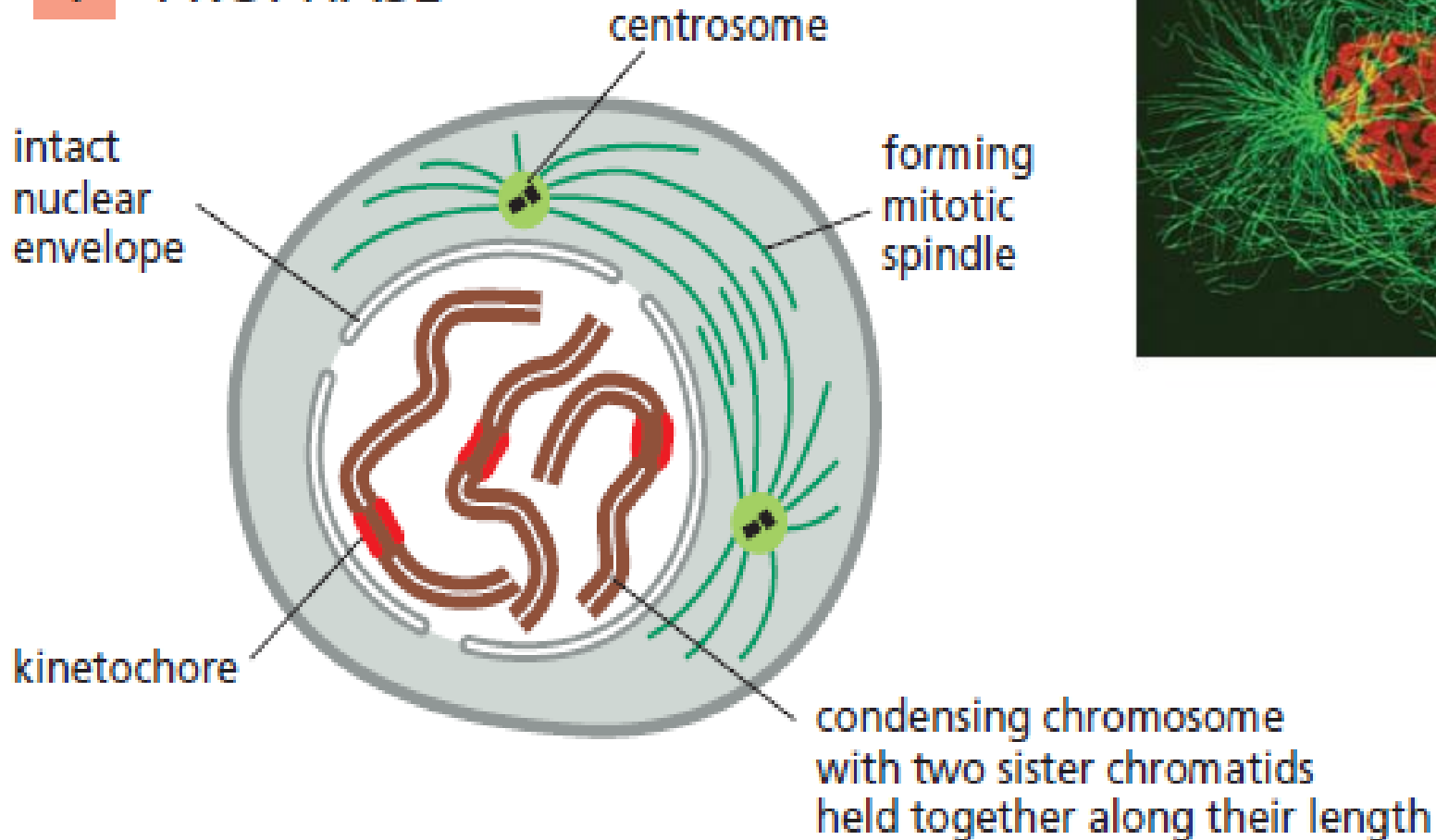
The division of a cell into two daughters occurs in the M phase of the cell cycle. M phase consists of nuclear division, or mitosis, and cytoplasmic division, or cytokinesis. In this figure, M phase has been expanded for clarity. Mitosis is itself divided into five stages, and these, together with cytokinesis, are described in this panel.

INTERPHASE



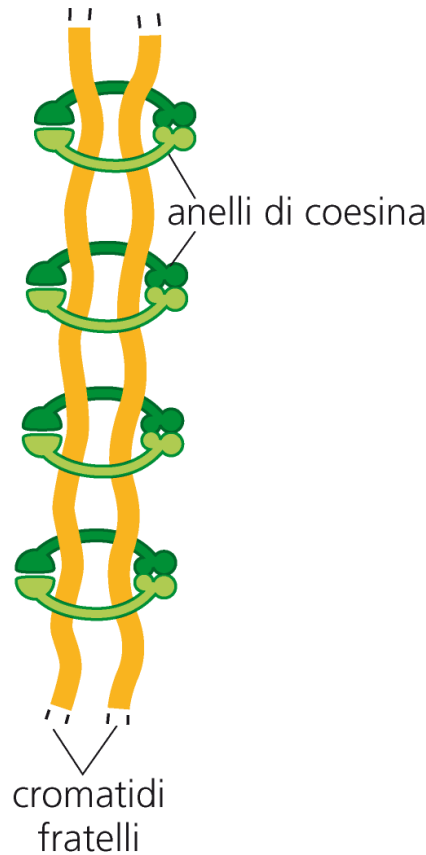
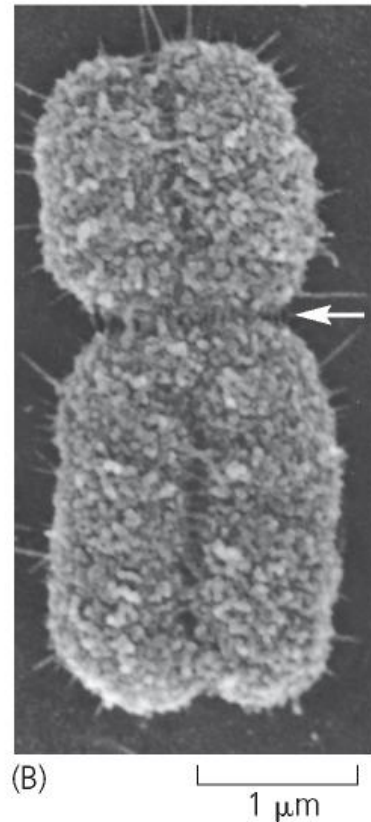
During interphase, the cell increases in size. The DNA of the chromosomes is replicated, and the centrosome is duplicated.

1 PROPHASE



- si condensano i cromosomi replicati
- il fuso mitotico si autoassocia tra i due centrosomi

I cromosomi, replicati nella fase S dell'interfase, vengono condensati in profase. I due cromatidi che compongono ciascun cromosoma si presentano uniti per tutta la loro lunghezza.

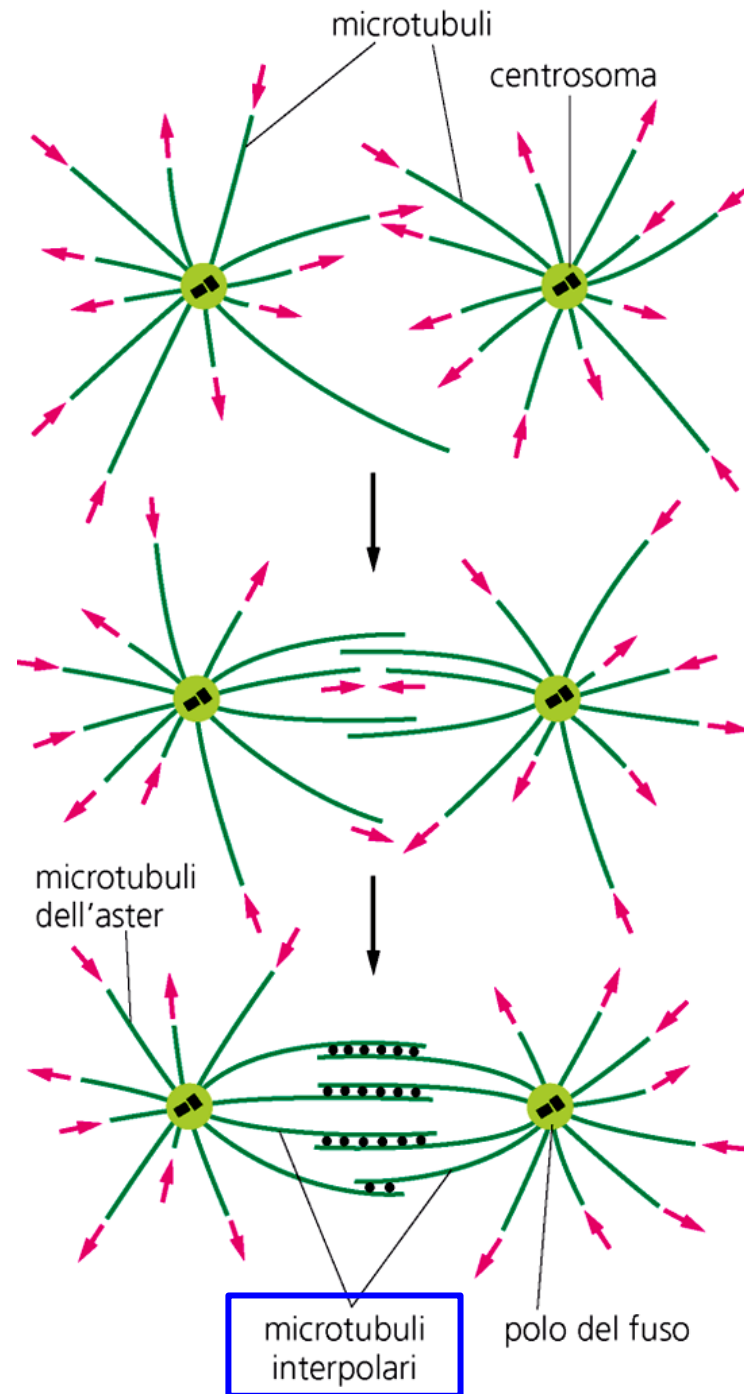


Le **condensine** determinano la spiralizzazione della cromatina, mentre le **coesine** tengono uniti i due cromatidi

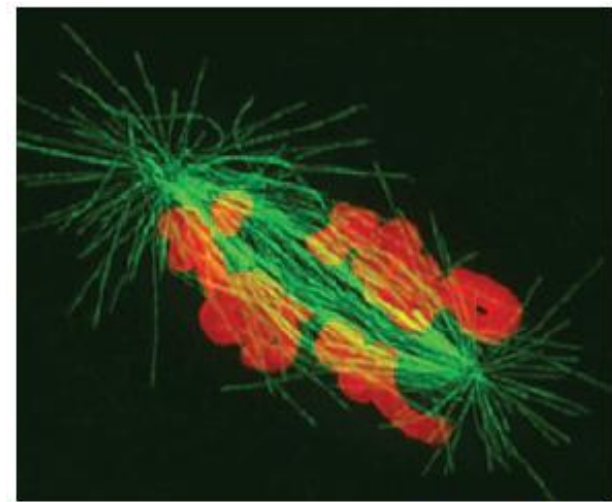
La **fosforilazione delle condensine** è uno dei fattori che determinano la condensazione della cromatina

Come di forma il fuso mitotico?

Durante la Profase, fuori dal nucleo si sta formando **un fuso mitotico bipolare** grazie alla **stabilizzazione selettiva** dei microtubuli che interagiscono nelle regioni di sovrapposizione. Le interazioni tra microtubuli provenienti da centrosomi opposti sono mediate da proteine motrici e proteine stabilizzatrici. Tali microtubuli prendono il nome di **MICROTUBULI INTERPOLARI**

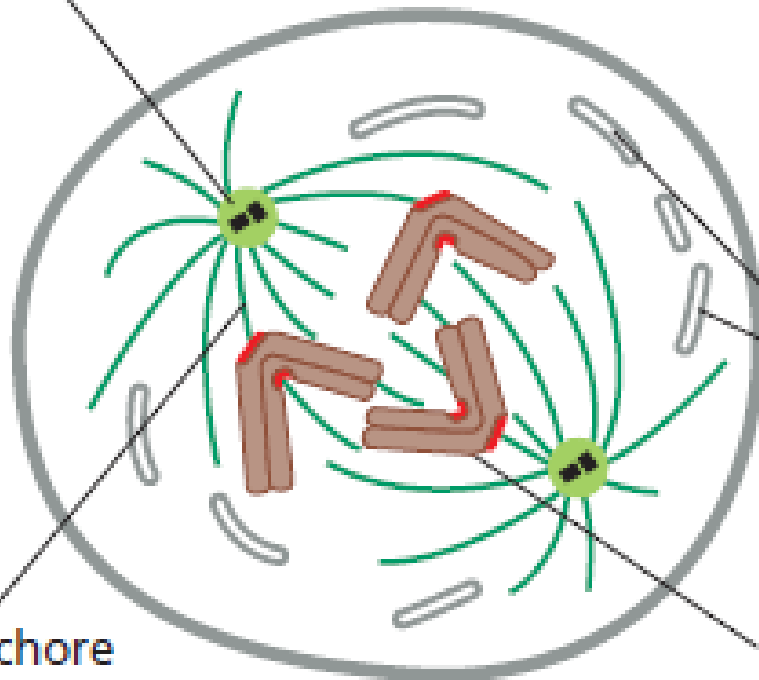


2 PROMETAPHASE



time = 79 min

spindle pole



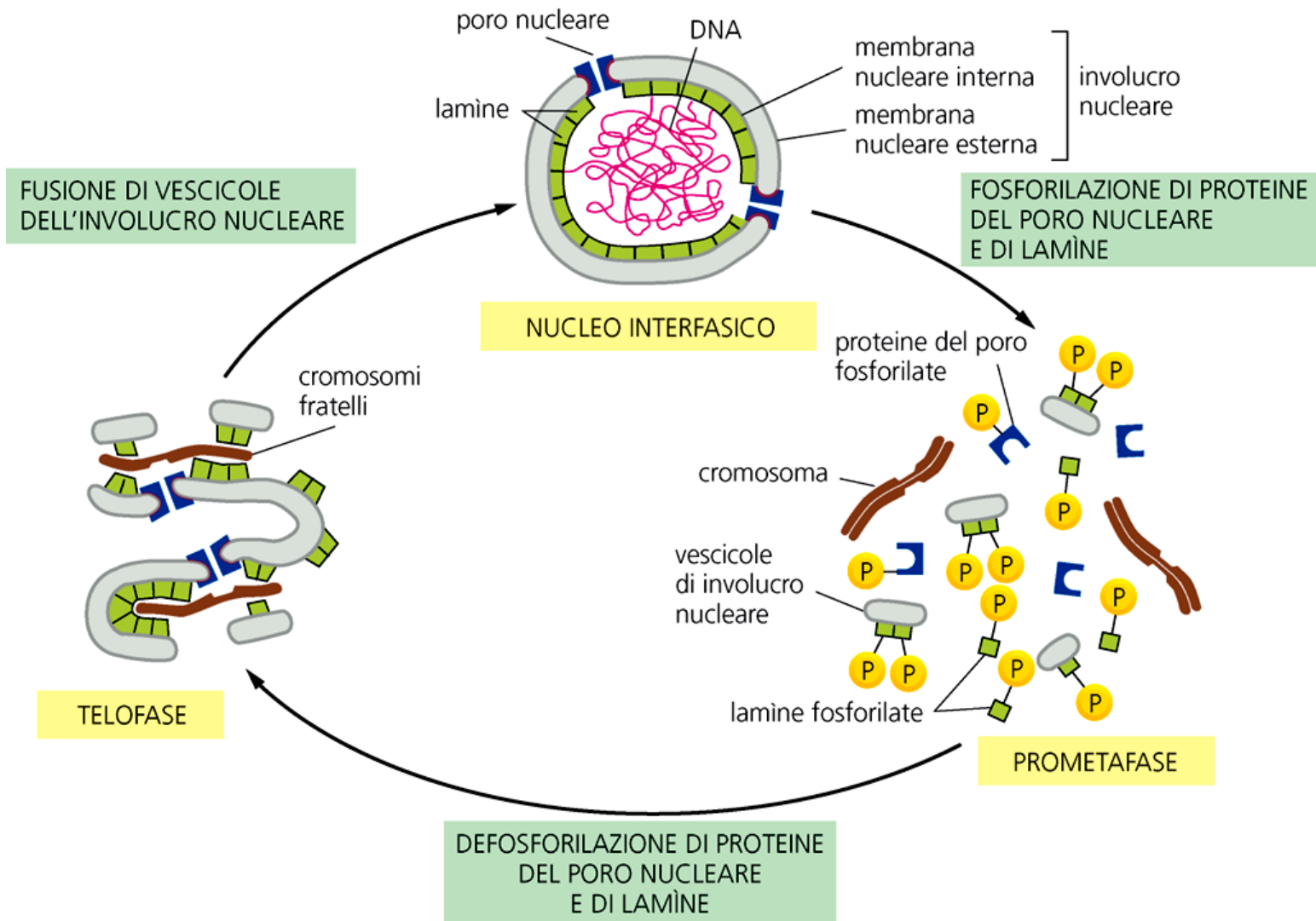
kinetochore
microtubule

fragments of
nuclear envelope

chromosome in motion

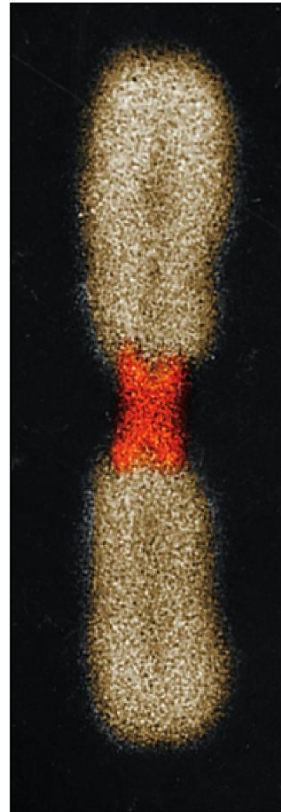
- frammentazione dell'involucro nucleare
- i cromosomi si attaccano ai microtubuli del fuso tramite i loro cinetocori

Durante la mitosi l'involucro nucleare si disgrega e poi si riforma

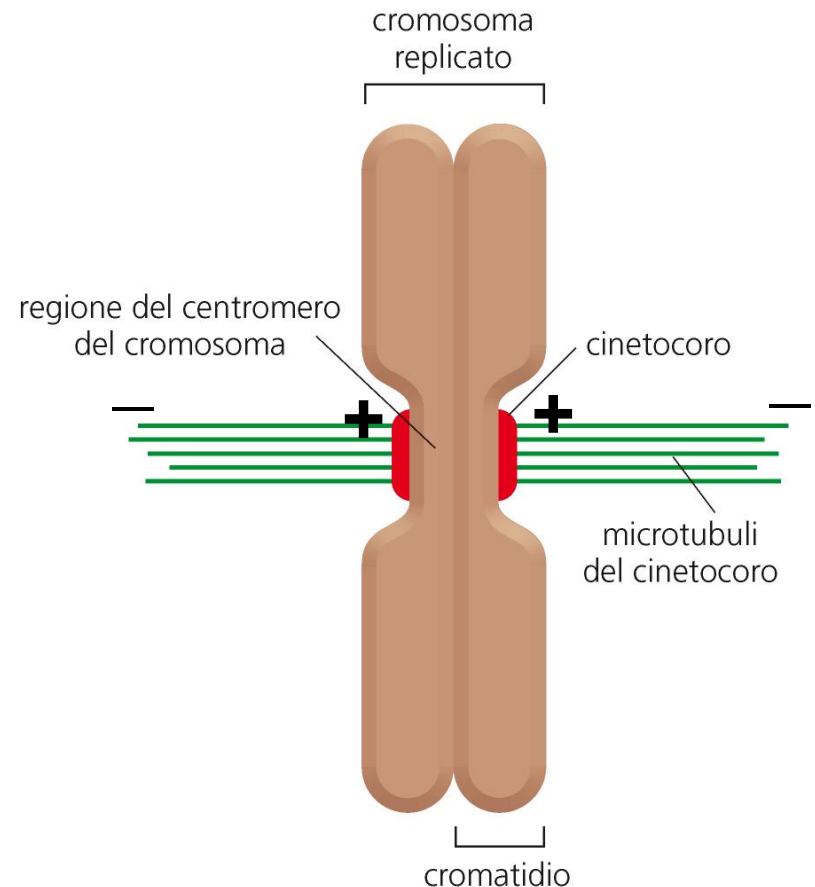


Come si attaccano i cromosomi al fuso mitotico?

... attraverso il **cinetocoro**, un complesso proteico legato al centromero di ciascun cromatidio. In un cromosoma mitotico, ciascuno dei 2 cromatidi ha il suo cinetocoro, legato a un fascio di microtubuli orientati in direzione opposta (cioè che originano dal polo opposto). Questi microtubuli prendono il nome di “**microtubuli del cinetocoro**”



(A)

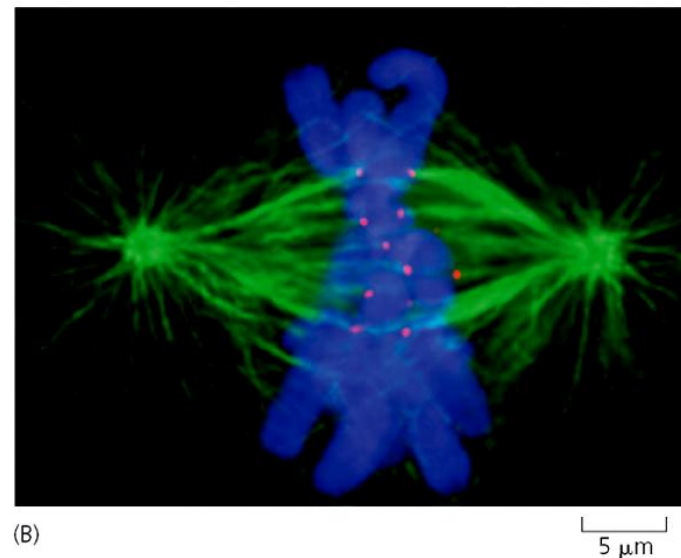
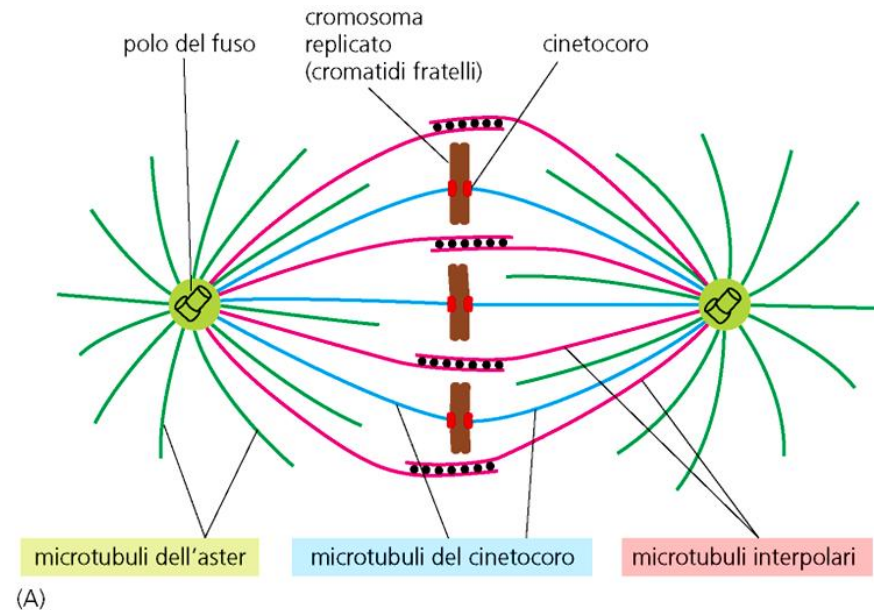


(B)

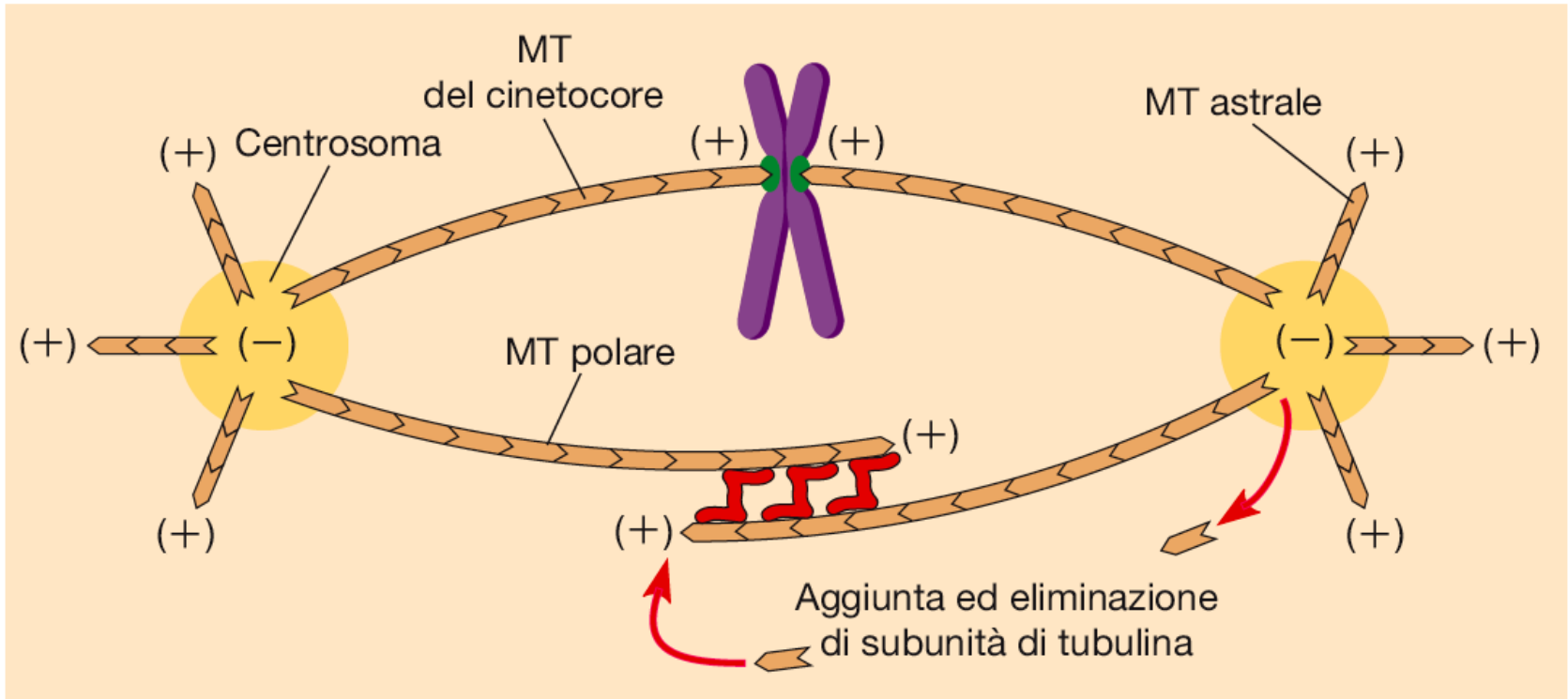
Il fuso mitotico è composto da 3 classi di microtubuli:

- **MT interpolari**
- **MT del cinetocoro**
- **MT dell'aster**

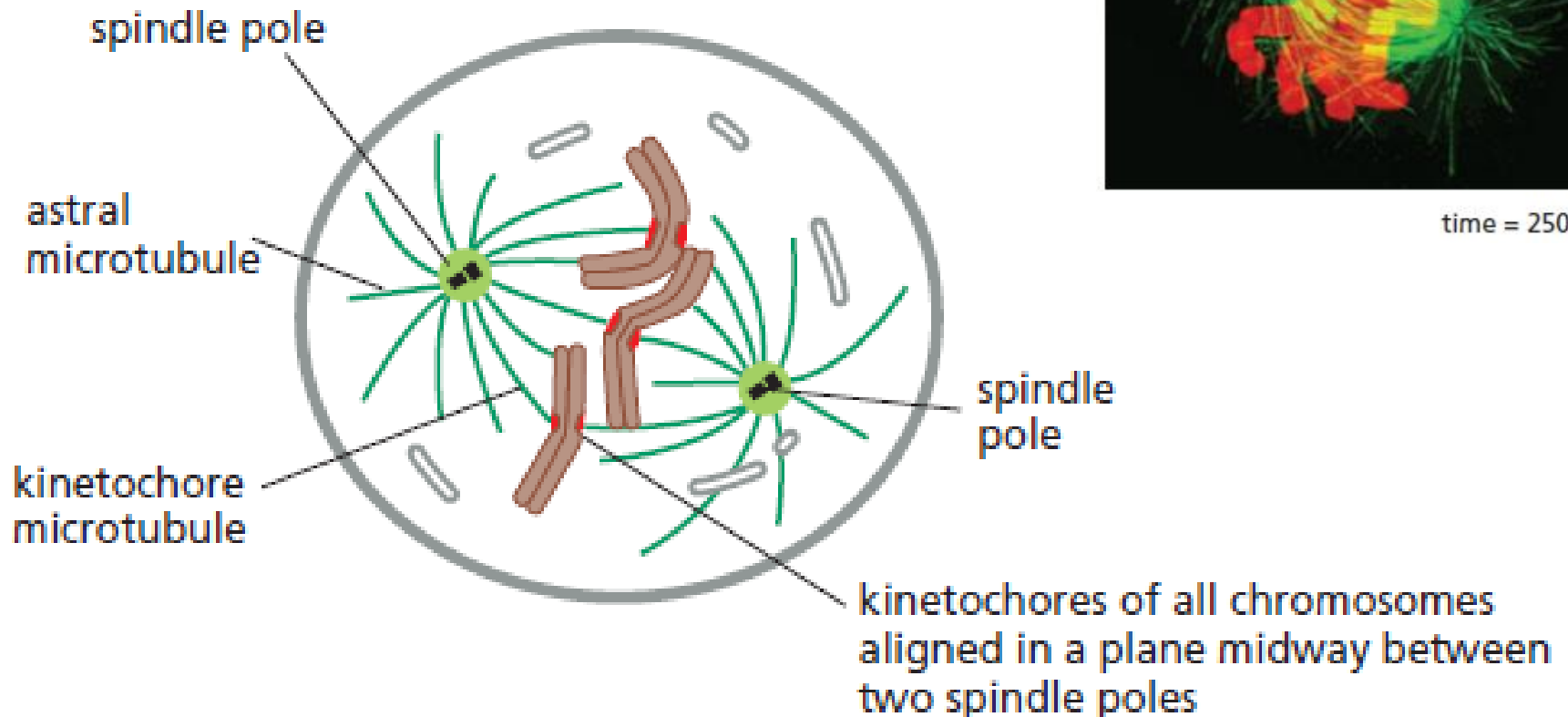
Anche i MT del fuso mitotico (come i MT citoplasmatici presenti all'interfase) sono strutture altamente dinamiche. I MT che riescono a legarsi ad un **bersaglio** diventano maggiormente stabili. I bersagli possono essere un cromatidio (MT del cinetocoro), i MT del polo opposto (MT interpolari), la membrana plasmatica (MT dell'aster).



Polarità dei microtubuli nel fuso mitotico

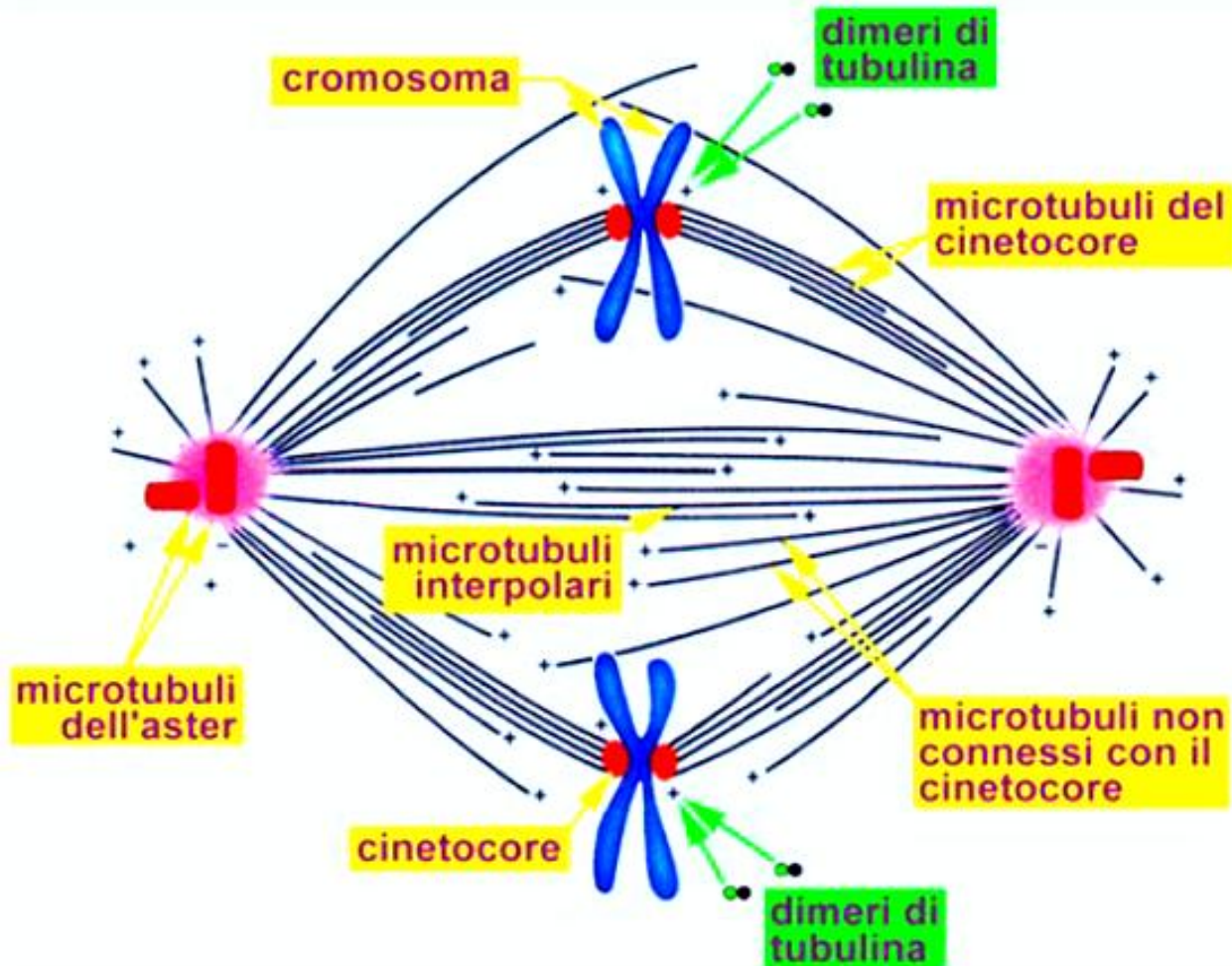


3 METAPHASE

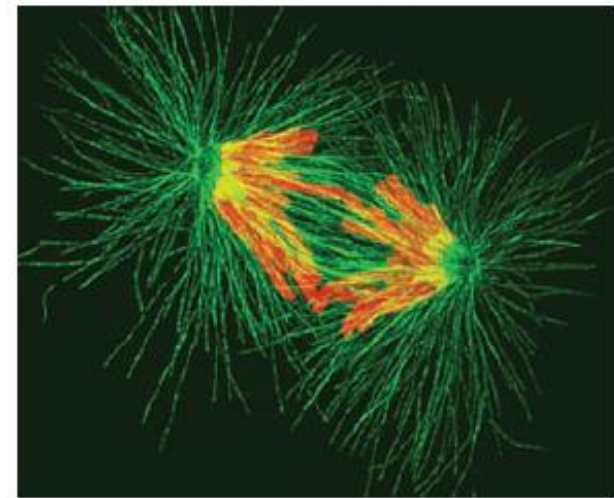
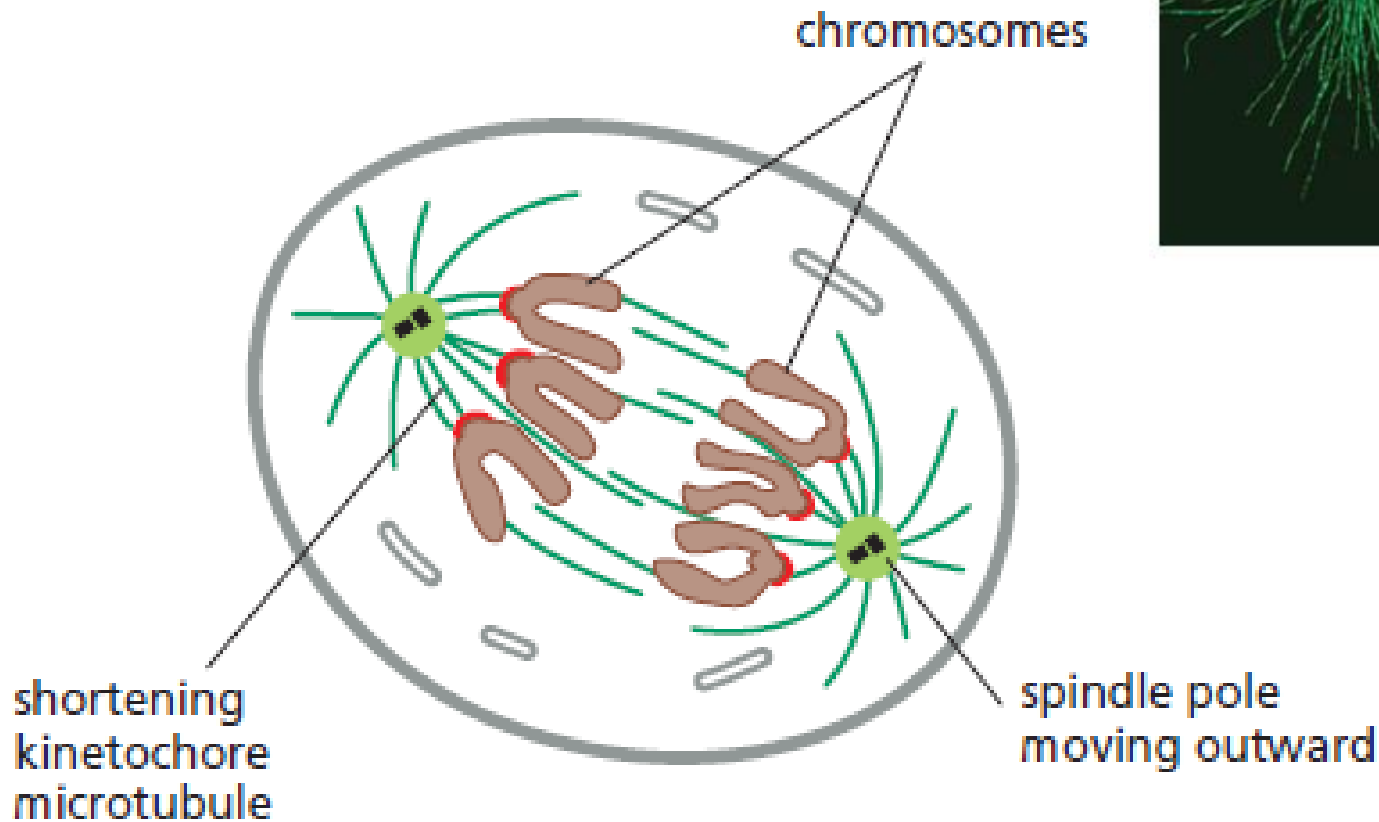


- i cromosomi si dispongono a metà strada tra i poli (equatore)

La localizzazione dei cromosomi sulla piastra equatoriale durante la metafase dipende dall'accrescimento simultaneo dei microtubuli cinetocorici legati ai due cinetocori opposti



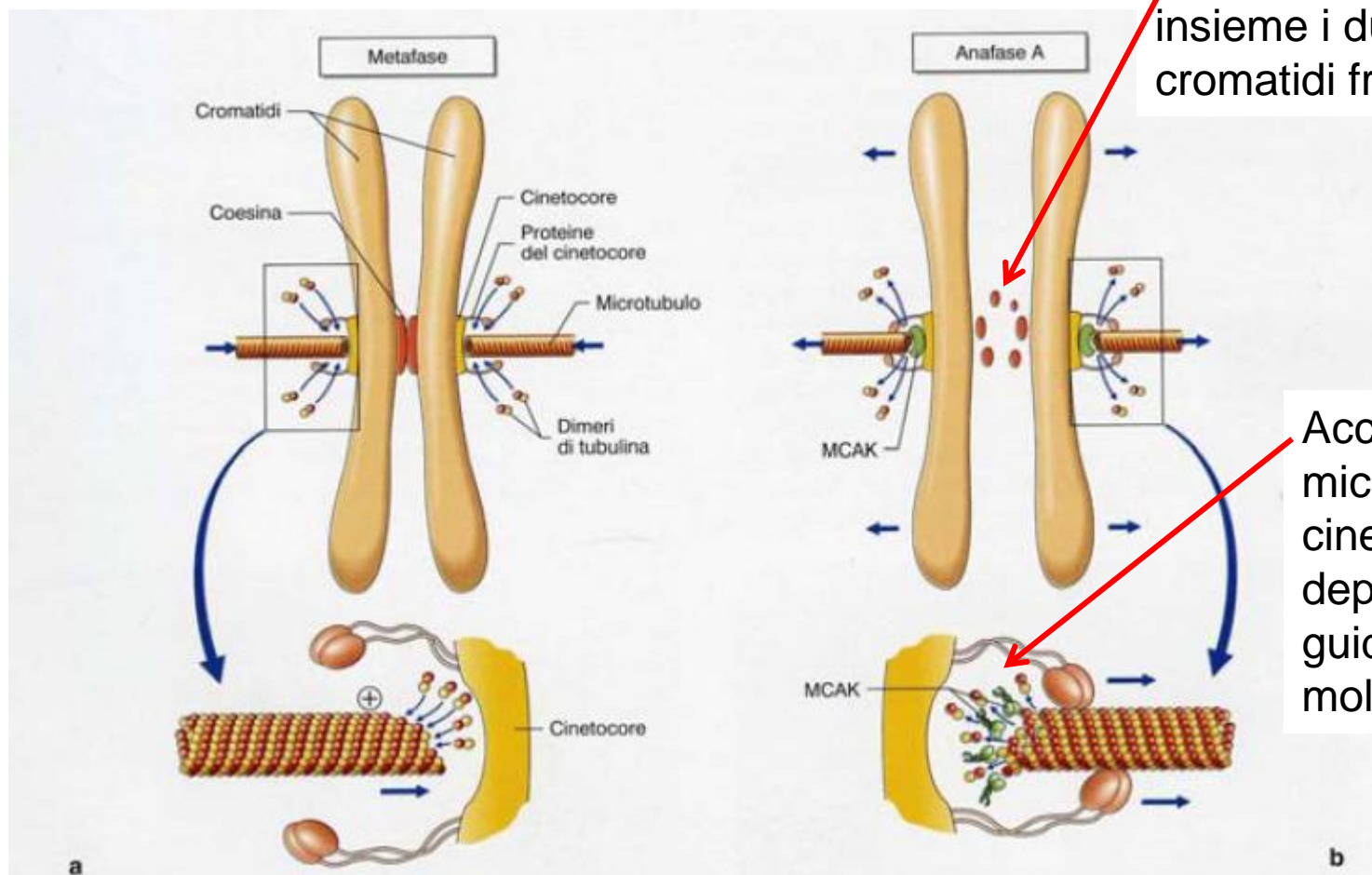
4 ANAPHASE



- i cromatidi appaiati si separano dando luogo ai due cromosomi figli
- i cromosomi figli sono tirati verso i due poli del fuso
- i microtubuli del cinetocoro si accorciano e i poli si allontanano

Quale meccanismo fa scattare l'improvvisa separazione dei 2 cromatidi fratelli durante l'Anafase?

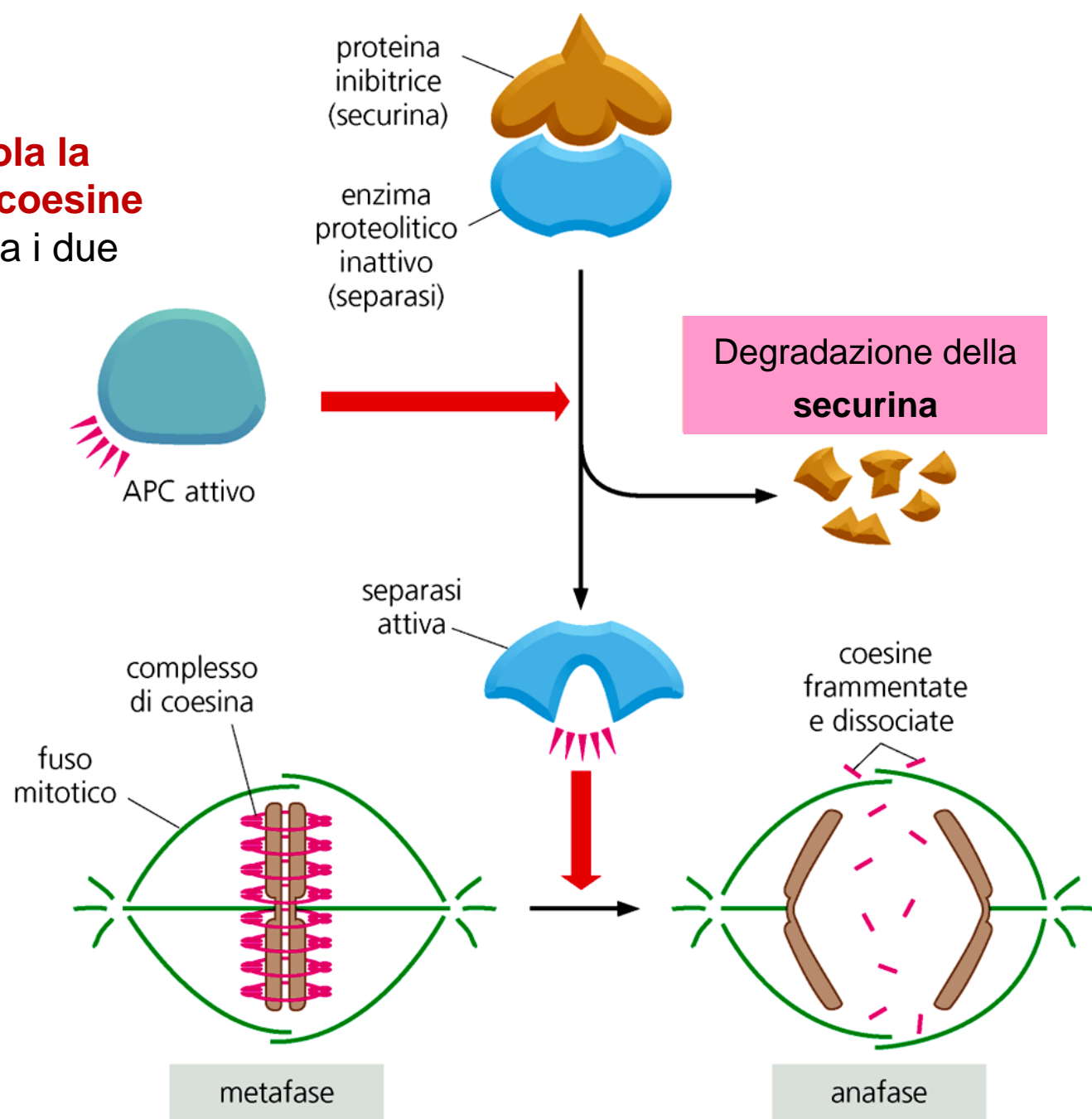
Degradazione della **coesina** che teneva insieme i due cromatidi fratelli



Accorciamento dei microtubuli legati al cinetocoro per depolimerizzazione guidata da motori molecolari

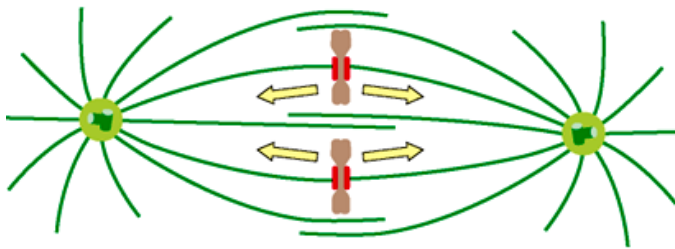
Quale segnale stimola la degradazione delle coesine
(e quindi il distacco tra i due cromatidi fratelli) ?

APC = Anaphase Promoting Complex

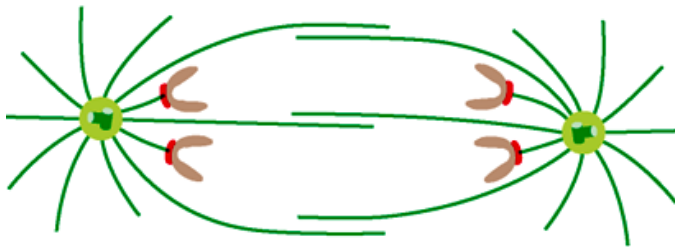


Due tipi di movimento dei microtubuli coinvolti nella separazione dei cromatidi fratelli durante l'Anafase

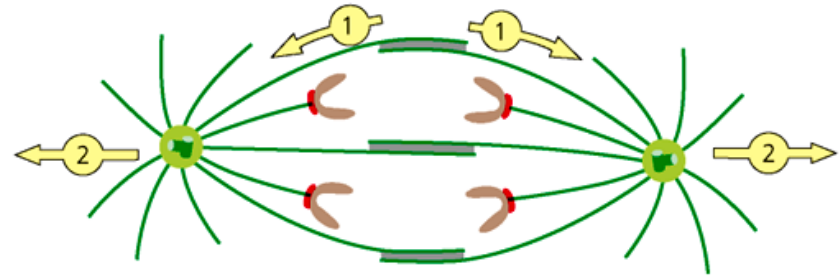
ANAFASE A I CROMOSOMI VENGONO TIRATI VERSO I POLI



accorciamento dei microtubuli del cinetocoro: nei cinetocori si generano forze che spostano i cromosomi verso il polo al quale sono collegati



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

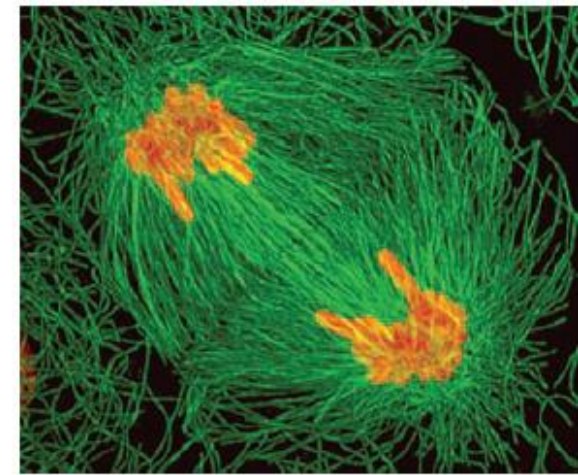


tra i microtubuli interpolarari provenienti da poli opposti del fuso si sviluppa una forza di scorrimento che spinge i poli (1); sui poli agisce direttamente anche una forza trainante (2) che li allontana

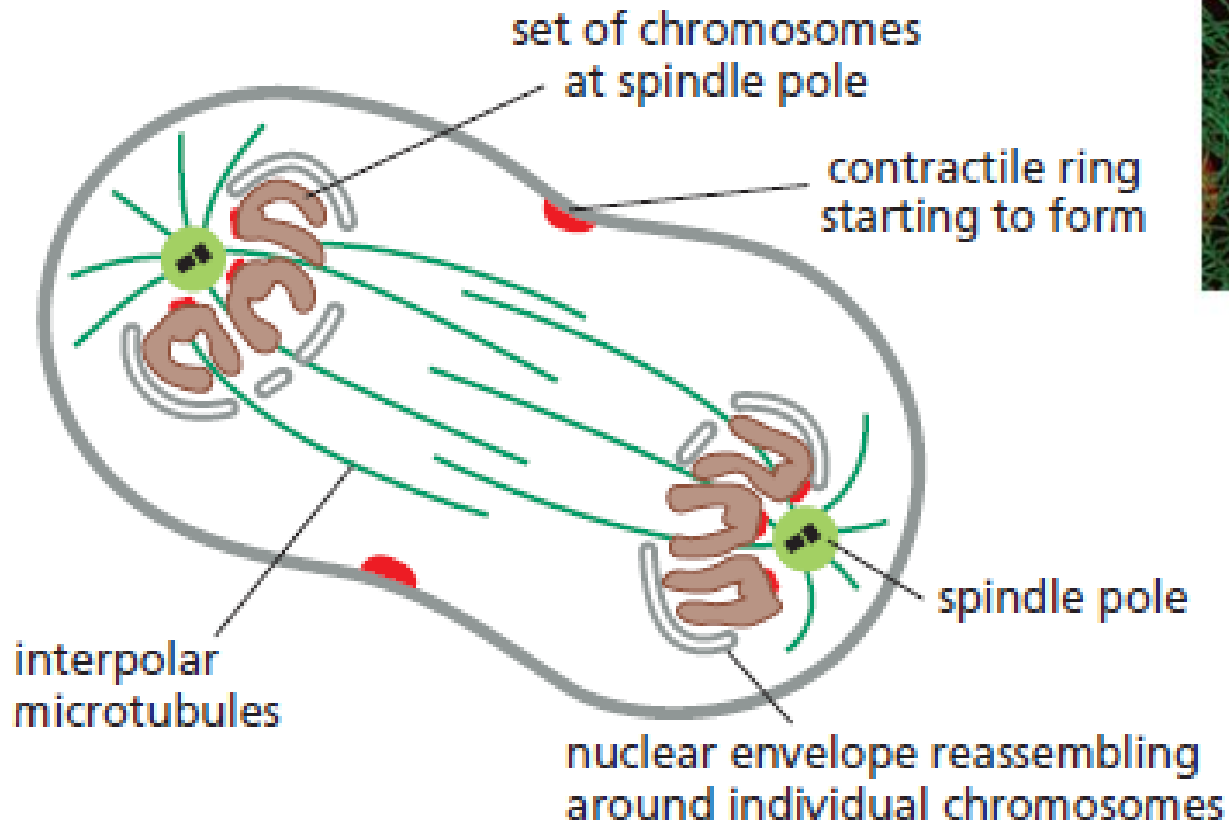


allungamento dei microtubuli all'estremità più dei microtubuli interpolarari

5 TELOPHASE

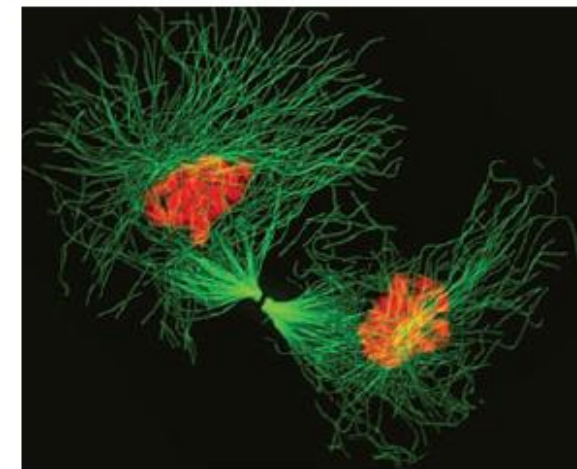


time = 315 min

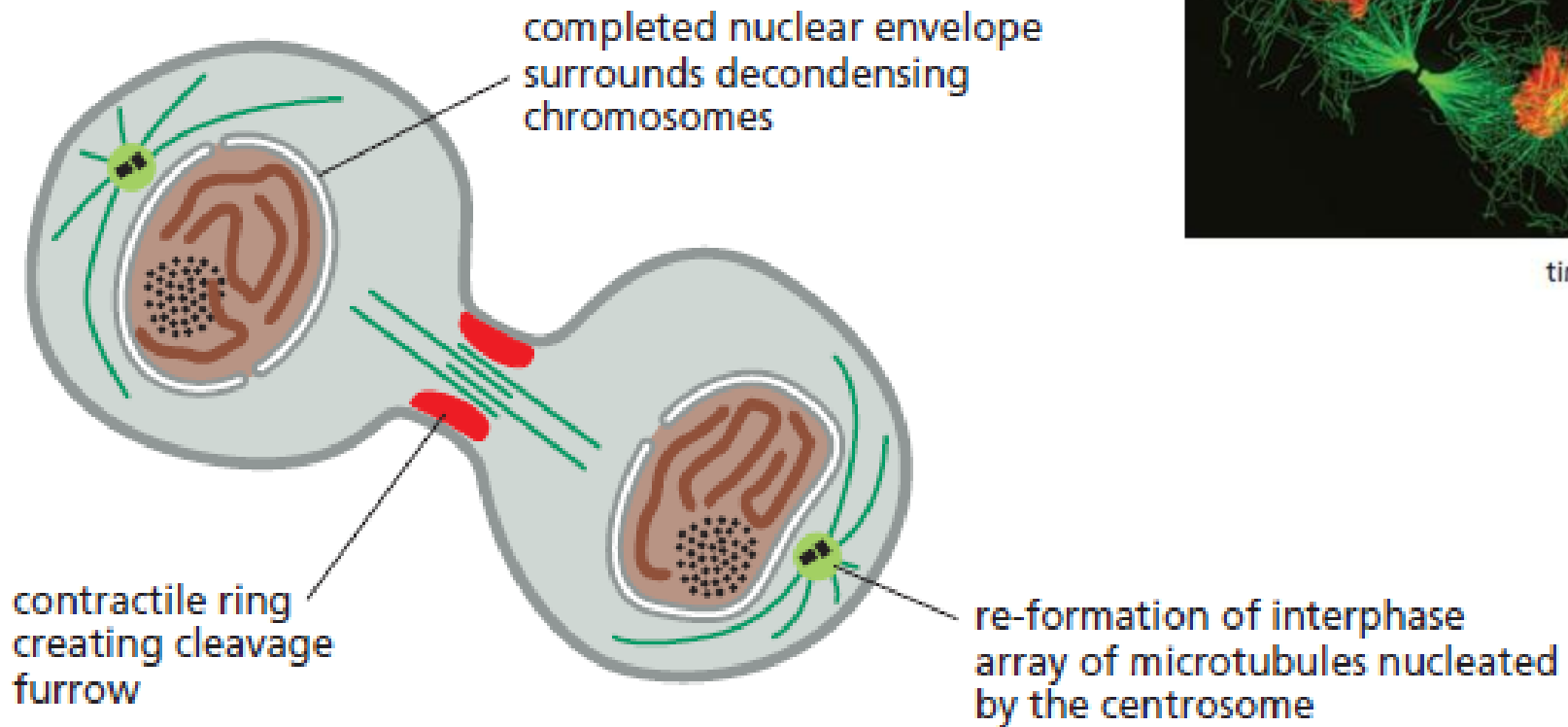


- i due gruppi di cromosomi figli raggiungono i poli del fuso
- si costituiscono gli involucri nucleari dei due nuclei
- inizia la divisione del citoplasma con l'assemblaggio dell'anello contrattile

6 CYTOKINESIS

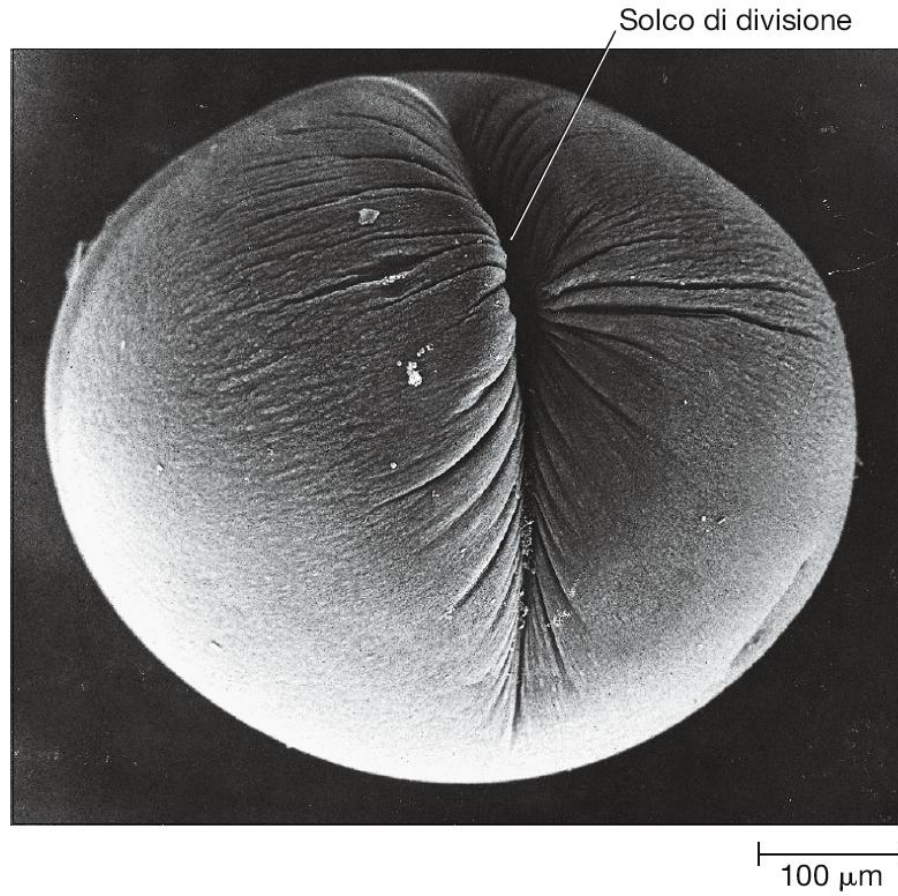


time = 362 min

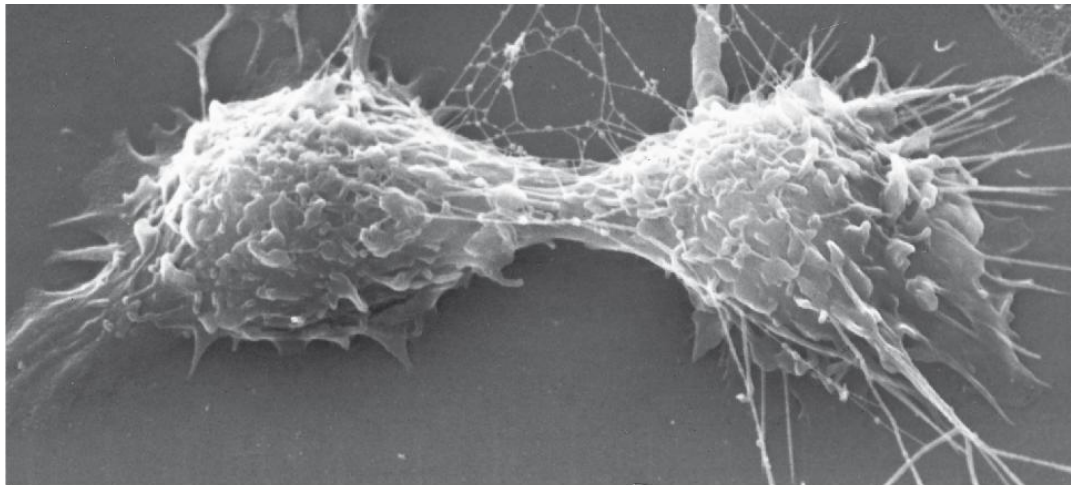


- la cellula animale si divide per mezzo dell'anello contrattile che crea una strozzatura

Citochinesi in una cellula animale

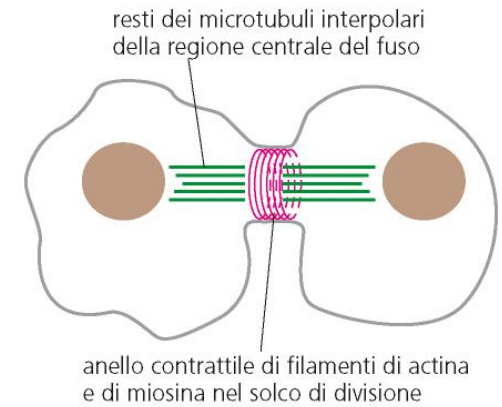


Un anello contrattile di actina e miosina divide le cellule in due

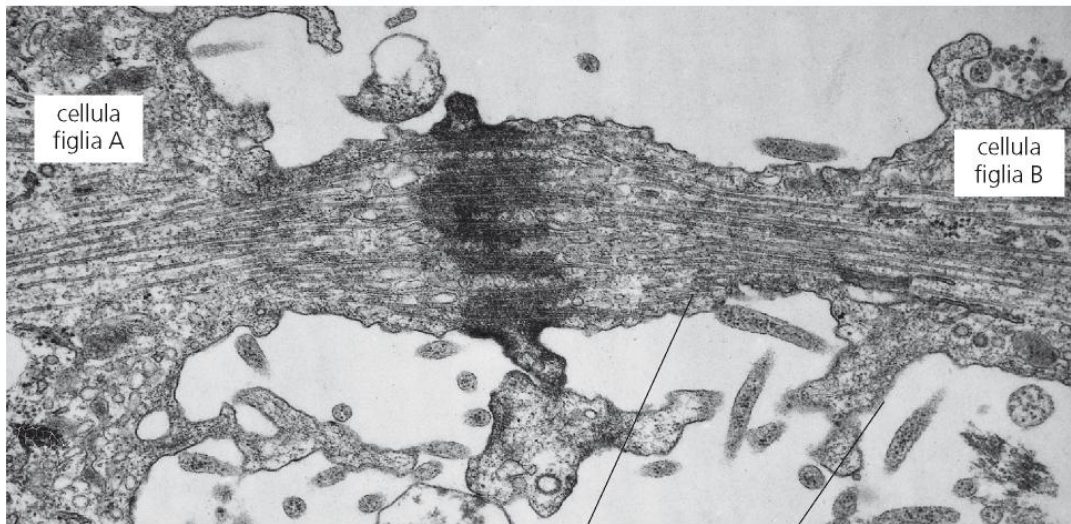


(A)

10 μm



(B)



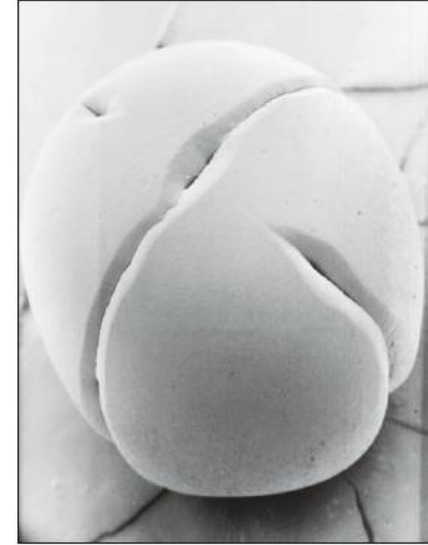
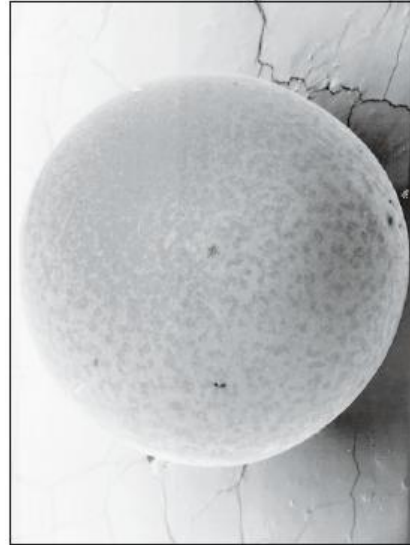
(C)

resti dei microtubuli interpolari

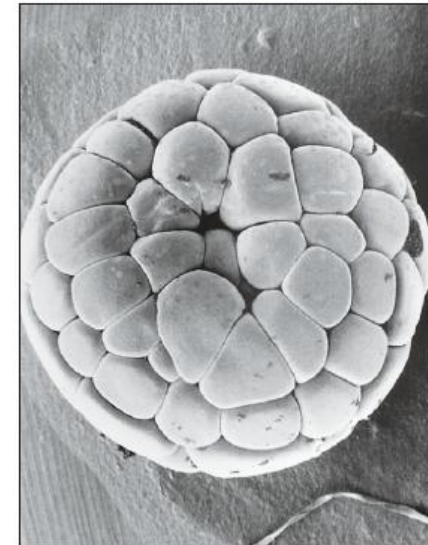
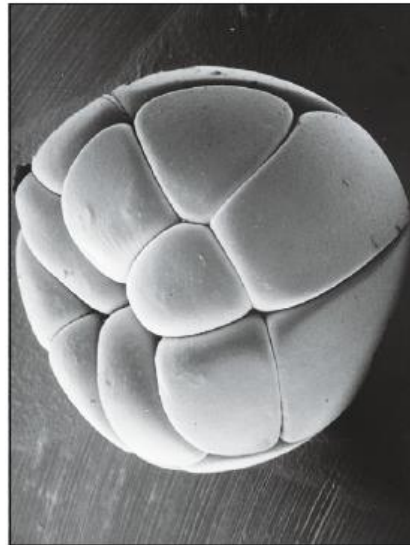
membrana plasmatica

1 μm

Segmentazione di un **uovo fecondato** in cellule sempre più piccole: rappresenta una eccezione! di solito le cellule figlie hanno dimensioni comparabili con quelle della cellula madre.

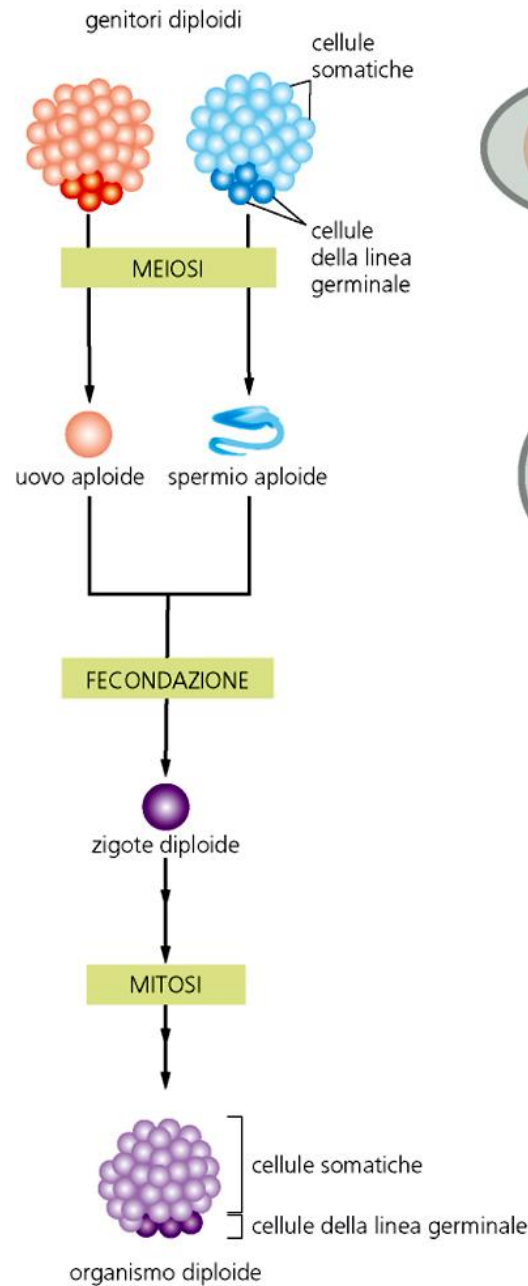


Questo uovo di anfibio aveva citoplasma sufficiente per sostenere molti cicli di divisione cellulare dopo la fecondazione. In questo caso le fasi G del ciclo cellulare sono state molto rapide.

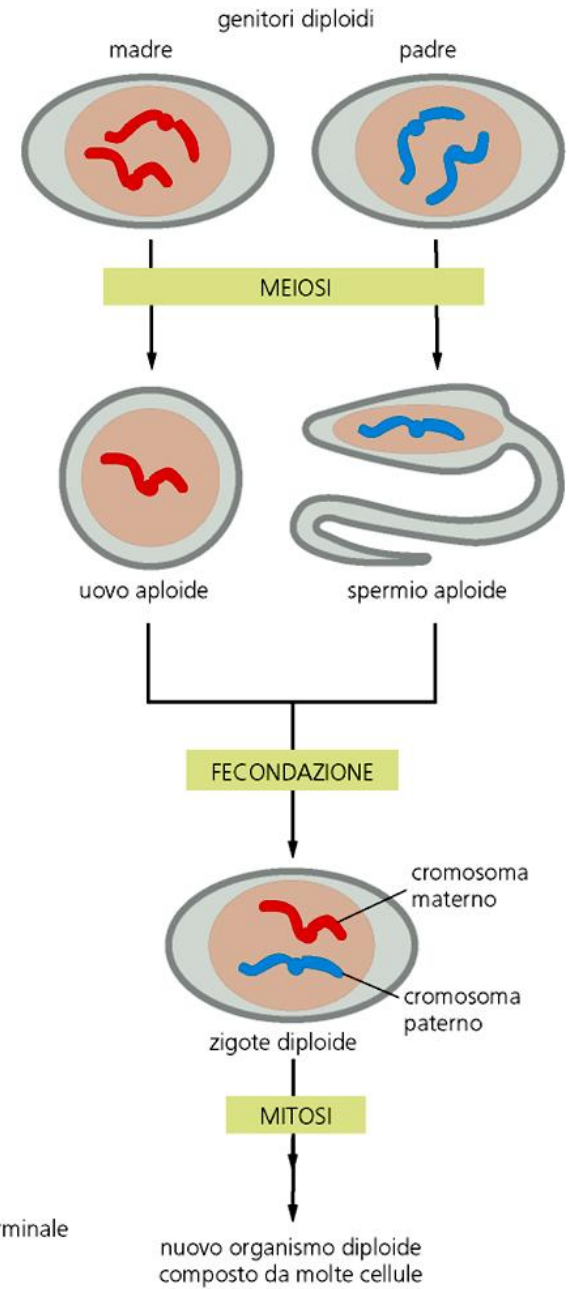


LA MEIOSI

Un organismo animale è costituito da **cellule somatiche** e cellule **germinali**. Le cellule germinali “precursori” dei gameti maturi sono diploidi. I gameti maturi (uovo e spermatozoo) sono invece **aploidi** e originano dai precursori germinali per **MEIOSI**

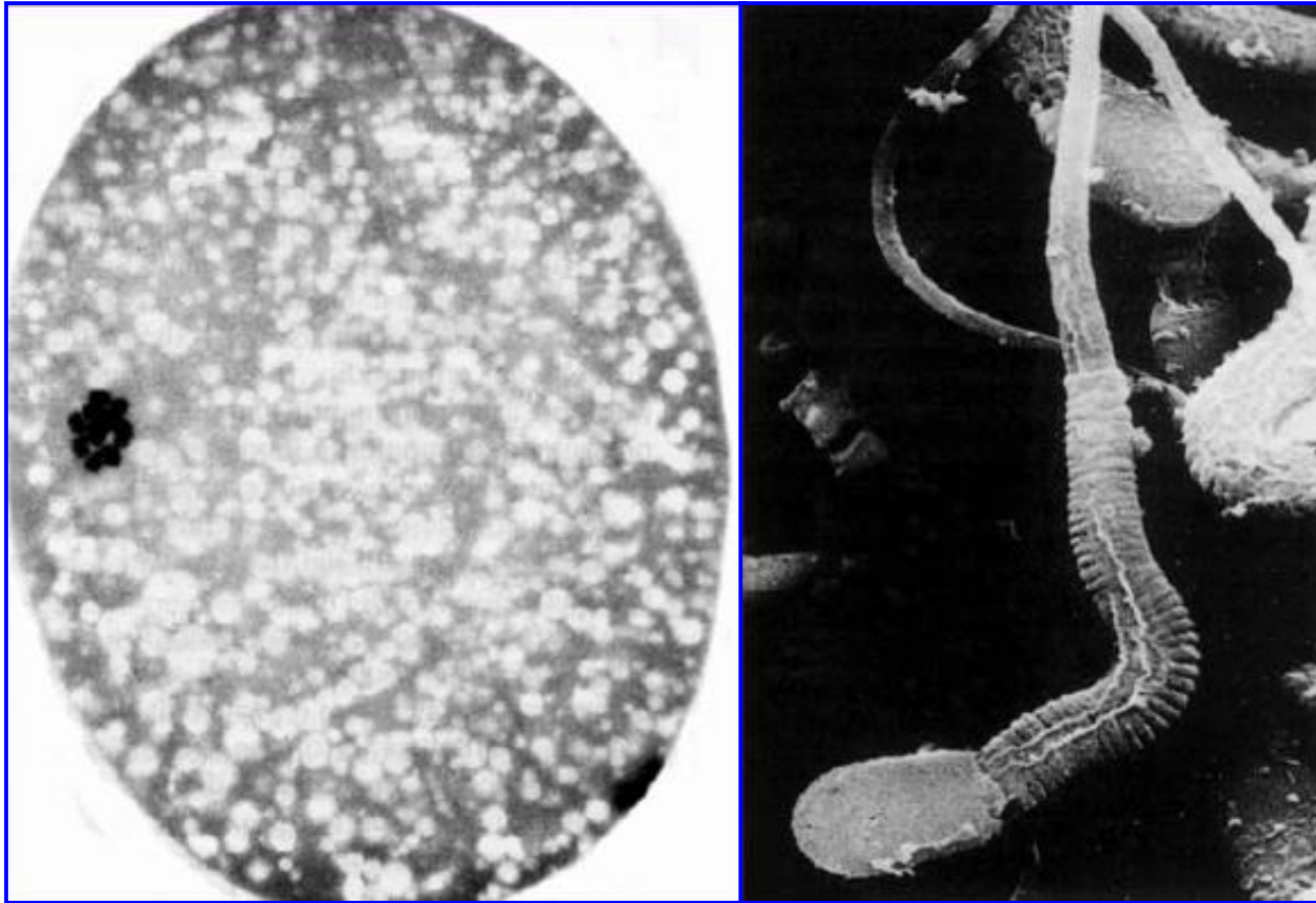


(A)

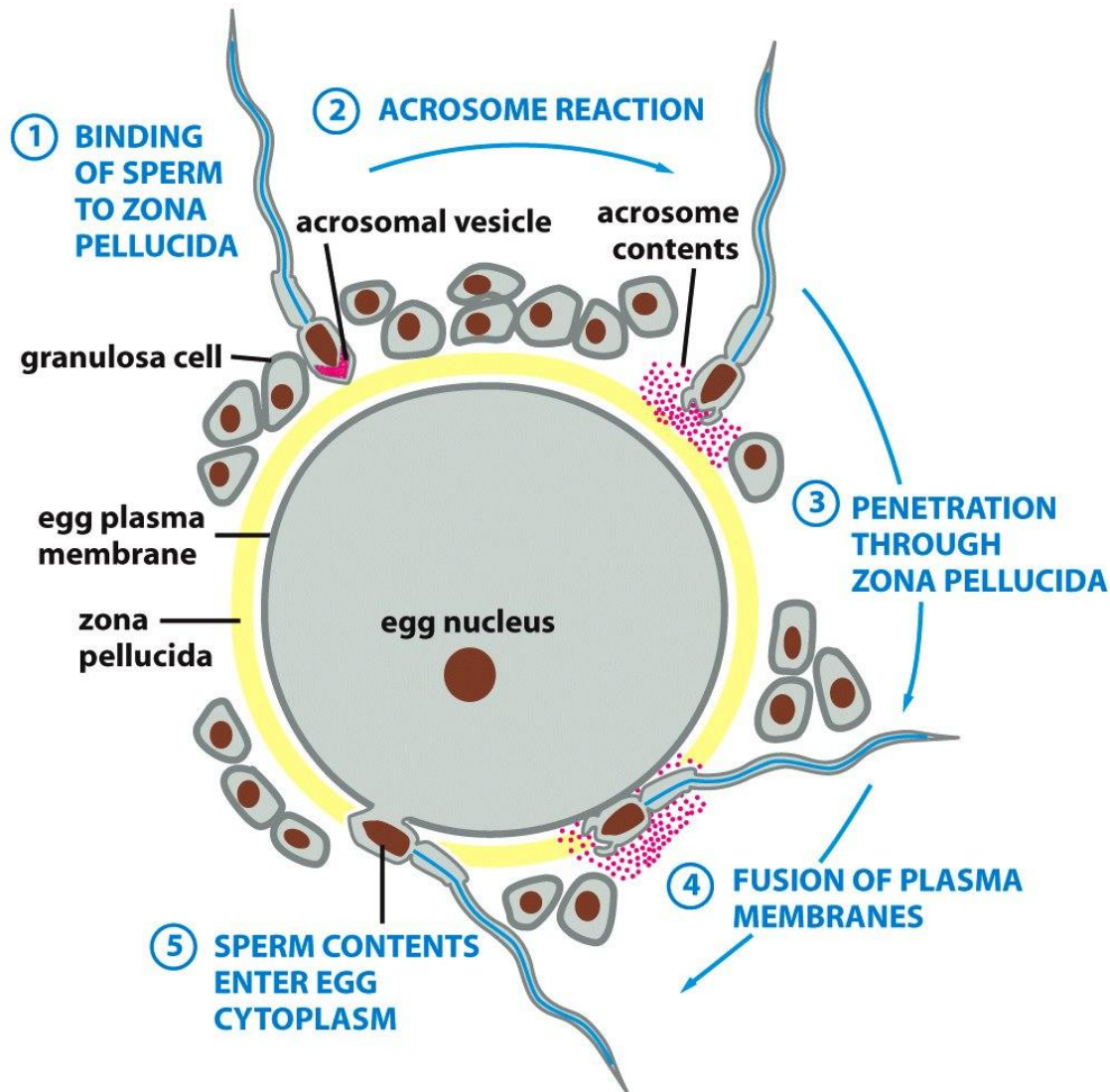


(B)

I gameti maturi sono aploidi (es., uomo: $N = 23$ cromosomi)

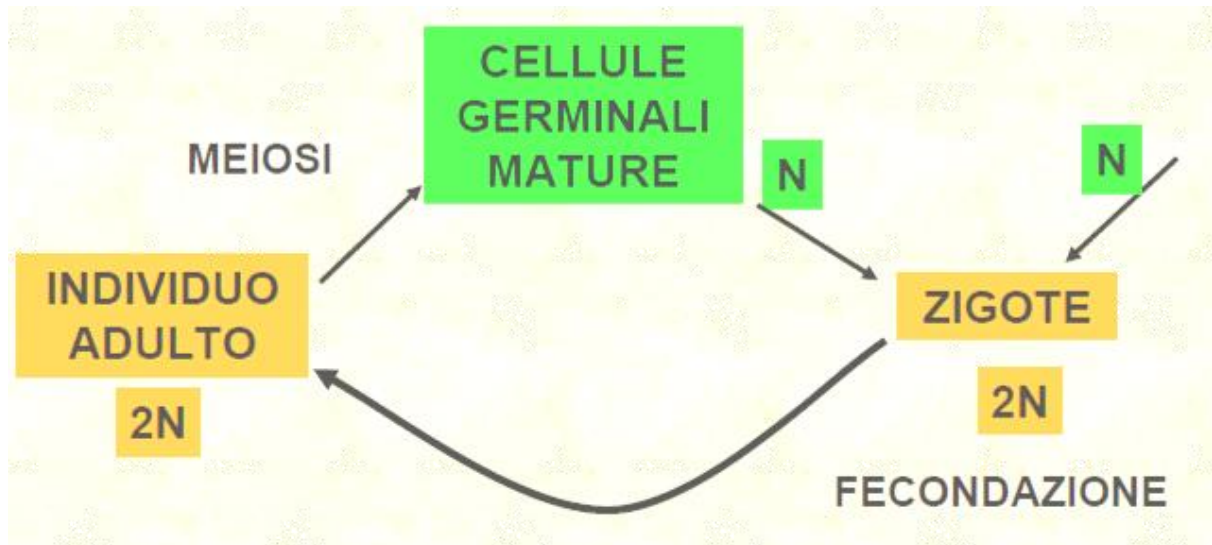


Con la fecondazione si ha il ripristino della diploidia



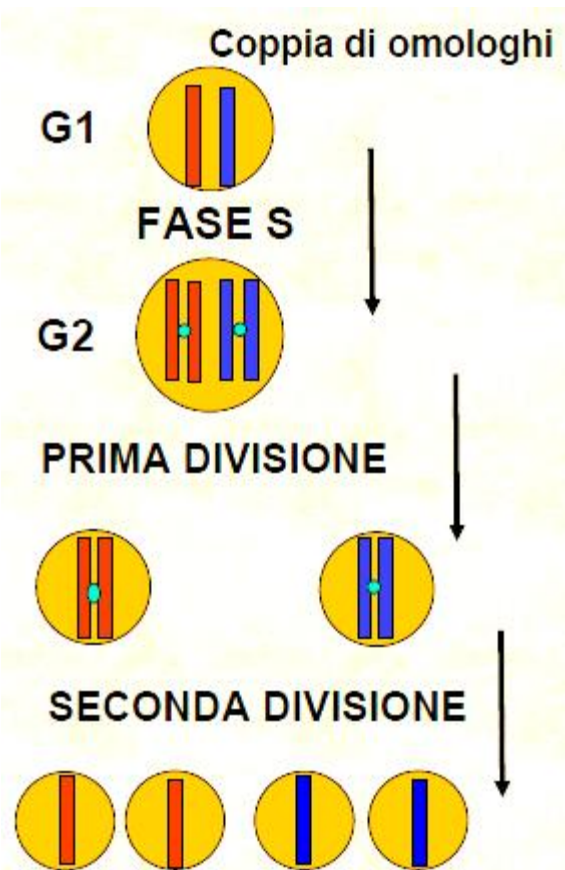
La produzione di cellule aploidi si ottiene grazie ad un meccanismo di divisione cellulare specializzato, detto **MEIOSI**

Nella maggior parte dei viventi, tra cui gli animali, la meiosi si verifica a partire da alcune cellule diploidi della linea germinale. Negli animali vertebrati, la meiosi avviene nelle ovaie e nei testicoli



In che modo la meiosi riduce l'assetto genetico da diploide ad aploide?

Semplice! Nella meiosi alla fase S (replicazione del DNA) seguono due successive divisioni (non più intervallate da una seconda fase S) che producono 4 cellule aploidi



46 cromosomi (23 coppie di cromosomi omologhi)
ogni cromosoma è formato da un cromatidio

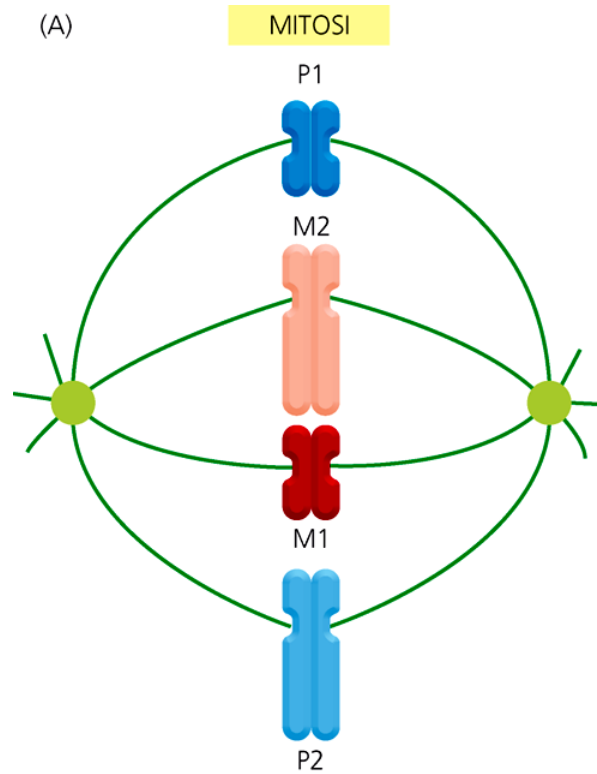
ogni cromosoma è formato da due cromatidi

ogni cellula figlia riceve un cromosoma formato da due cromatidi

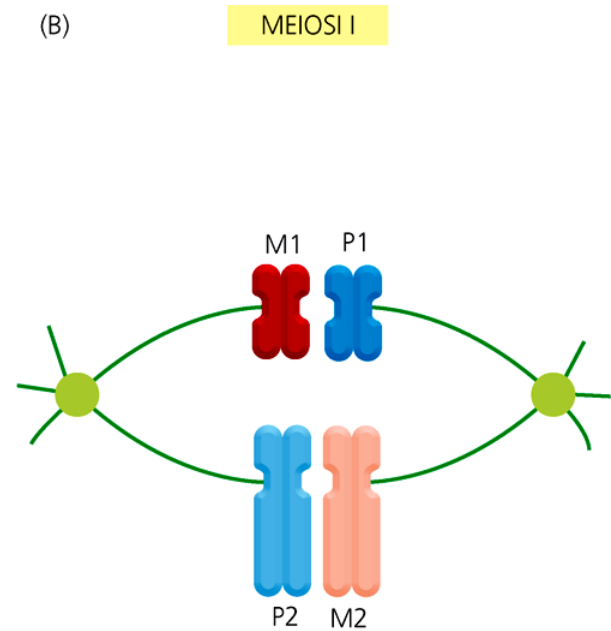
ogni cellula figlia riceve un cromatidio per ogni cromosoma

Differenze tra meiosi e mitosi

Durante la meiosi i cromosomi omologhi si appaiano prima di allinearsi all'equatore del fuso

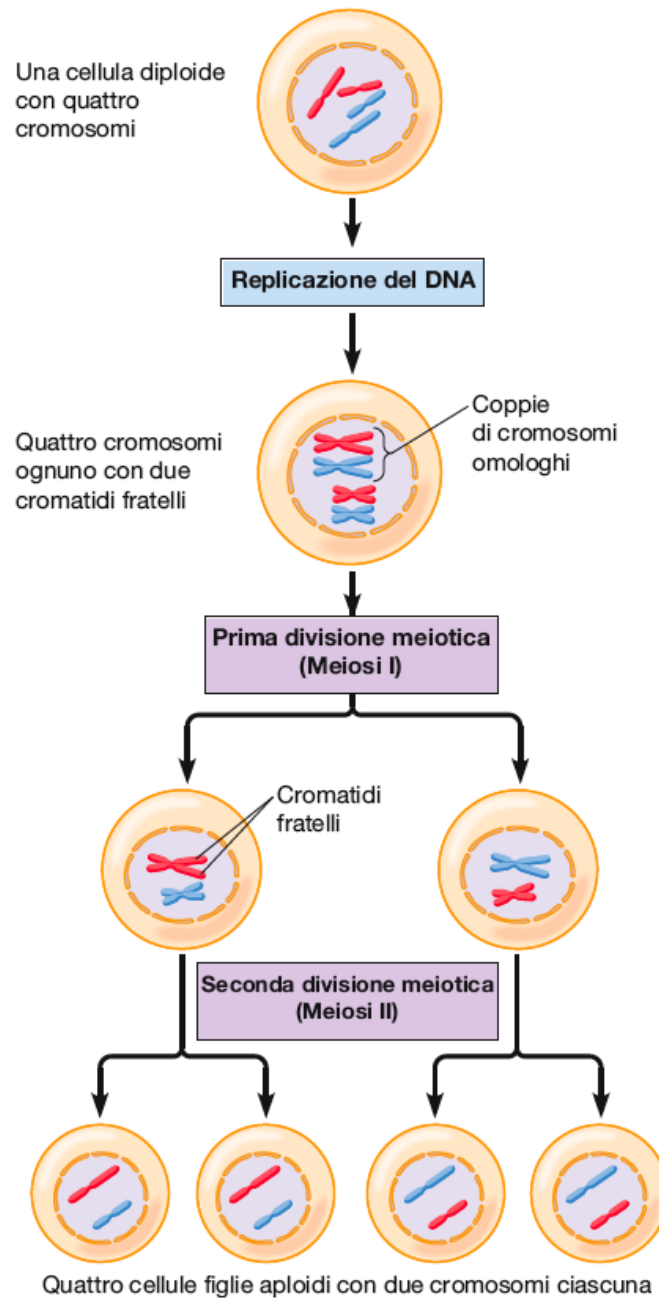


i cromosomi omologhi si dispongono indipendentemente sulla piastra metafasica

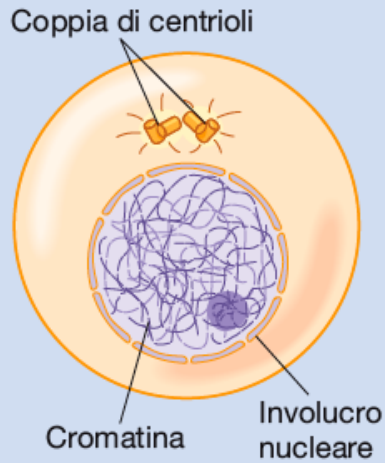


i cromosomi omologhi sulla piastra metafasica sono appaiati

La meiosi in sintesi

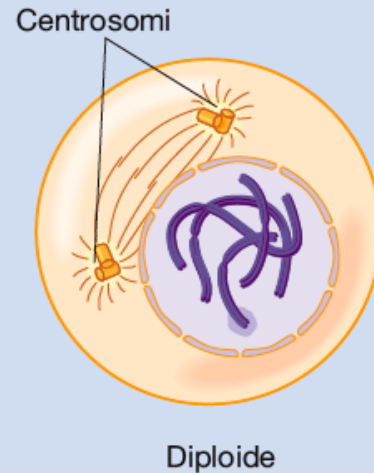


INTERFASE I

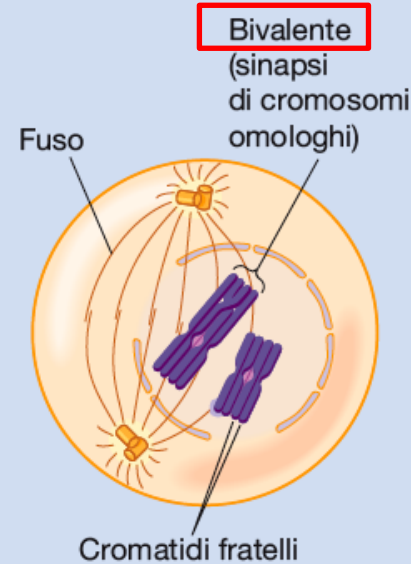


MEIOSI I (Divisione riduttiva)

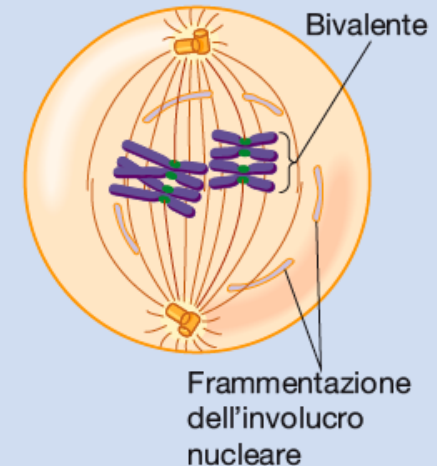
PROFASE I INIZIALE



PROFASE I CENTRALE



PROFASE I TARDIVA



(a)

Bivalente = associazione (**o sinapsi**) dei cromosomi omologhi; un bivalente è costituito da 4 cromatidi, due per ogni cromosoma omologo

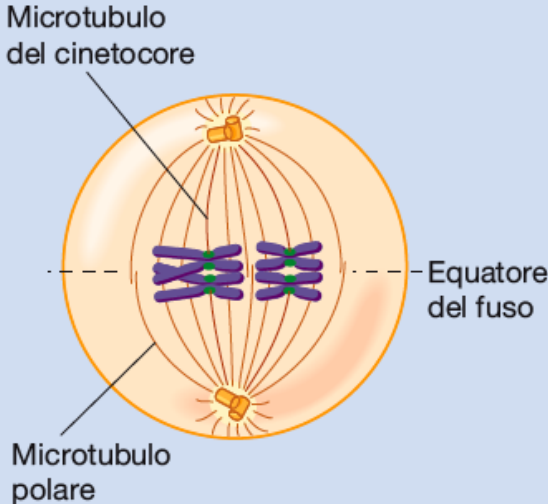
Durante la Profase I sui bivalenti avviene lo scambio di materiale genetico con ricombinazione omologa chiamato "*crossing-over*"

MEIOSI I continua

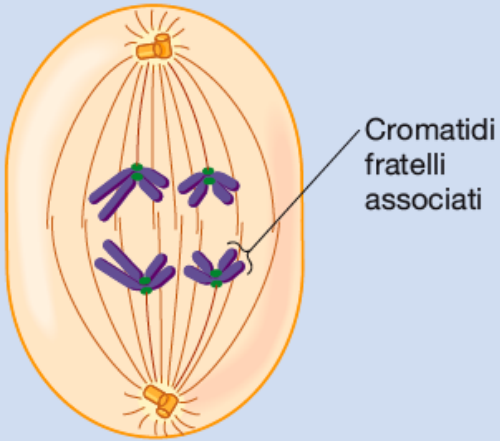
METAFASE I

ANAFASE I

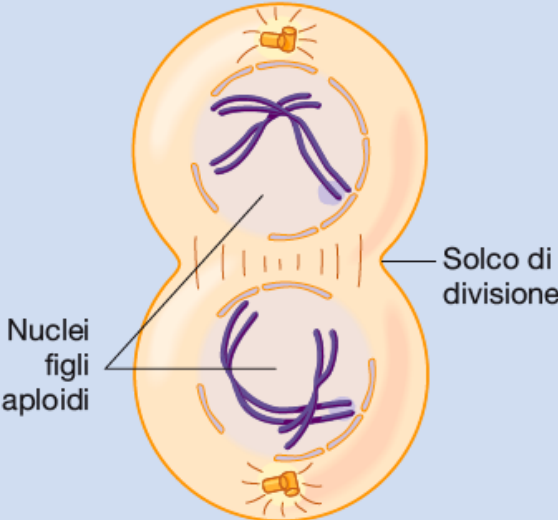
TELOFASE I E CITOCINESI



(b)



(c)



(d)

MEIOSI II (Divisione separativa)

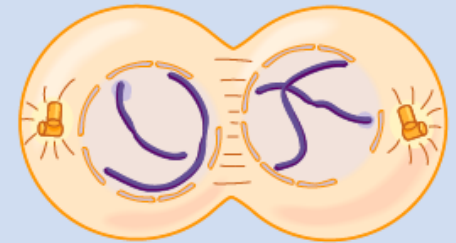
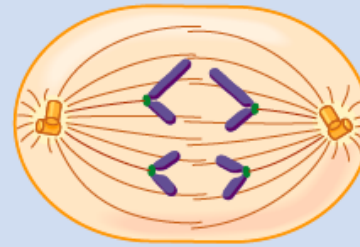
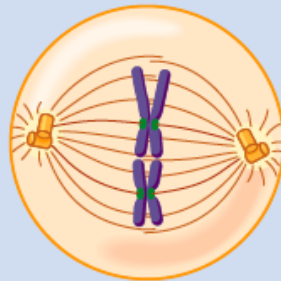
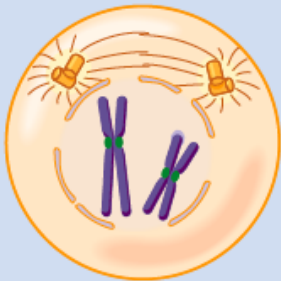
PROFASE II

METAFASE II

ANAFASE II

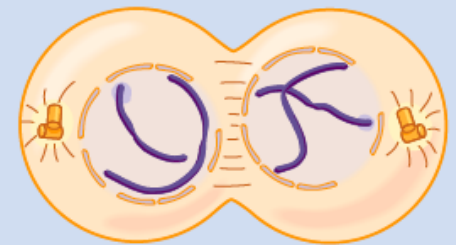
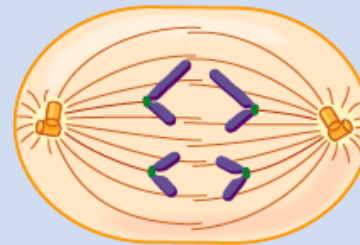
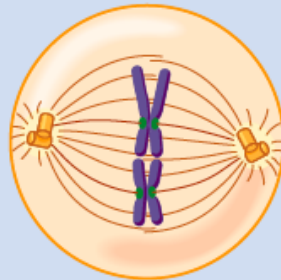
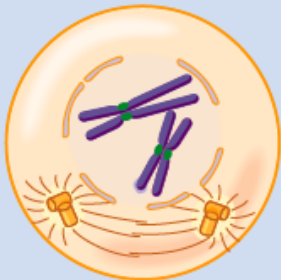
TELOFASE II
E CITOCINESI

Aploide



Cellule figlie aploidi

Aploide



(e)

(f)

(g)

(h)