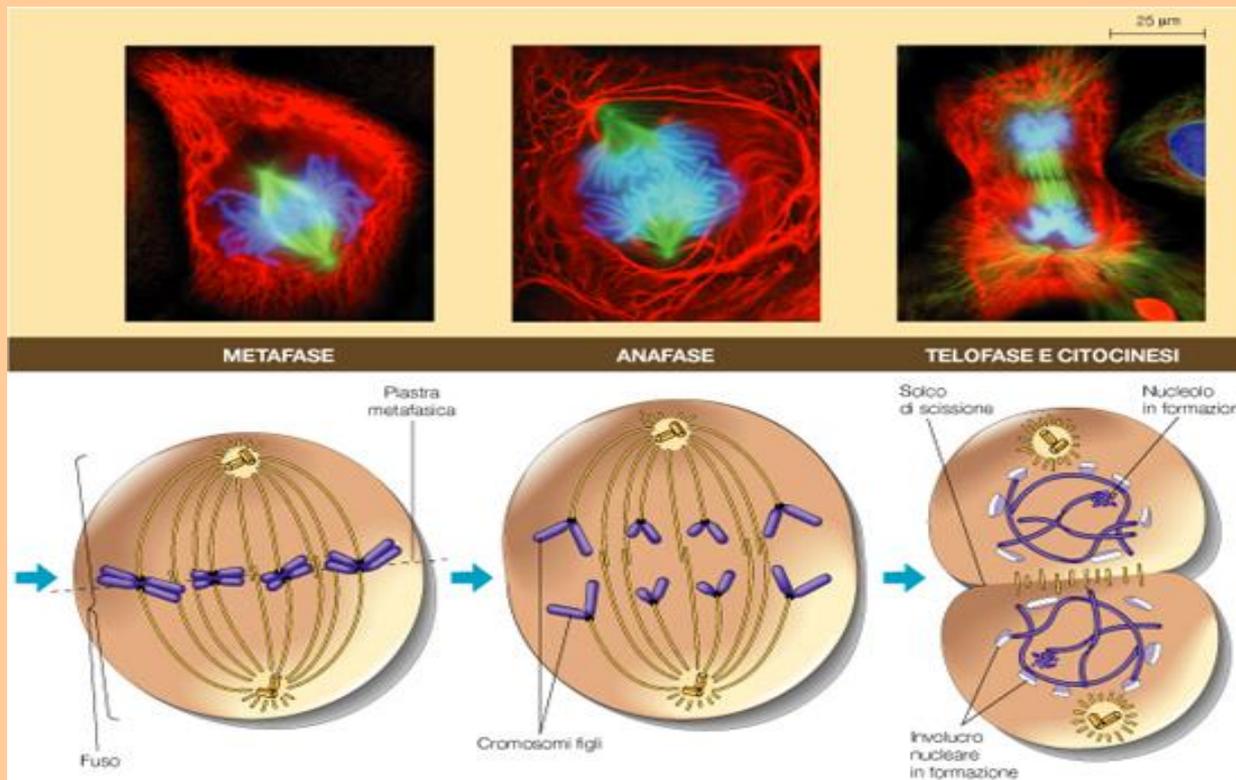


# 1. MITOSI

# 2. MEIOSI

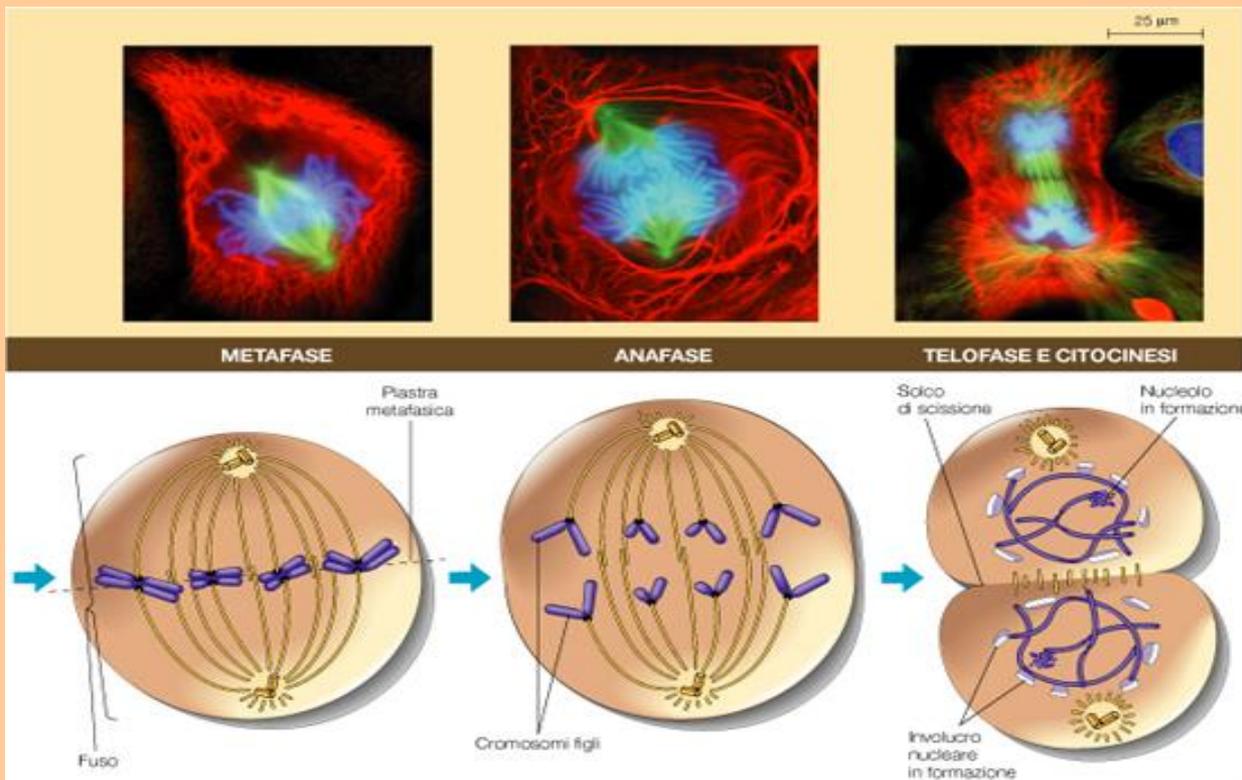
# 3. CICLO CELLULARE



# 1. MITOSI

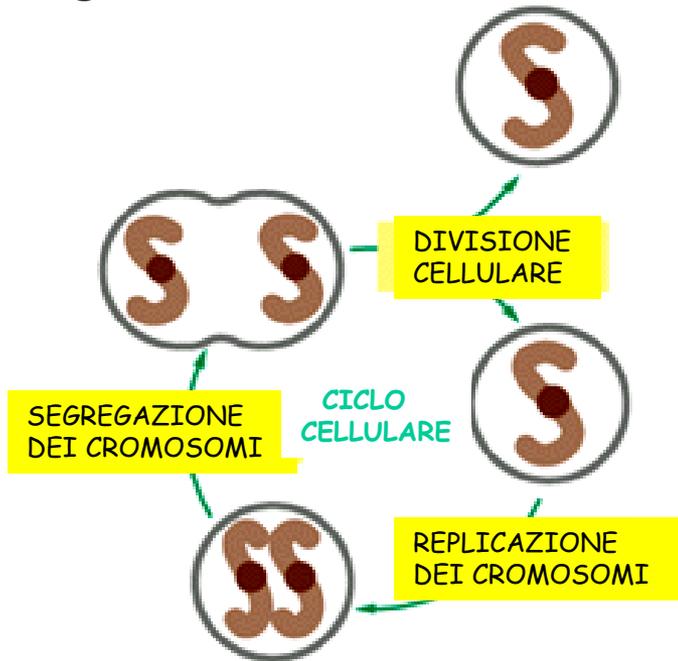
# 2. MEIOSI

# 3. CICLO CELLULARE



# Il ciclo cellulare

Il ciclo cellulare ha come compito fondamentale la duplicazione accurata del DNA cellulare e la distribuzione precisa delle 2 copie in 2 cellule figlie geneticamente identiche



• Nelle specie **unicellulari**, come ad esempio i batteri e i lieviti, ciascuna divisione cellulare produce un nuovo organismo completo.

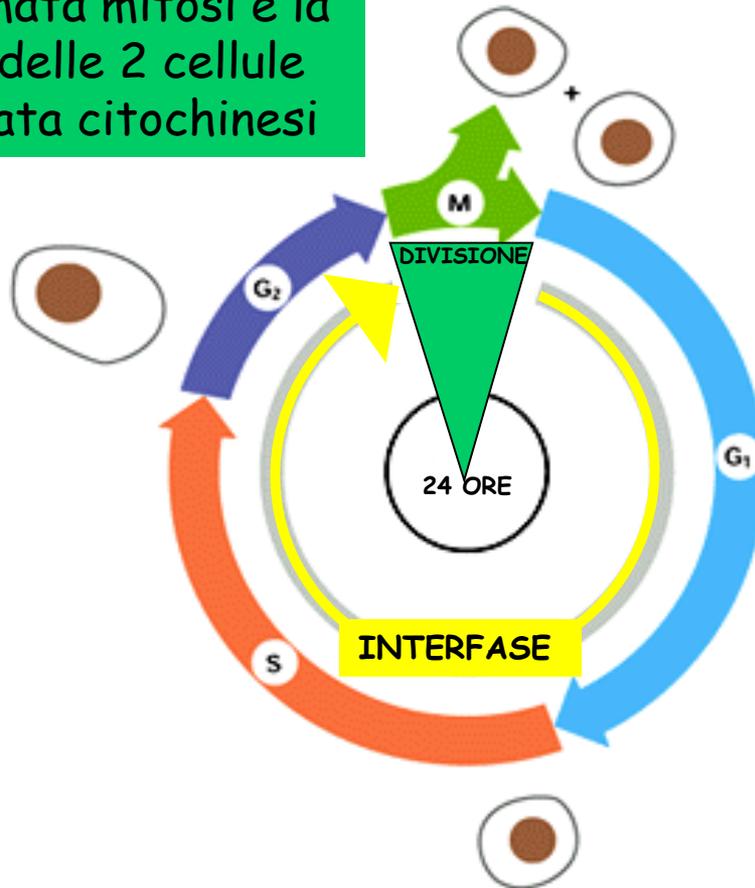
- Nelle specie **multicellulari** lunghe e complesse sequenze di divisioni cellulari sono necessarie per produrre un organismo funzionante.
- Anche nel corpo adulto, la divisione cellulare è di solito necessaria per sostituire le cellule che muoiono.

# LE QUATTRO FASI DEL CICLO CELLULARE

Il ciclo cellulare si suddivide in 2 fasi: la mitosi e l'interfase. Quest'ultima fase può essere ulteriormente suddivisa in alte 3 fasi: fase G<sub>1</sub>, S e G<sub>2</sub>.

## Fase M:

Avviene la divisione del nucleo, chiamata mitosi e la separazione delle 2 cellule figlie, chiamata citochinesi



## Fase S:

La cellula replica il suo DNA nucleare

## Fase G<sub>1</sub> e G<sub>2</sub>:

La cellula continua a crescere ed effettua un monitoraggio dell'ambiente interno ed esterno per accertarsi che le condizioni siano adatte e i preparativi terminati prima di impegnarsi nel pesante compito della fase S o della mitosi.

Le fasi G sono necessarie per la crescita cellulare e la duplicazione degli organelli citoplasmatici

Prima di entrare proprio nel merito della mitosi dobbiamo spiegare alcuni concetti...

# I cromosomi umani. Il cariotogramma

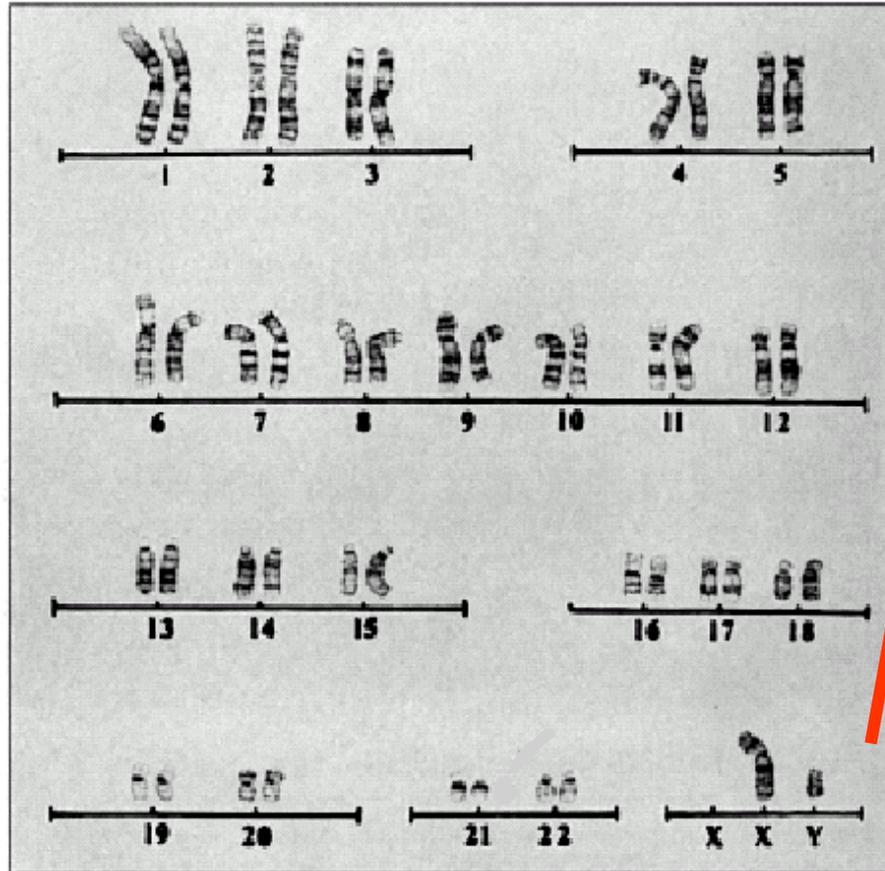
Il corredo cromosomico o cariotipo umano, contenuto in ciascuna cellula somatica del singolo individuo, consiste di 46 cromosomi, suddivisi in 23 coppie di omologhi (**corredo diploide**)

Nei gameti maturi il corredo cromosomico è dimezzato:

23 cromosomi:

un rappresentante per ciascuna coppia di omologhi:

**corredo aploide**

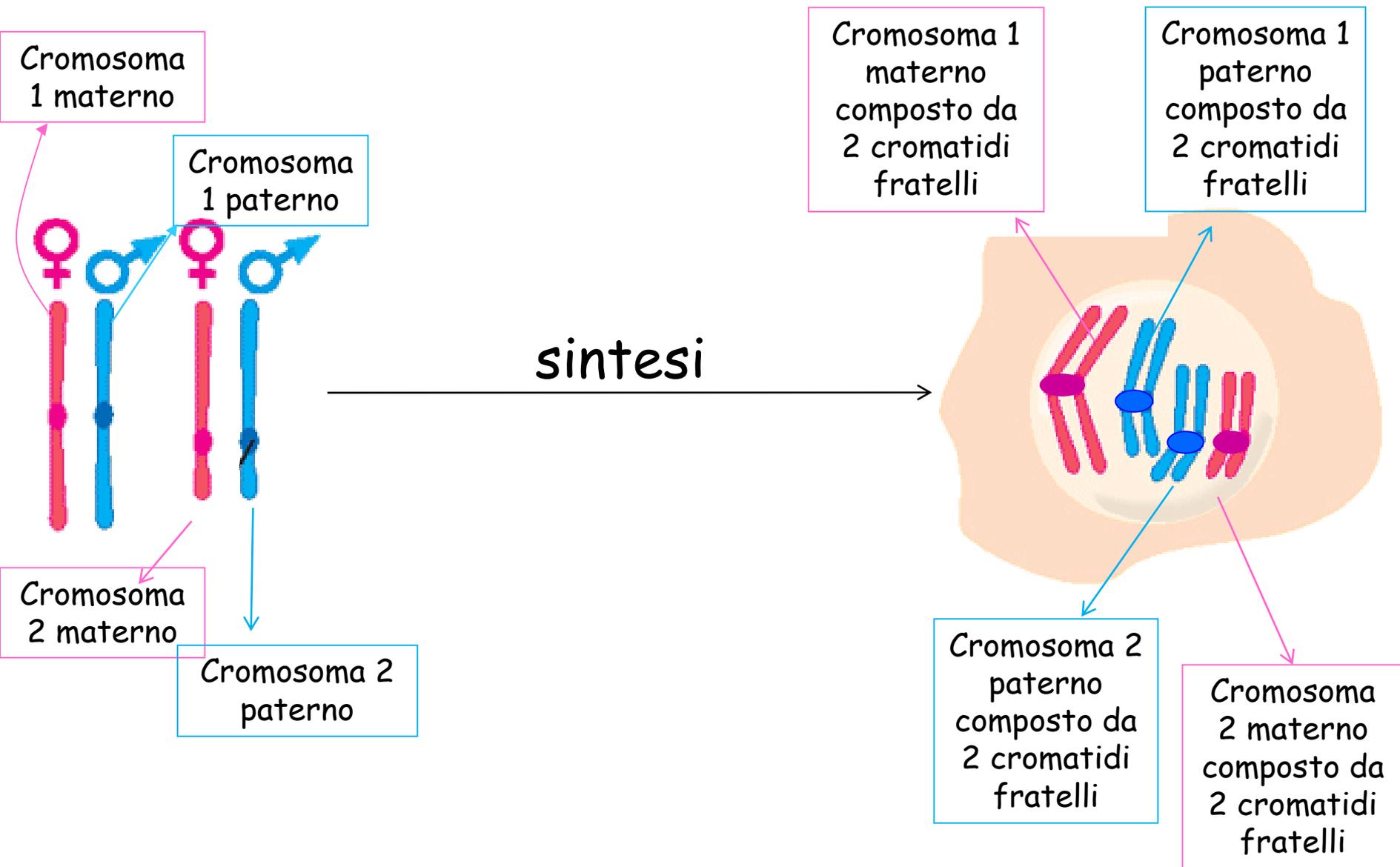


Dei 46 cromosomi:  
44 autosomi e  
2 cromosomi sessuali:

Femmina: coppia di omologhi: XX

Maschio: 2 cromosomi parzialmente omologhi: XY

Alla fecondazione l'unione dei 2 gameti ristabilisce il numero diploide dei cromosomi: lo zigote, quindi avrà un set paterno ed uno materno



La mitosi è preceduta dalla fase di **sintesi** del DNA quindi una cellula entra in mitosi con un patrimonio genetico duplicato, dove **ciascun cromosoma è formato da 2 cromatidi fratelli**

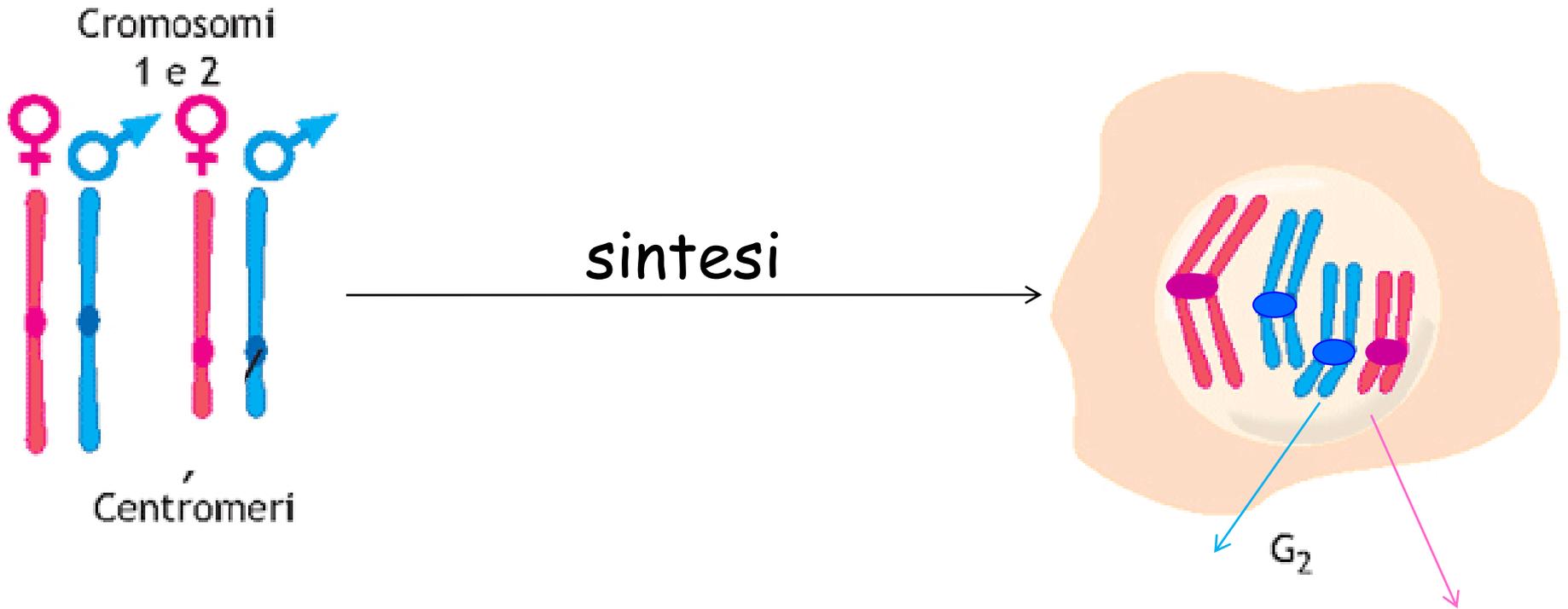
# Cromosomi omologhi



Nelle cellule diploidi ciascun cromosoma è presente in **2 versioni parentali** (una materna e una paterna) che non sono mai identiche tra loro

Le sequenze dei loci genetici sono quasi del tutto identiche, ma le loro informazioni possono essere diverse perché **le sequenze nucleotidiche differiscono anche solo di poche unità** tra un individuo e un altro

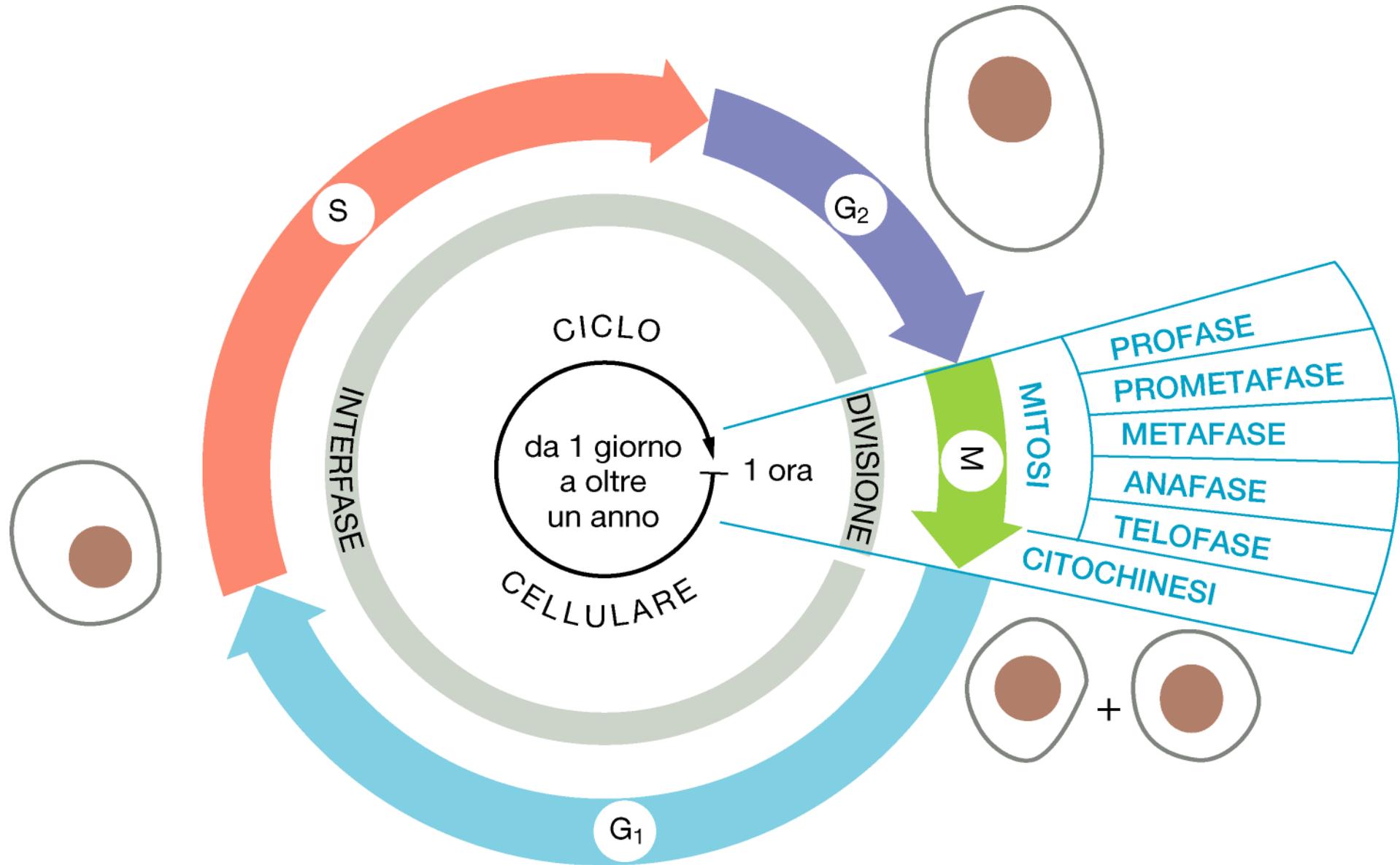
Ogni gene è presente in 2 copie dette **alleli** (uno materno e uno paterno) che occupano la stessa posizione (locus) sui 2 cromosomi omologhi



Dopo la fase di sintesi del DNA la cellula ha un patrimonio genetico duplicato (ciascun cromosoma è formato da 2 cromatidi fratelli) e quindi è pronta per

**entrare in mitosi**

# LA MITOSI



# 1 PROFASE

## LA MITOSI

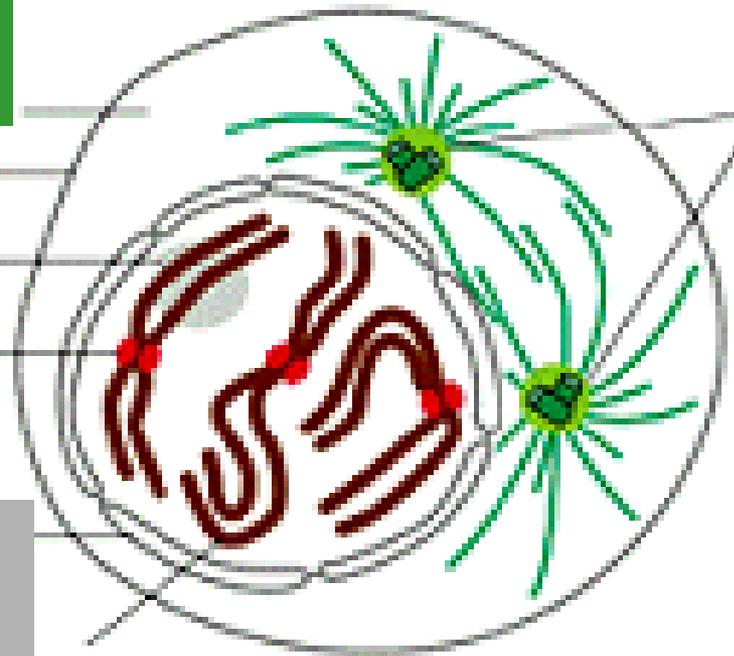
1 Cambiamenti citoplasmatici che portano allo sviluppo del fuso mitotico

1

2

I centrioli (duplicati nell'interfase), si separano e si muovono ai lati opposti del nucleo, dove servono da poli del fuso mitotico, che inizia a formarsi durante la fine della profase

membrana  
nucleolo  
centromero  
con cinetocore



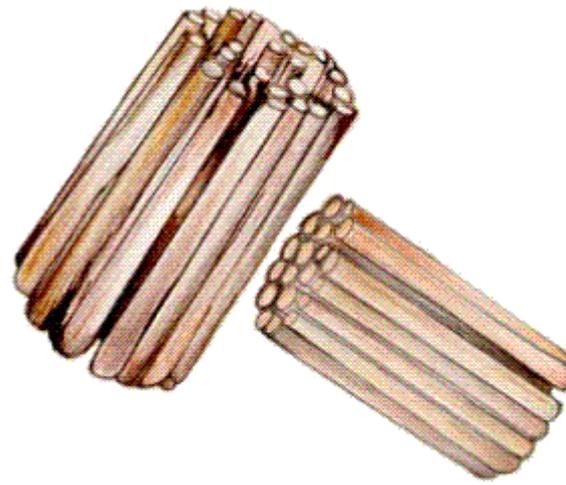
3

Demolizione dell'involucro nucleare

4

Condensazione dei cromosomi: ciascuno consiste di 2 cromatidi fratelli tenuti insieme a livello del centromero a cui si legano le proteine che formano il cinetocore a cui si attaccheranno i microtubuli del fuso

# Il centriolo



Organello con **struttura cilindrica cava** la cui parete è formata da nove triplette di **microtubuli** con appendici distali

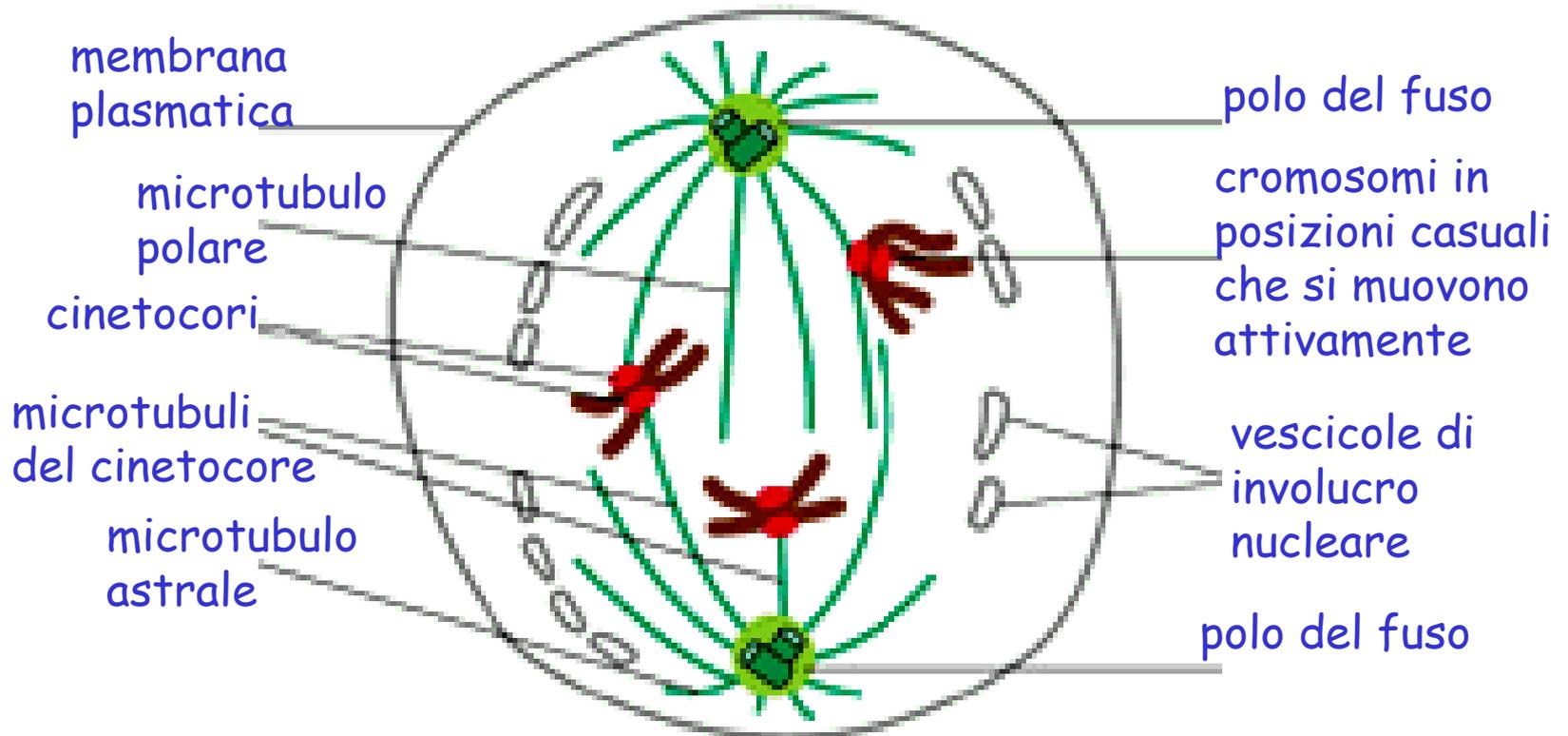
I centrioli si trovano **in coppia** e solitamente sono disposti tra di loro a formare un **angolo retto**

Assieme ad un materiale elettrondenso che li circonda, chiamato "materiale pericentriolare" (*PCM*), costituiscono il "**centro organizzatore dei microtubuli**" (*MTOC*) della cellula.

Importanti in mitosi per **l'assemblaggio del fuso mitotico**.

# LA MITOSI

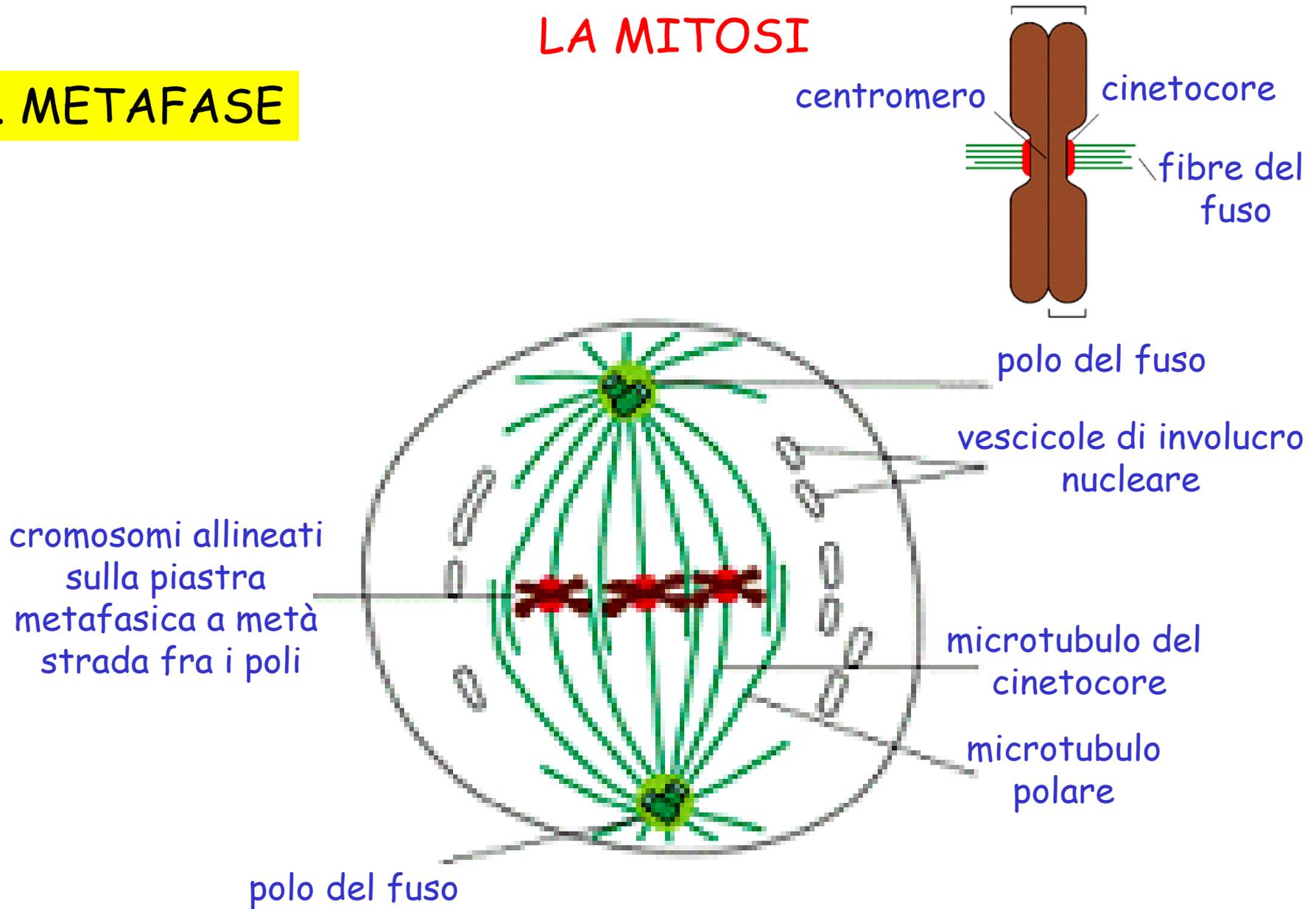
## 2. PROMETAFASE



I **microtubuli del fuso mitotico** si attaccano ai **cinetocori** dei cromosomi condensati. I cinetocori dei cromatidi fratelli sono disposti su lati opposti del cromosoma e si attaccano quindi ai microtubuli che si irradiano da poli opposti del fuso.

# LA MITOSI

## 3. METAFASE



I **cromosomi vengono allineati** sulla piastra metafisica al cento del fuso

# LA MITOSI

## 4. ANAFASE

AVVIENE LA SEPARAZIONE  
DEL CENTROMERO

i microtubuli del cinetocore si accorciano mentre i cromosomi sono tirati verso il polo

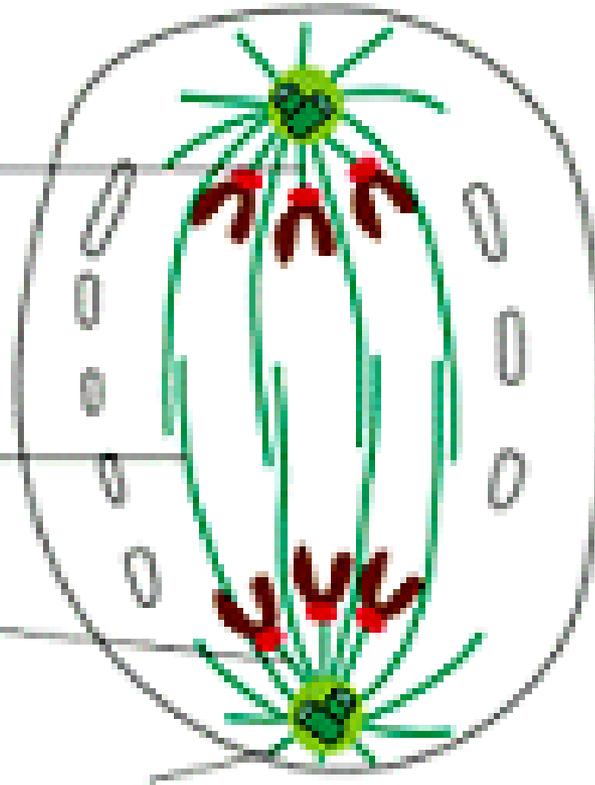
microtubulo polare che si allunga

microtubulo del cinetocore che si accorcia

microtubulo astrale

la separazione fra i poli aumenta

Avviene la **rottura dei legami tra cromatidi fratelli** che in seguito si separano e si muovono a poli opposti del fuso

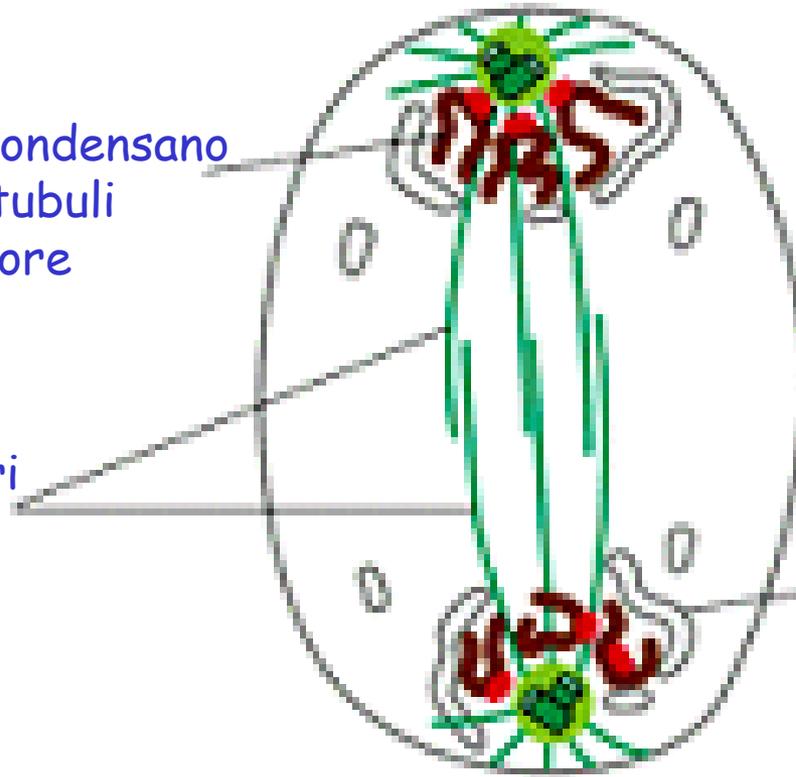


# LA MITOSI

## 5. TELOFASE

cromosomi che si condensano  
senza i microtubuli  
del cinetocore

microtubuli polari



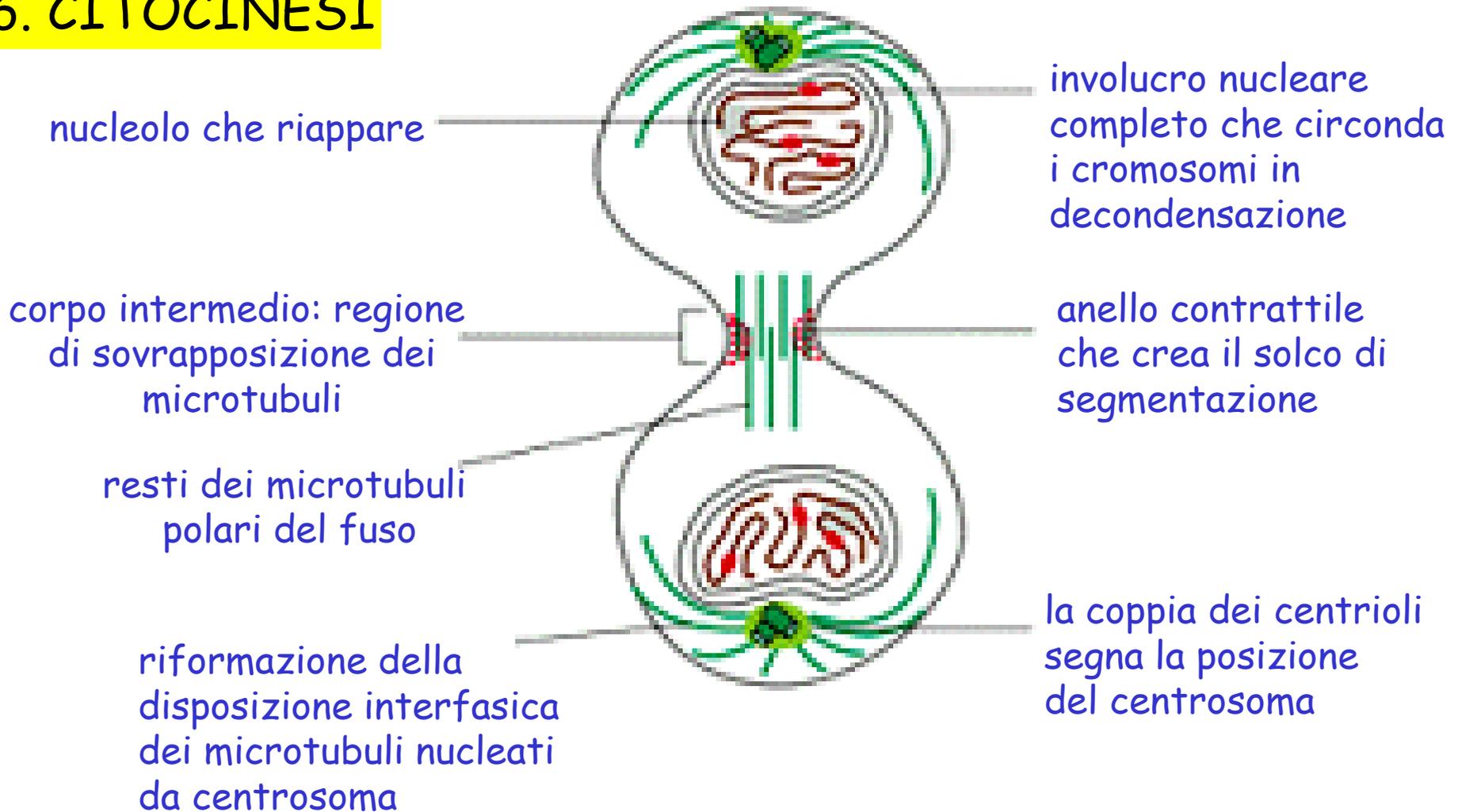
involucro nucleare  
che si riforma intorno  
ai singoli cromosomi

I **nuclei si riformano** e i cromosomi si **decondensano**

La **citocinesi** inizia in genere durante la fine dell'anafase, è quasi completata alla fine della telofase e porta alla formazione dei 2 cellule figlie interfasiche

# LA MITOSI

## 6. CITOCINESI

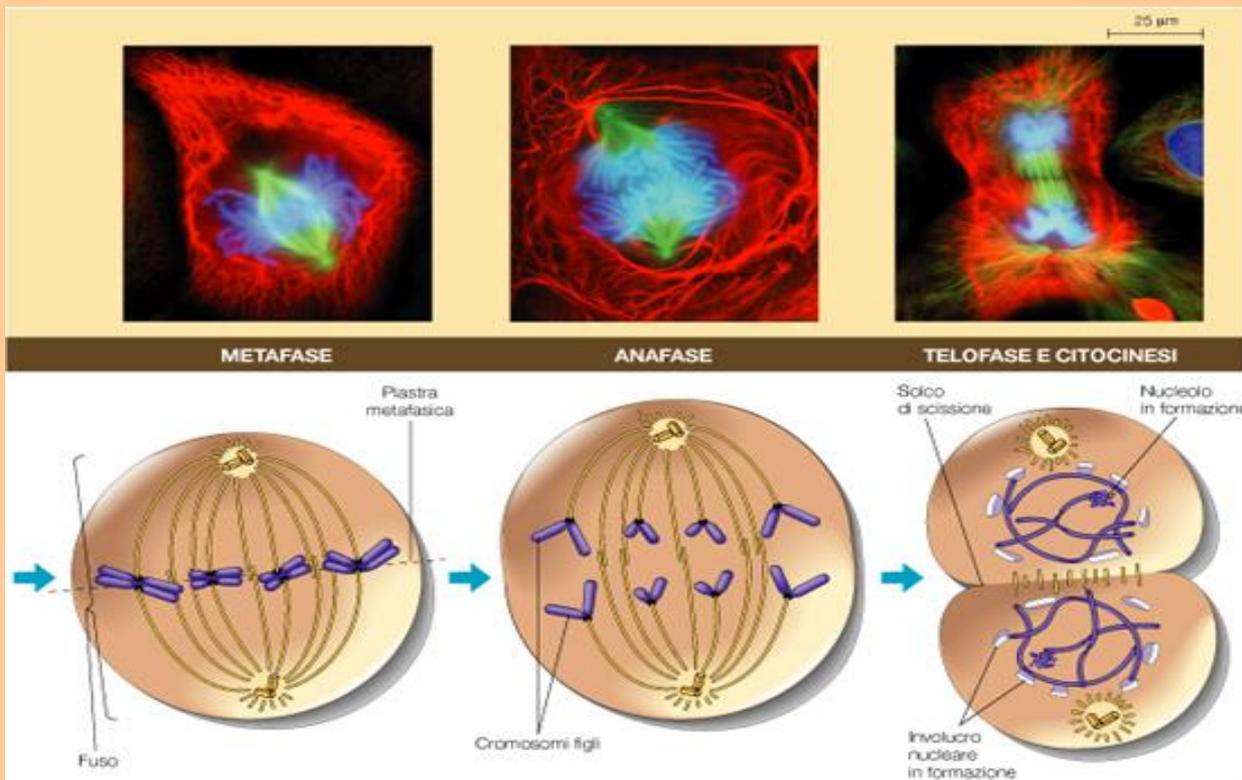


Mediata da un **anello contrattile** di filamenti di actina e di miosina II che si forma sotto la membrana plasmatica. La posizione dell'anello è determinata dalla posizione del fuso e la cellula viene divisa lungo un piano che passa attraverso la piastra metafasica perpendicolare al fuso

# 1. MITOSI

# 2. MEIOSI

# 3. CICLO CELLULARE



# I cromosomi umani. Il cariotogramma

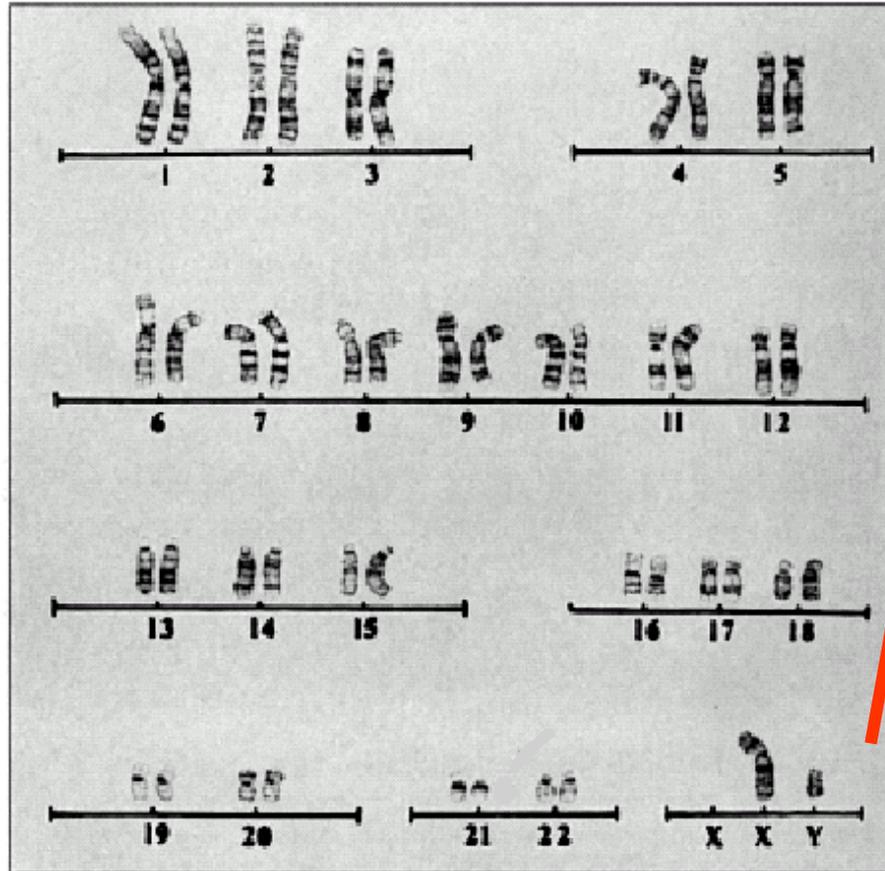
Il corredo cromosomico o cariotipo umano, contenuto in ciascuna cellula somatica del singolo individuo, consiste di 46 cromosomi, suddivisi in 23 coppie di omologhi (**corredo diploide**)

Nei gameti maturi il corredo cromosomico è dimezzato:

23 cromosomi:

un rappresentante per ciascuna coppia di omologhi:

**corredo aploide**



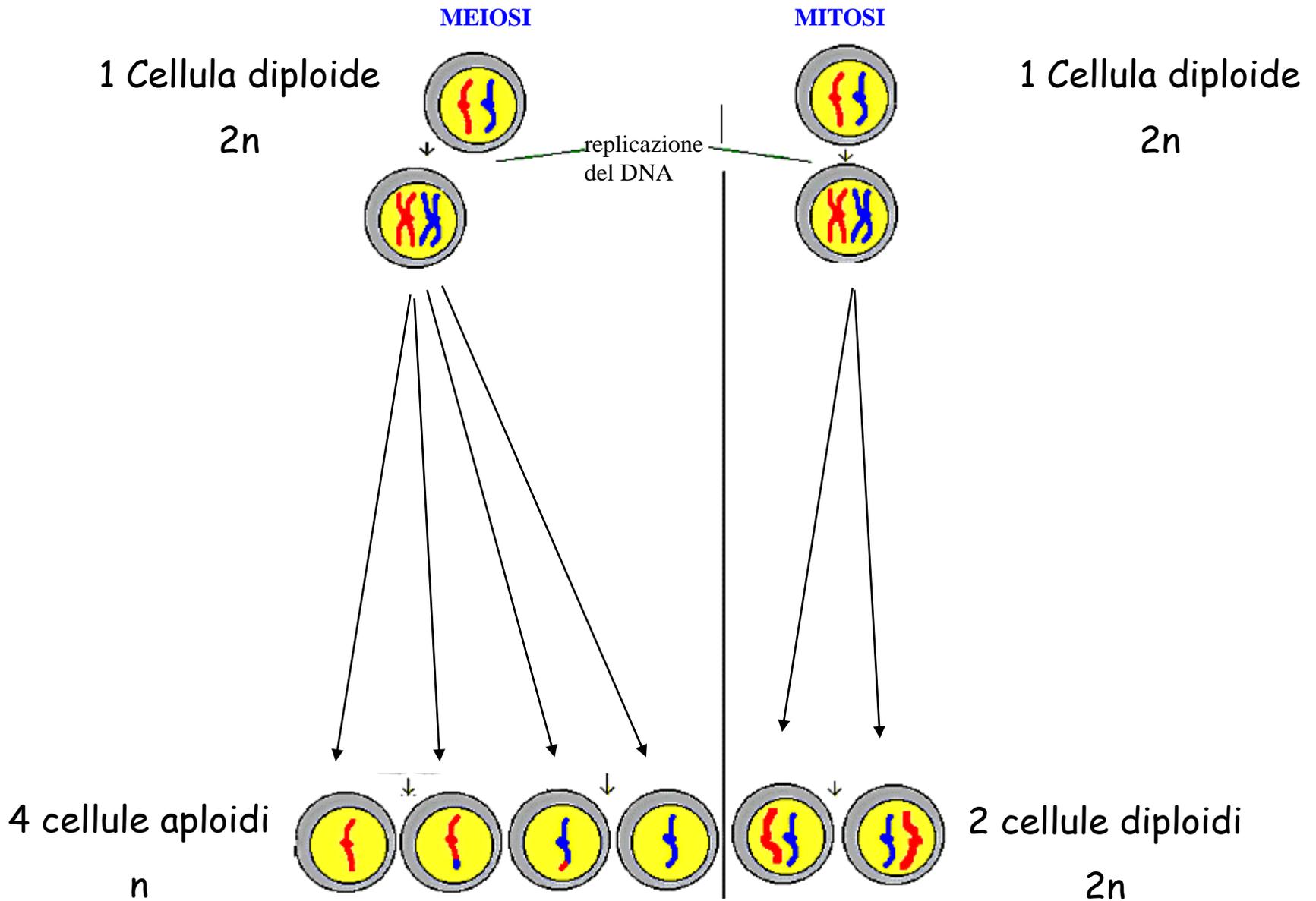
Dei 46 cromosomi:  
44 autosomi e  
2 cromosomi sessuali:

Femmina: coppia di omologhi: XX

Maschio: 2 cromosomi parzialmente omologhi: XY

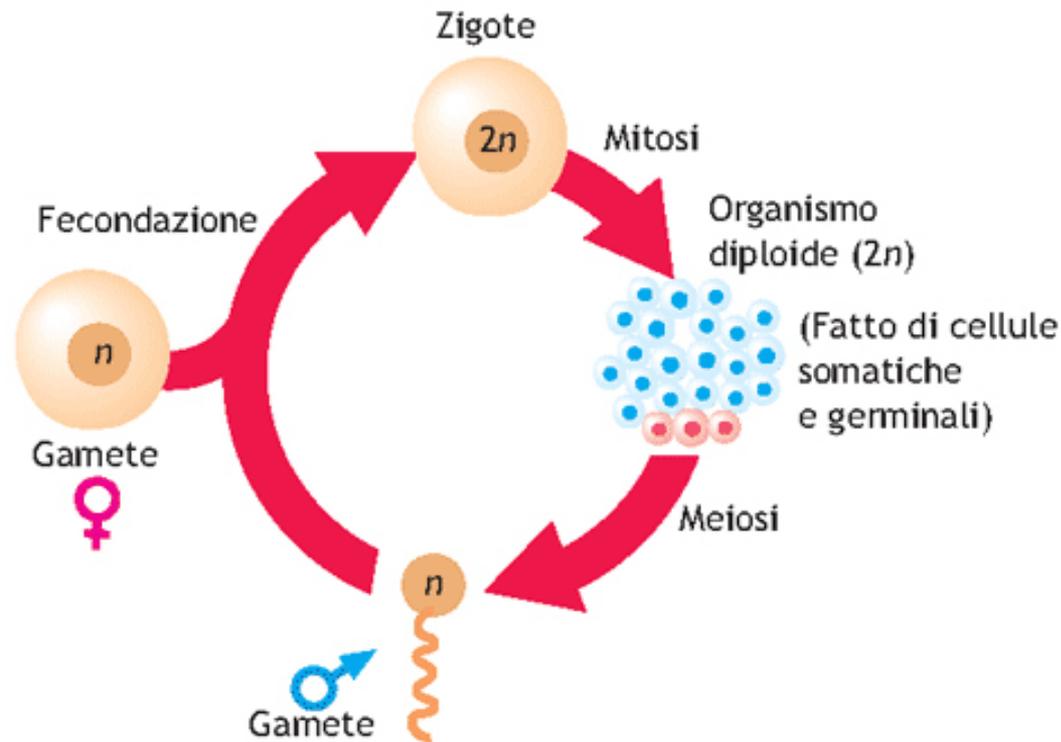
Alla fecondazione l'unione dei 2 gameti ristabilisce il numero diploide dei cromosomi: lo zigote, quindi avrà un set paterno ed uno materno

# Mitosi e Meiosi



# La meiosi

La **meiosi** è un processo mediante il quale una cellula eucariotica con corredo cromosomico **diploide** ( $2n$ ) dà origine a quattro cellule con corredo cromosomico **aploide** ( $n$ ): i gameti (maschili o femminili).



Con la **fecondazione**, unione del gamete maschile con il gamete femminile si ristabilisce una cellula (lo zigote) con un genoma diploide ( $2n$ )

# MEIOSI

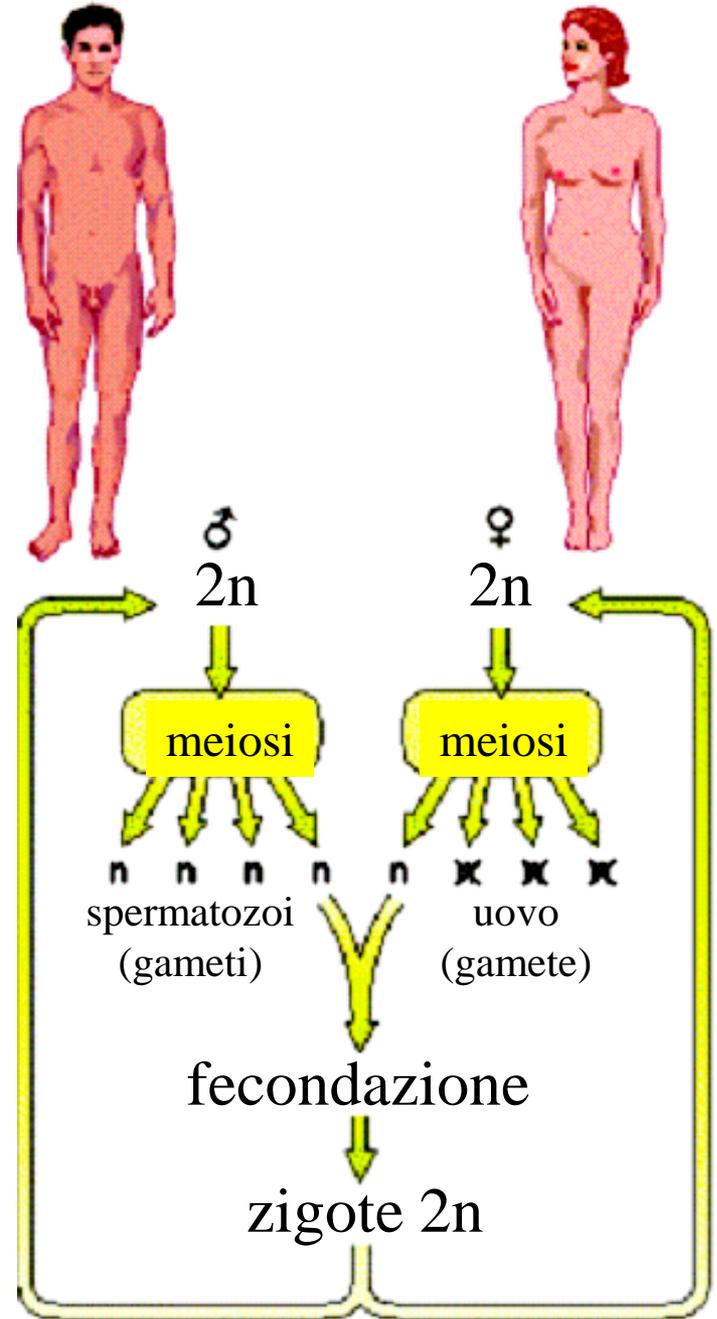
## Spermatogenesi e oogenesi

**Mitosi:** cellule somatiche:  
formazione di 2 cellule diploidi:  
corredo genetico identico.

**Meiosi:** cellule germinali:  
formazione di 4 cellule aploidi

Le cellule germinali mediante la meiosi producono gameti aploidi (spermatozoi e uova).

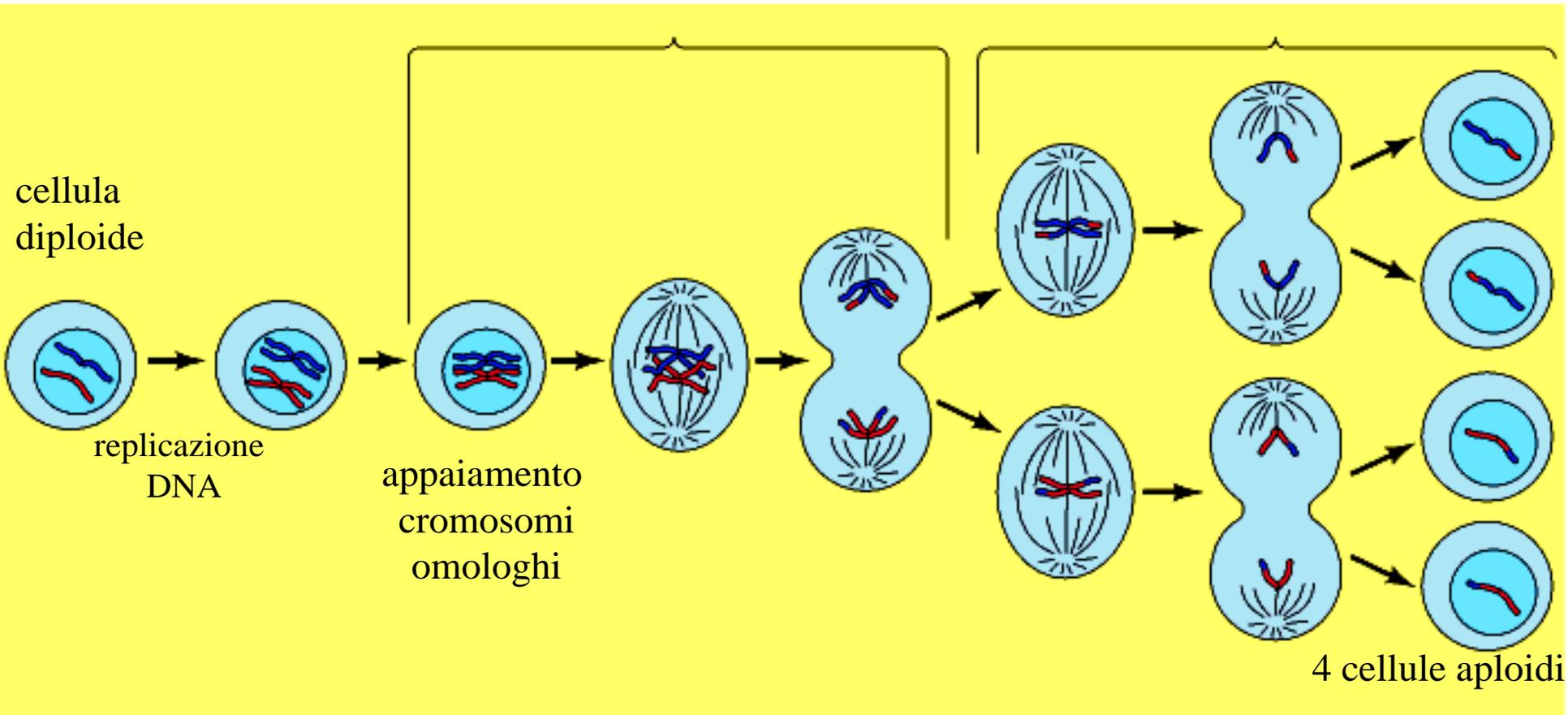
Fecondazione: zigote



# LA MEIOSI

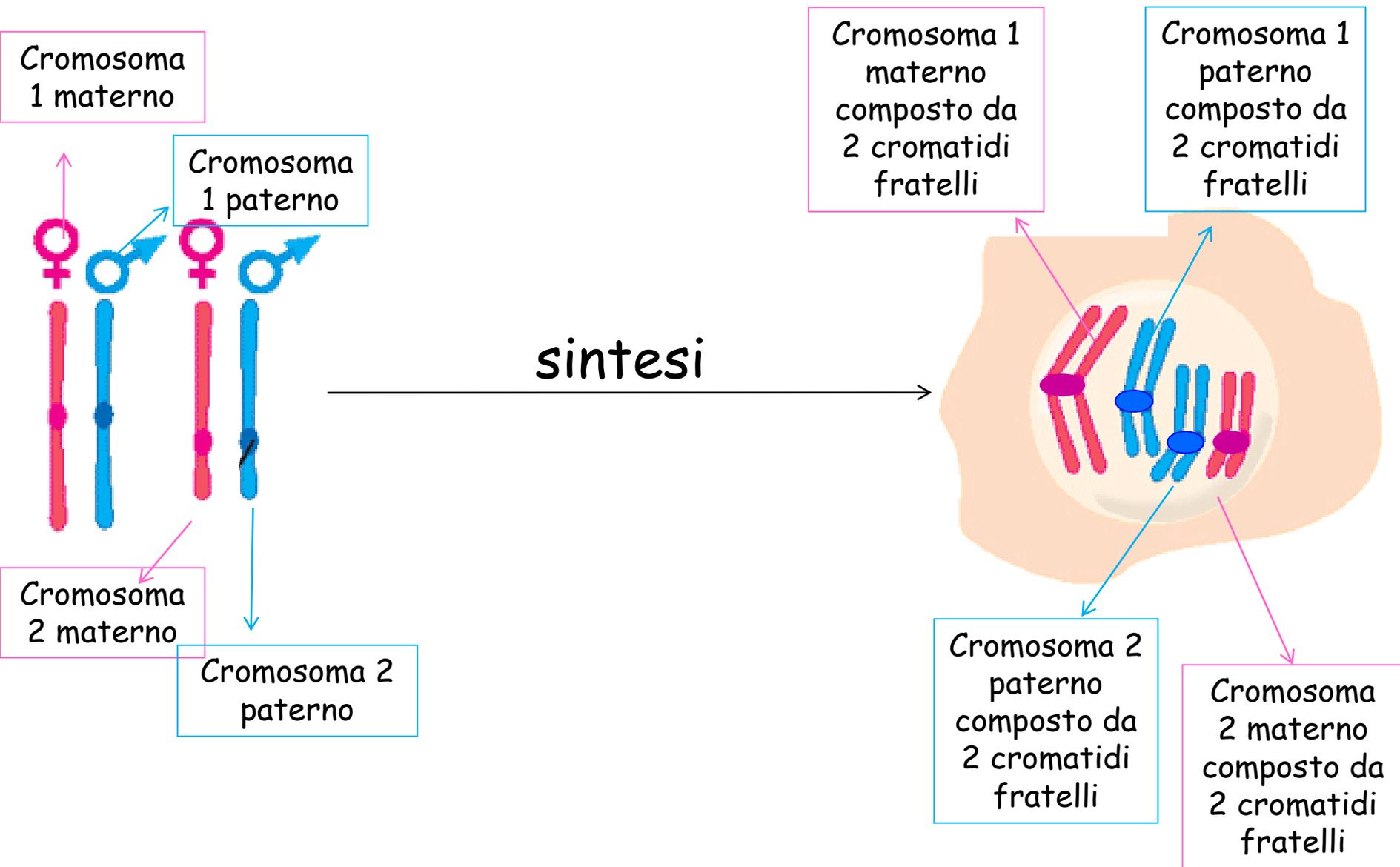
## MEIOSI I

## MEIOSI II



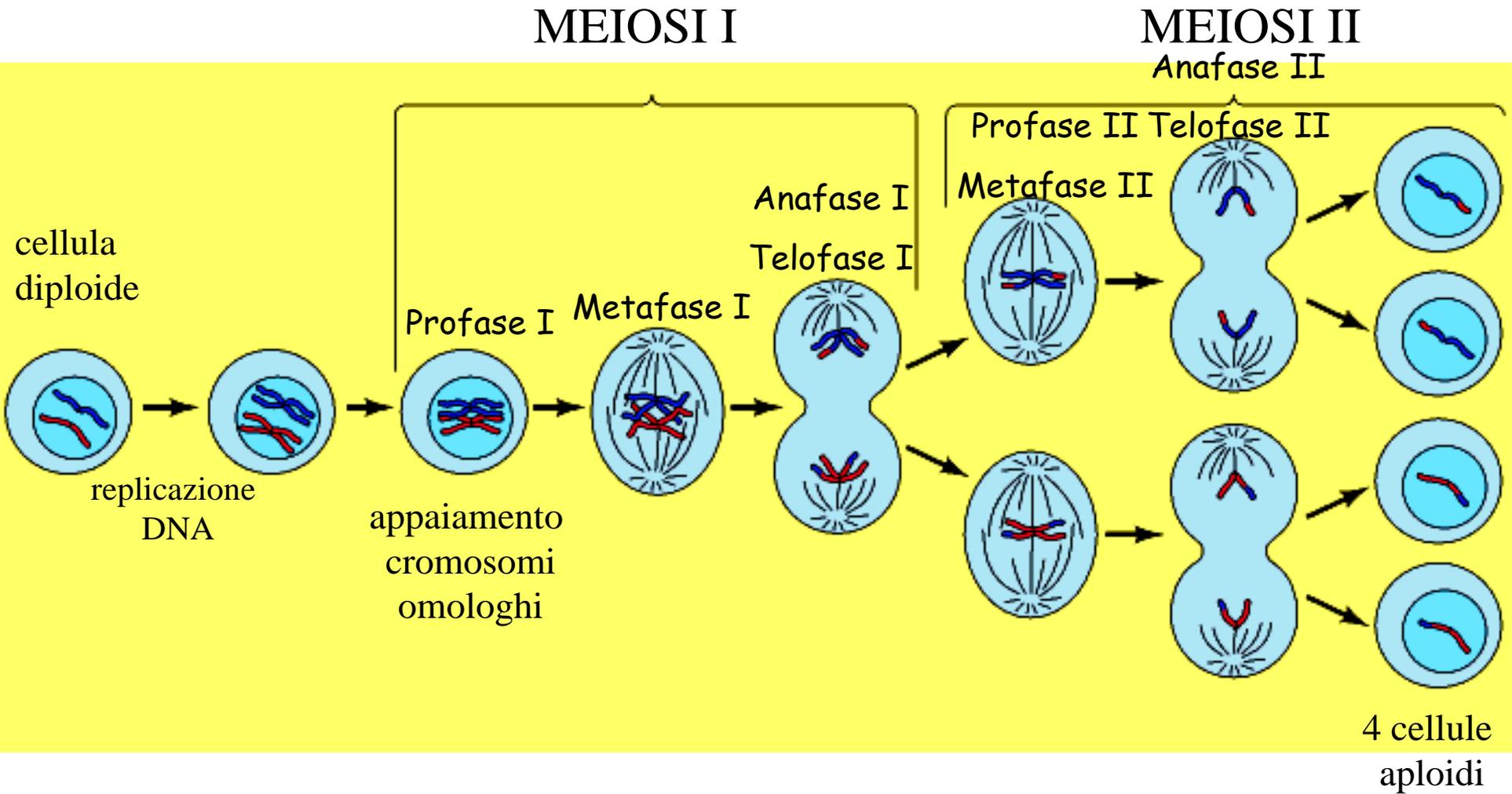
La meiosi porta alla divisione di una cellula diploide in 4 cellule aploidi, ciascuna delle quali contiene **solo un membro della coppia di cromosomi omologhi** che erano presenti nella cellula parentale diploide.

Questa riduzione del numero di cromosomi è ottenuta mediante **2 cicli sequenziali di divisione** nucleare e cellulare che seguono un singolo ciclo di replicazione del DNA

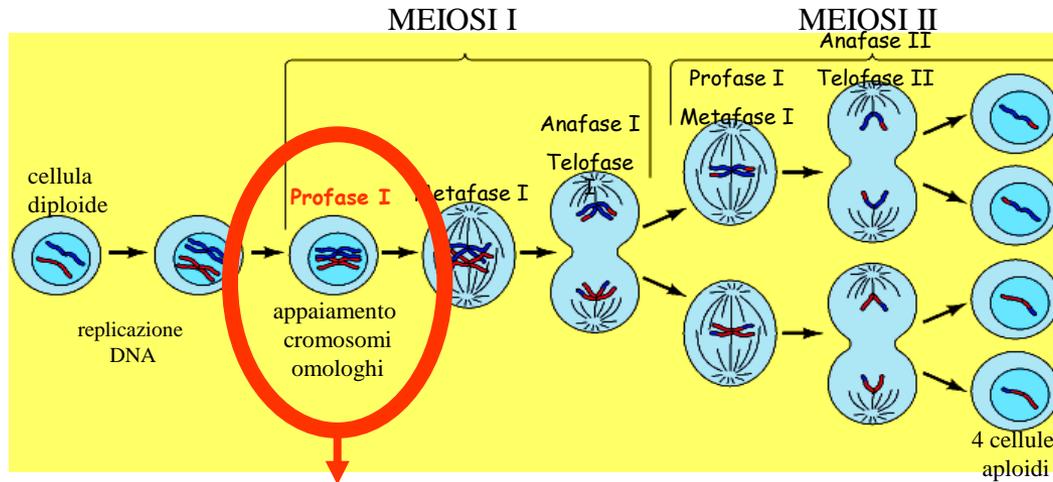


Anche la **meiosi** è preceduta dalla fase di **sintesi** del DNA quindi una cellula entra in meiosi con un patrimonio genetico duplicato, dove **ciascun cromosoma è formato da 2 cromatidi fratelli**

# LA MEIOSI



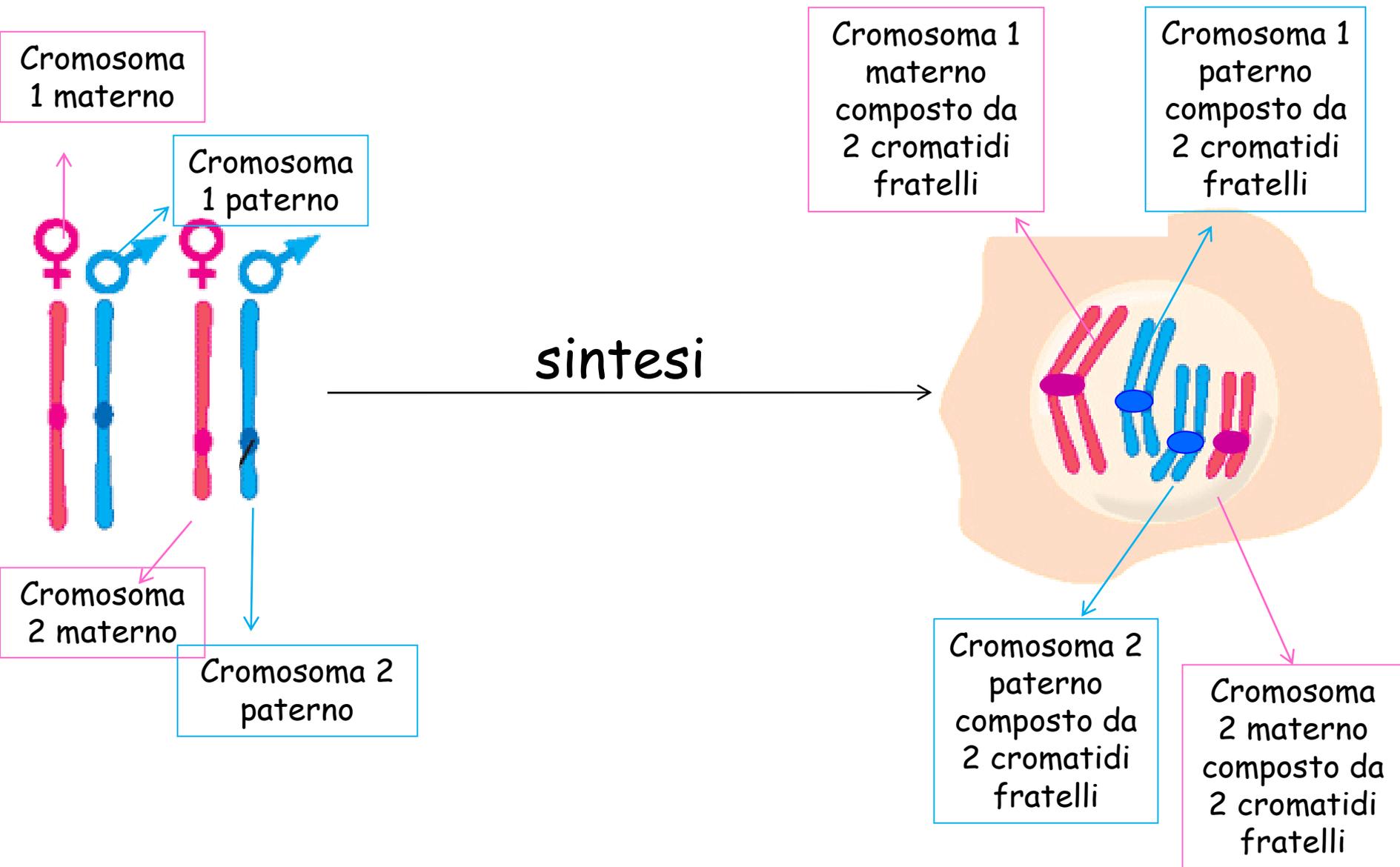
# LA MEIOSI – PROFASE I



Durante la profase I avviene l'accoppiamento dei cromosomi omologhi appena replicati. Questo accoppiamento è alla base della segregazione meiotica dei cromosomi e permette anche la ricombinazione fra cromosomi di origine paterna e materna.

La profase I è suddivisa in 5 stadi:

1. Leptotene
2. Zigotene
3. Pachitene
4. Diplotene
5. Diacinesi



Come la mitosi, anche la meiosi I è preceduta dalla fase di **sintesi** del DNA quindi una cellula entra in meiosi con un patrimonio genetico duplicato, dove **ciascun cromosoma è formato da 2 cromatidi fratelli**

# Cromosomi omologhi

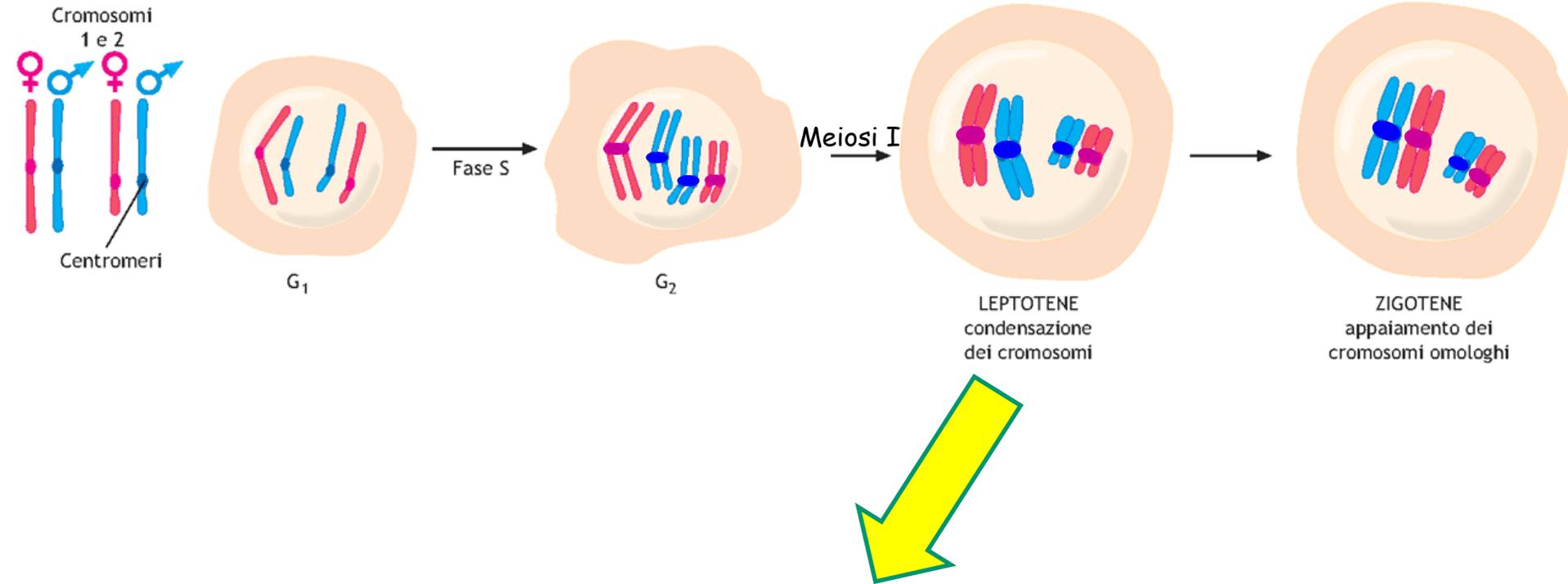


Nelle cellule diploidi ciascun cromosoma è presente in **2 versioni parentali** (una materna e una paterna) che non sono mai identiche tra loro

Le sequenze dei loci genetici sono quasi del tutto identiche, ma le loro informazioni possono essere diverse perché **le sequenze nucleotidiche differiscono anche solo di poche unità** tra un individuo e un altro

Ogni gene è presente in 2 copie dette **alleli** (uno materno e uno paterno) che occupano la stessa posizione (locus) sui 2 cromosomi omologhi

# Meiosi I: Profase I: Leptotene



Come nella profase della mitosi:  
i cromosomi si condensano e  
l'involucro nucleare si frammenta

# Cromosomi omologhi



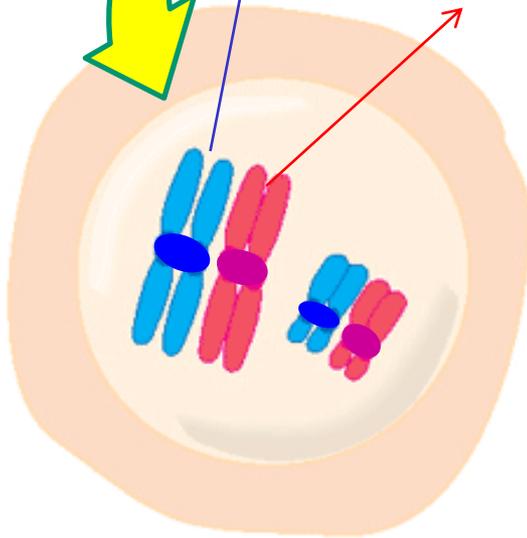
## Meiosi I: Profase I: Zigotene

le 2 copie (cromatidi fratelli) del cromosoma 1 paterno e le 2 copie del cromosoma 1 materno } **appaiano**

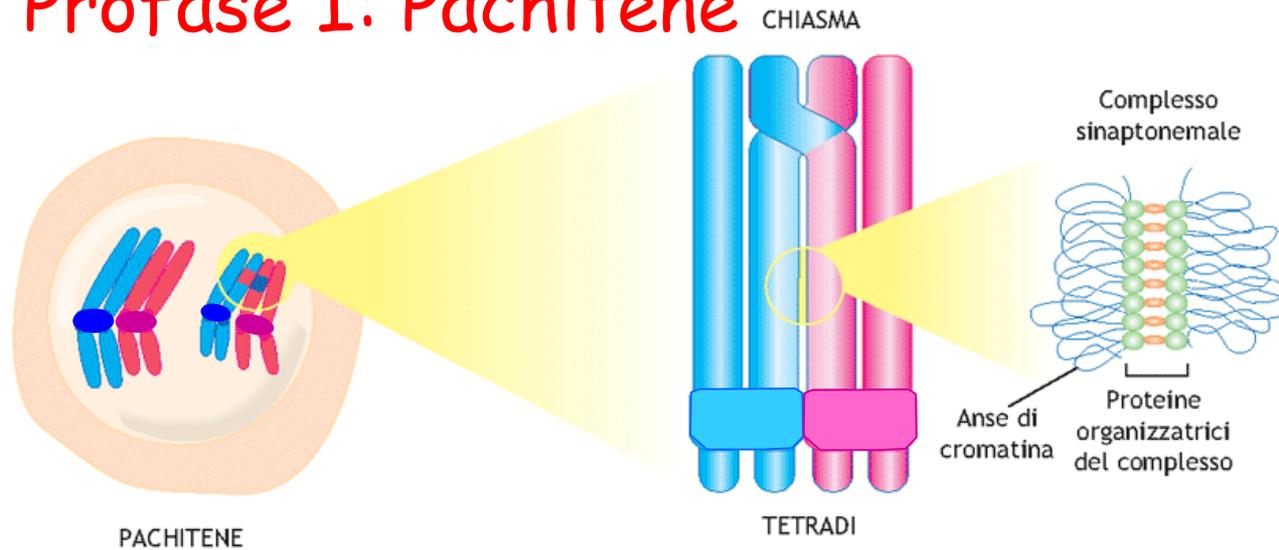
Si formano così le **tetradi** che contengono i **4 cromatidi** relativi ai 2 cromosomi omologhi (2 per ciascuno)

Questo si verifica anche per tutte le altre 22 coppie di cromosomi omologhi

Dopo la replicazione le 2 copie del cromosoma 1 restano unite fra loro e sono chiamate cromatidi fratelli



# Meiosi I: Profase I: Pachitene



## Complexo sinaptonemale

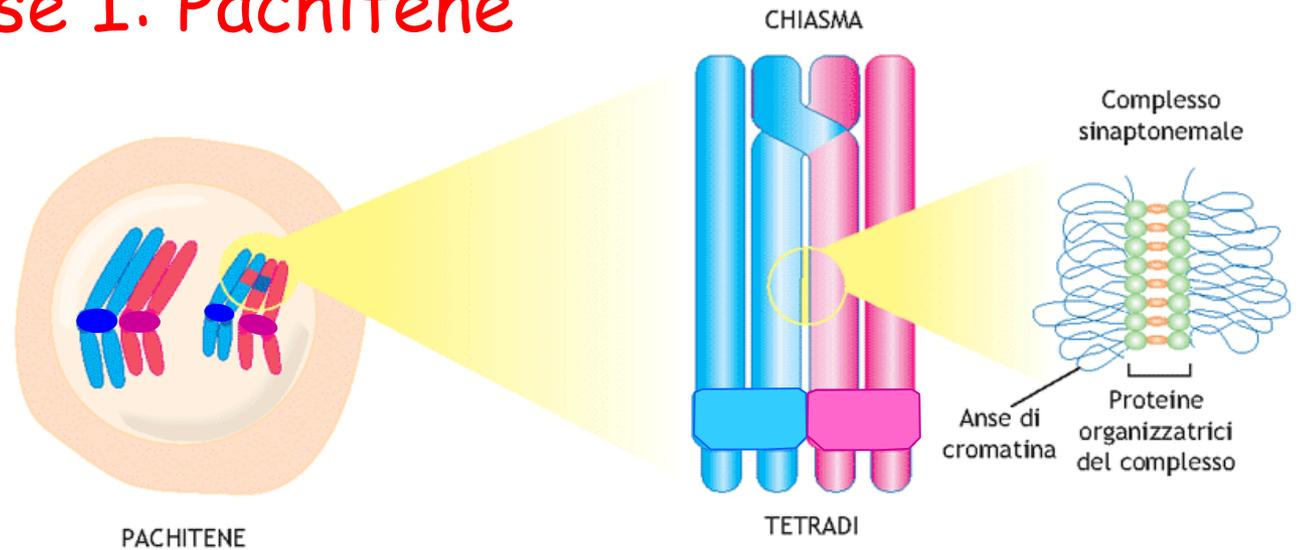
### Struttura:

- Proteine strutturali che regolano la spaziatura tra i filamenti di DNA
- Proteine che coordinano l'organizzarsi del DNA in anse regolari
- Enzimi che promuovono la ricombinazione

### Funzioni:

- Garantisce un corretto appaiamento tra gli omologhi
- Favorisce il crossing over

# Meiosi I: profase I: Pachitene



## Crossing over:

PACHITENE

TETRADI

Scambio tra omologhi (materni e paterni), in conseguenza del quale si determina la **ricombinazione**

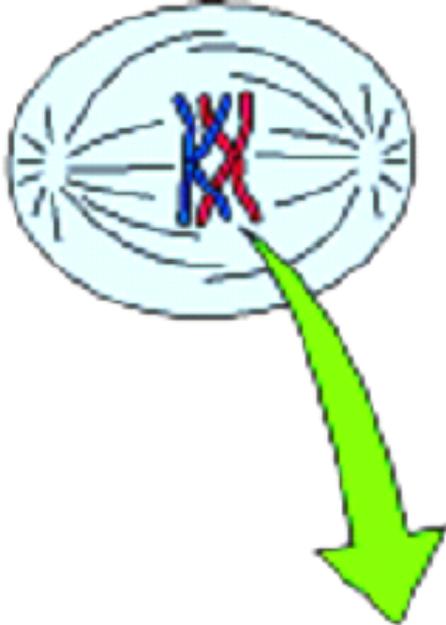
Al termine del crossing over, infatti, ciascun cromosoma avrà cromatidi che presentano nuove combinazioni di alleli perché sono stati **scambiati segmenti di origine paterna con tratti omologhi di origine materna**, praticamente i cromatidi saranno ricombinati

Si creano **nuove combinazioni** di geni materni e paterni

La **doppia elica si interrompe e poi si risalda** con un processo regolato accuratamente che richiede l'intervento di diversi gruppi di enzimi

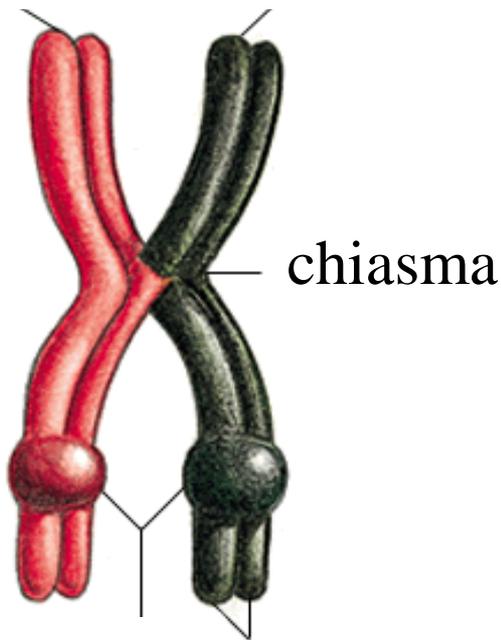
# Meiosi I: Profase I: Pachitene

## RICOMBINAZIONE O CROSSING-OVER



Nella meiosi i cromosomi omologhi si appaiano prima di disporsi sulla piastra equatoriale. La struttura che i cromosomi formano appaiandosi prende il nome di **bivalente o tetrate e contiene 4 cromatidi**

materno      paterno

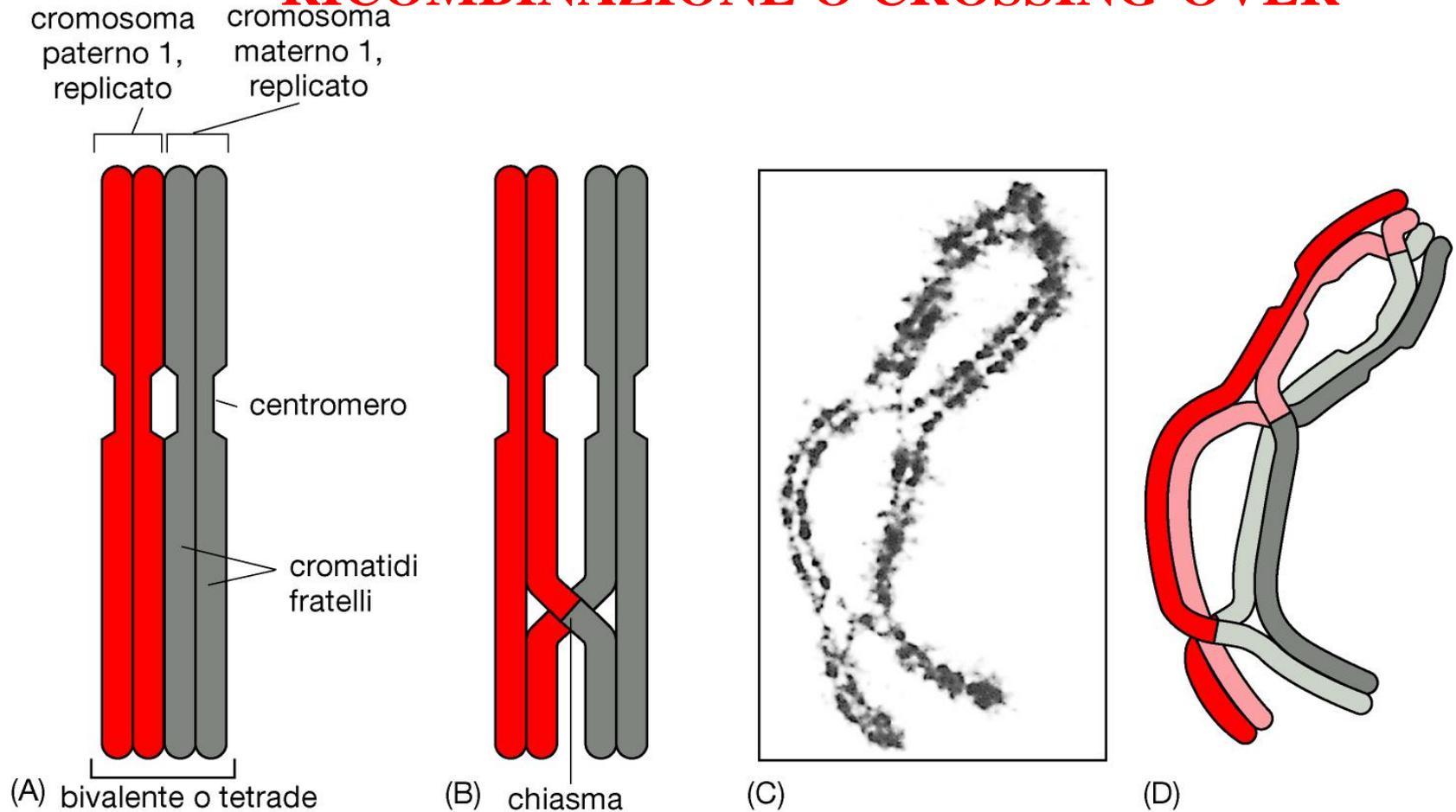


Durante questo appaiamento gli omologhi vanno incontro al processo di **ricombinazione o crossing-over, cioè si scambiano dei tratti**: la doppia elica del DNA si interrompe e poi si risalda sia nel cromatidio paterno sia in quello materno, per cui lo scambio di frammenti tra cromatidi non fratelli è reciproco

centromeri      cromatidi fratelli

# Meiosi I: Profase I: Pachitene

## RICOMBINAZIONE O CROSSING-OVER



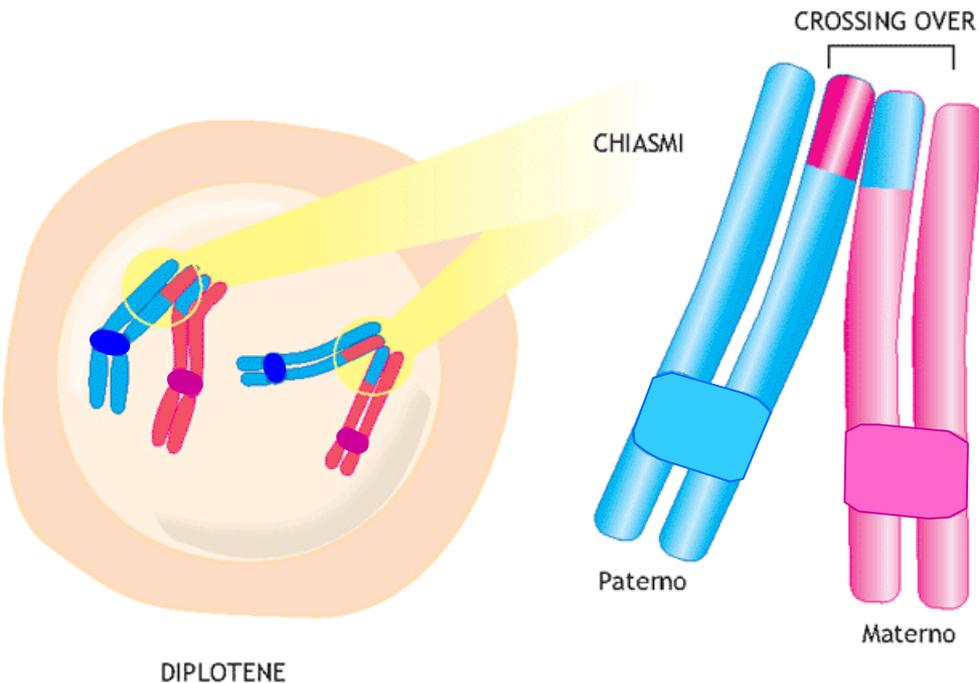
Nelle specie a riproduzione sessuale, la ricombinazione meiotica è una fonte importante di **variazione genetica**. Scompaginando l'assetto genetico dei cromosomi nei gameti, il crossing-over contribuisce all'emergere di **nuovi assortimenti genici**

# Meiosi I: Profase I: Diplotene

1. Il complesso sinaptonemale **scompare**
2. I cromosomi omologhi restano **uniti** solo in corrispondenza dei **chiasmi**

Su di una tetradè si possono osservare più chiasmi:  
nella specie umana se ne osservano in media **2 o 3** per ogni tetradè

Successivamente i chiasmi saranno **risolti** tra la metafase I e l'anafase I quando i rappresentanti della coppia di cromosomi omologhi dovranno essere trasportati verso i 2 poli opposti del fuso



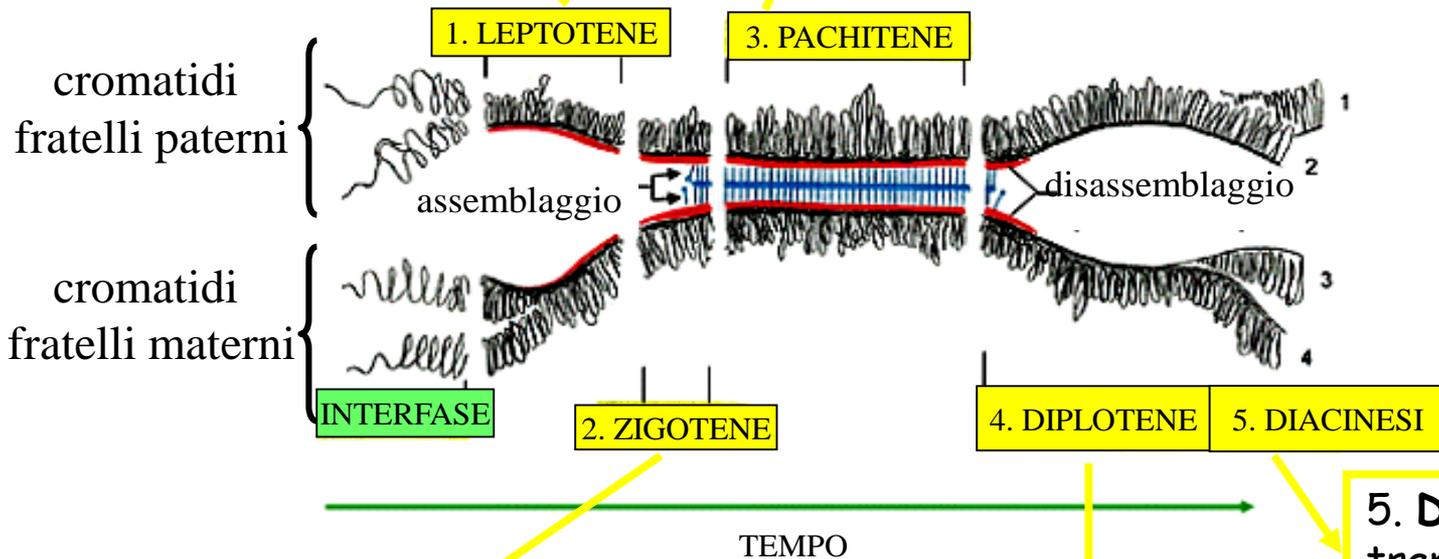
## Meiosi I: Profase I: Diacinesi

1. **Passaggio** alla metafase I
2. I cromosomi si **condensano** ulteriormente
3. i **nucleoli** scompaiono
4. si conclude l'organizzazione del **fuso**  
(come profase mitotica)

# La Meiosi - Profase I

1. **Leptotene**: associazione dei cromosomi omologhi mediante accoppiamento di basi fra filamenti complementari, prima che la cromatina si condensi

3. **Pachitene**: il complesso sinaptonemico mantiene i cromosomi omologhi strettamente associati ed avviene la **ricombinazione**. Può durare alcuni giorni

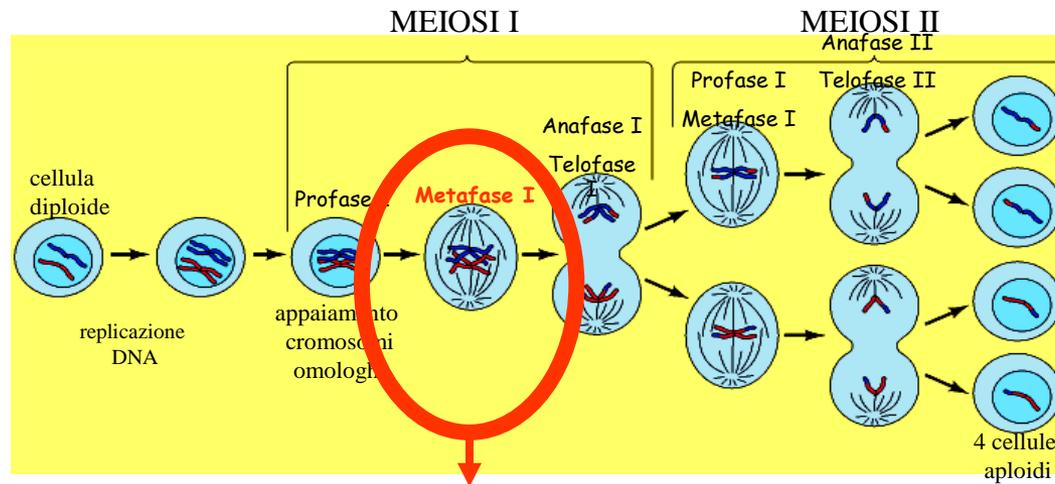


2. **Zigotene**: Si forma il **complesso sinaptonemico**: una struttura proteica a forma di cerniera lampo all'interno della quale i cromosomi omologhi sono strettamente associati

4. **Diplotene**: **scompare il complesso sinaptonemico** e i cromosomi omologhi si separano restando associati a livello dei chiasmi

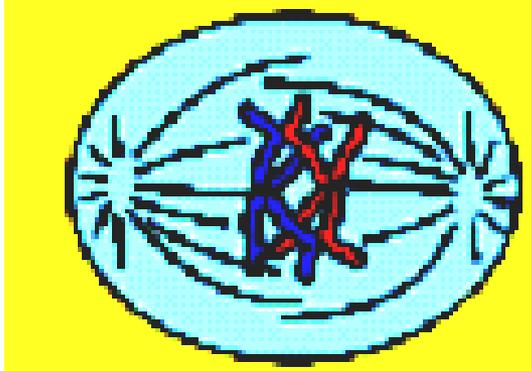
5. **Diacinesi**: transizione alla metafase

# La Meiosi - Metafase I



I cromosomi si condensano, si allineano sul fuso ed i microtubuli si attaccano ai cinetocori dei diversi cromatidi

# La Meiosi - Metafase I



I cromosomi diventano completamente condensati.

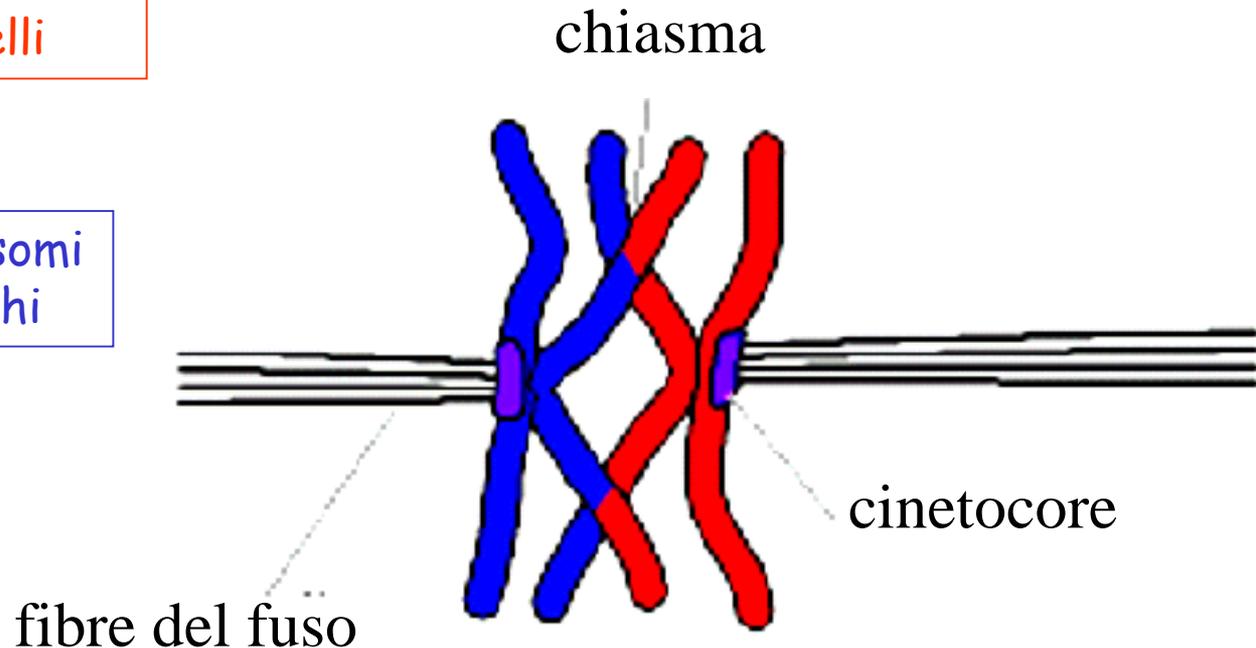
I cromosomi bivalenti (coppia di omologhi) si allineano sul fuso. A differenza della mitosi, i cinetocori dei cromatidi fratelli sono adiacenti e orientati nella stessa direzione, mentre i cinetocori di cromosomi omologhi sono diretti verso poli opposti del fuso

microtubuli dello stesso polo del fuso

cromatidi fratelli

microtubuli di poli opposti

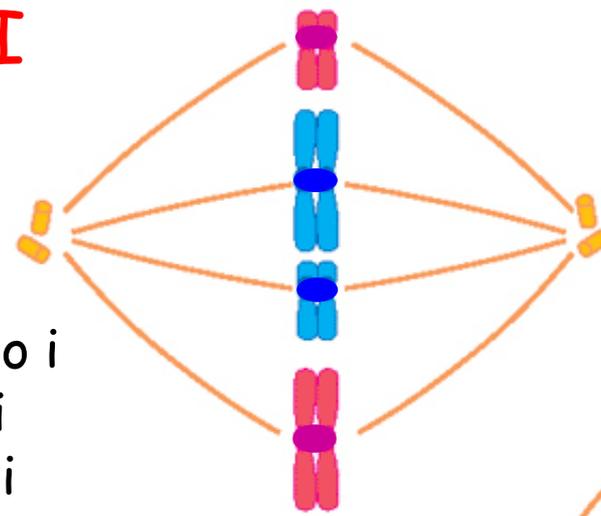
cromosomi omologhi



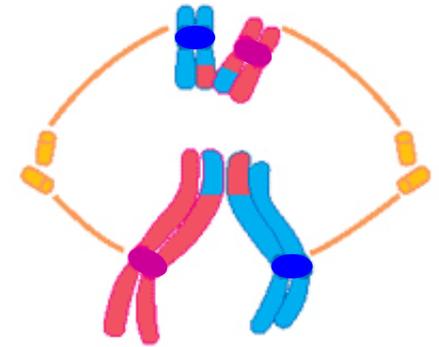
# Meiosi I: metafase I

Simile alla metafase della mitosi, ma 3 differenze:

1. I 4 cromatidi che costituiscono i 2 cromosomi omologhi, sono uniti attraverso **chiasmi** e questi punti d'unione sono basilari per garantire l'allineamento dei cromosomi omologhi



Piastra metafasica  
in mitosi

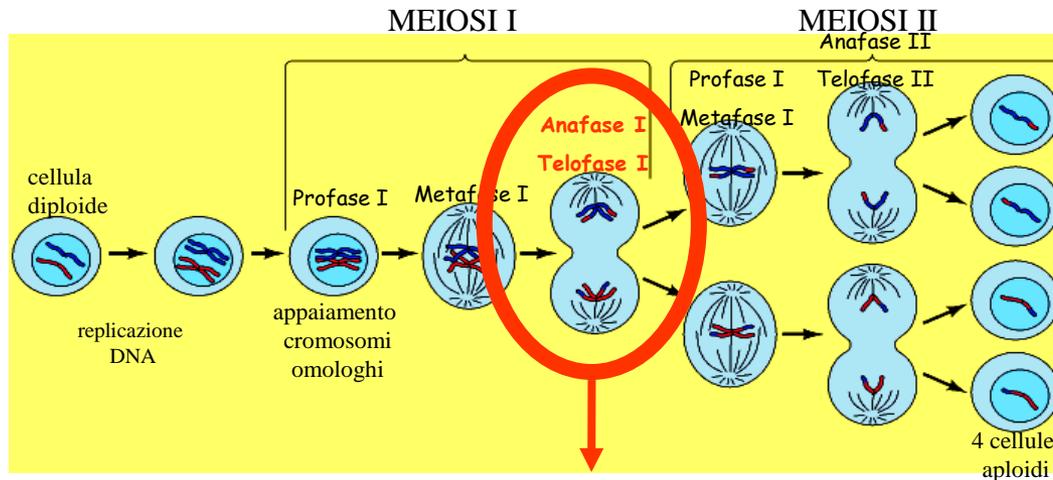


Piastra metafasica  
in meiosi I

2. i **microtubuli delle fibre** del fuso **legano** il centromero di ciascun cromosoma **solo su di un lato** (invece nella mitosi tutti i centromeri stabiliscono rapporti con le fibre del cinetocore **da entrambi i lati**)

3. Le **coesine** che tengono uniti i cromatidi fratelli a livello del centromero **non** vengono degradate durante le fasi successive della meiosi I

# La Meiosi - Anafase I

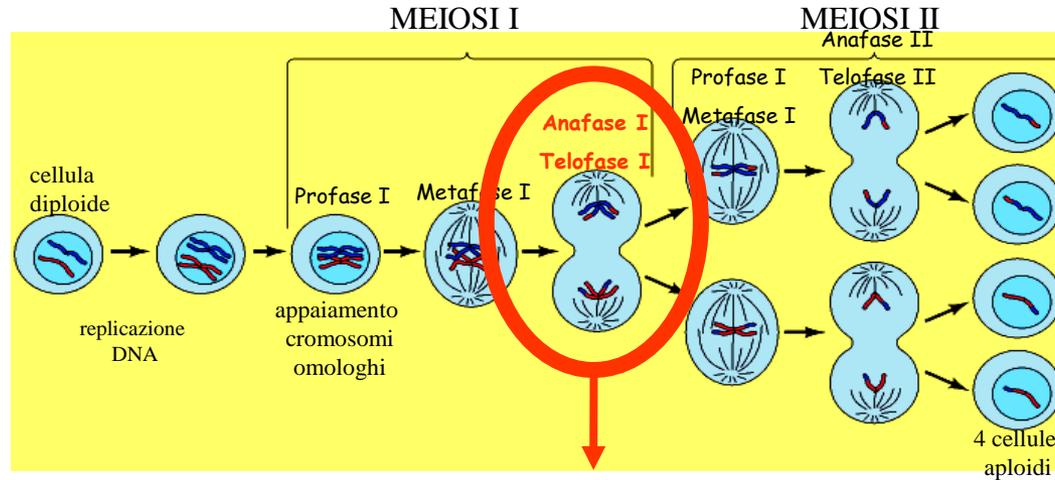


Inizia con la **distruzione dei chiasmi** a livello dei quali sono uniti i cromosomi omologhi

I cromosomi omologhi quindi si separano, mentre i cromatidi fratelli restano associati ai centromeri

Al completamento della meiosi I **ciascuna cellula figlia ha perciò acquisito un membro di ciascuna coppia omologa che consiste di 2 cromatidi fratelli**

# Meiosi I: Telofase I



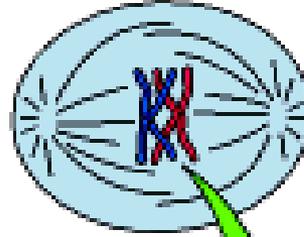
Questo permette che alla telofase si abbia:

la separazione dei 2 cromosomi omologhi e che ciascuno di questi si distribuisca separatamente alle 2 cellule prodotte alla fine della meiosi I.

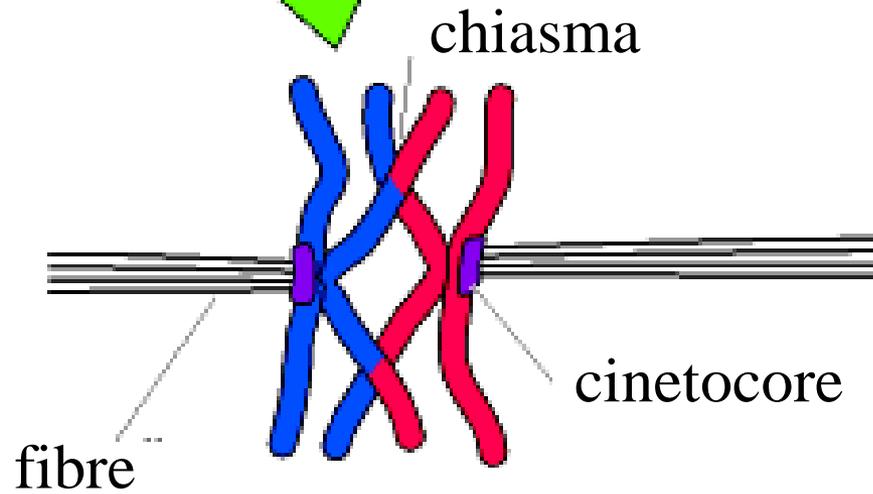
Queste cellule saranno aploidi in quanto conterranno un solo omologo di ciascuna coppia di omologhi, ma ciascuno di essi sarà ancora costituito da due cromatidi

Profase I

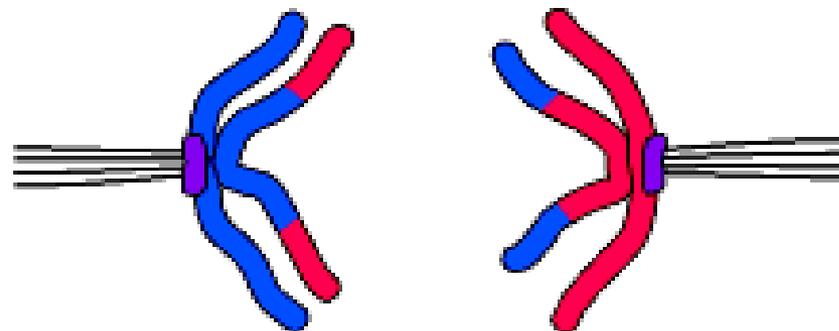
# La Meiosi I



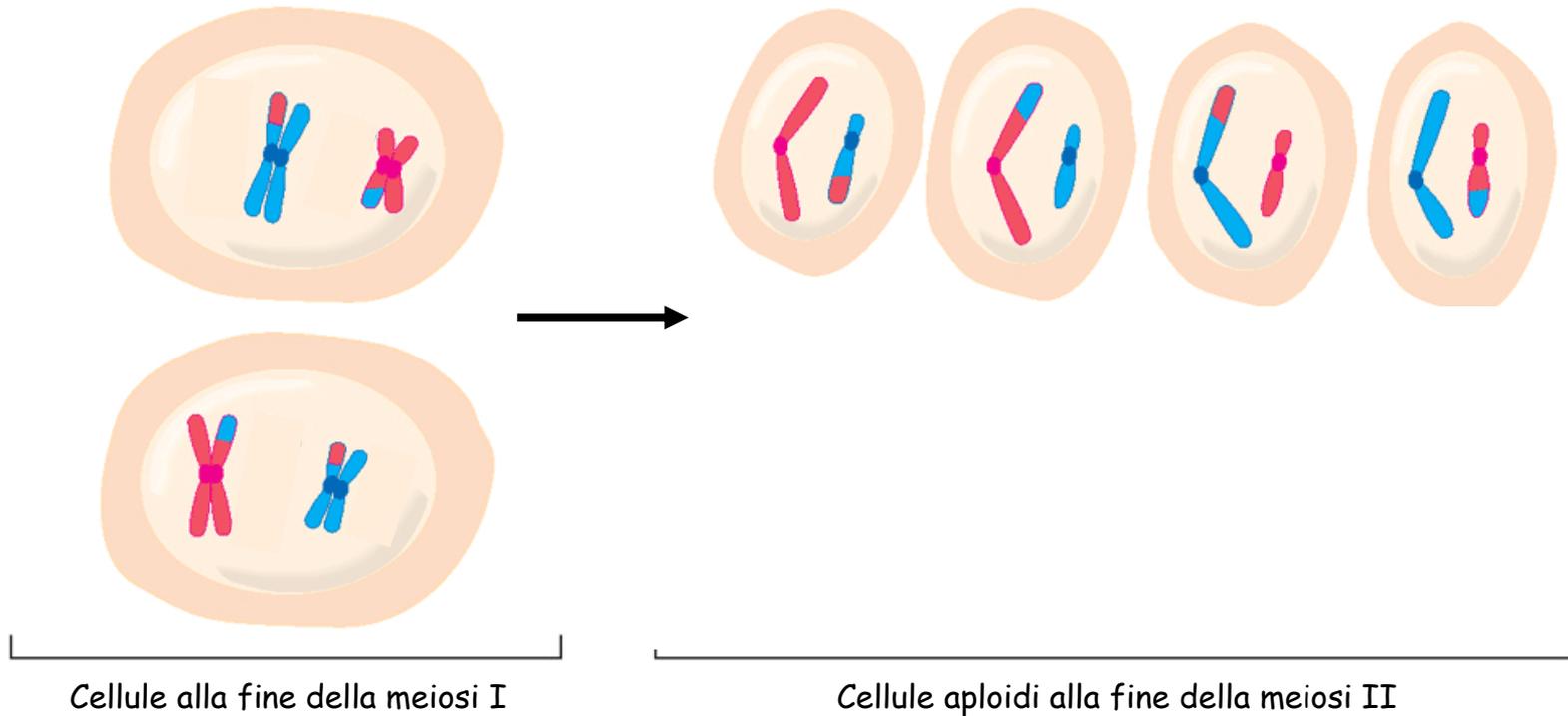
Metafase I



Anafase I



## Meiosi II

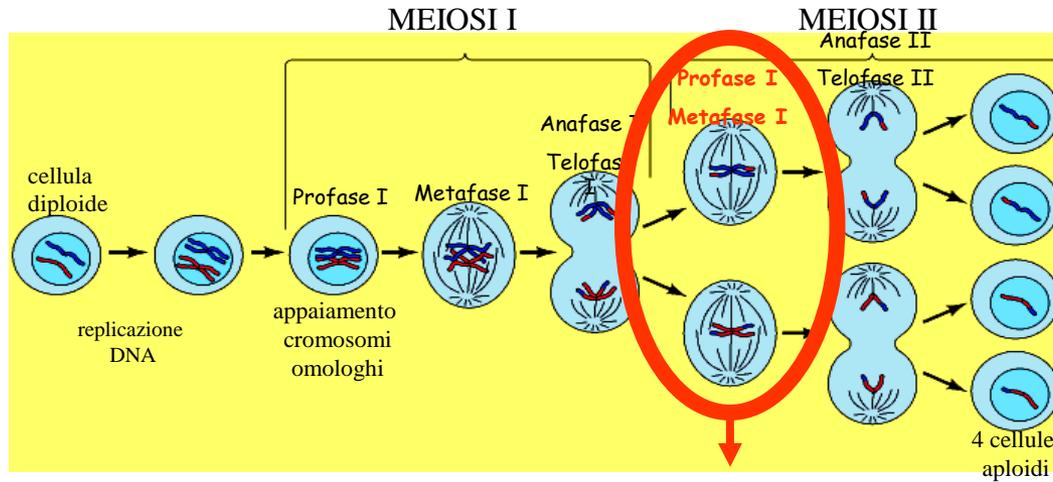


A partire dalle 2 cellule aploidi con cromosomi **dicromatidici** attraverso la meiosi II si generano 4 cellule aploidi con cromosomi **monocromatidici**.

La meiosi II è molto simile alla mitosi

Le cellule riorganizzano transitoriamente l'involucro nucleare, successivamente ricominciano a riformare un fuso di divisione come nella mitosi, ma a differenza della meiosi I tutti i centromeri entrano in rapporto con le fibre del cinetocore in modo che i 2 cromatidi fratelli possano venire segregati ai 2 poli opposti del fuso

# La Meiosi



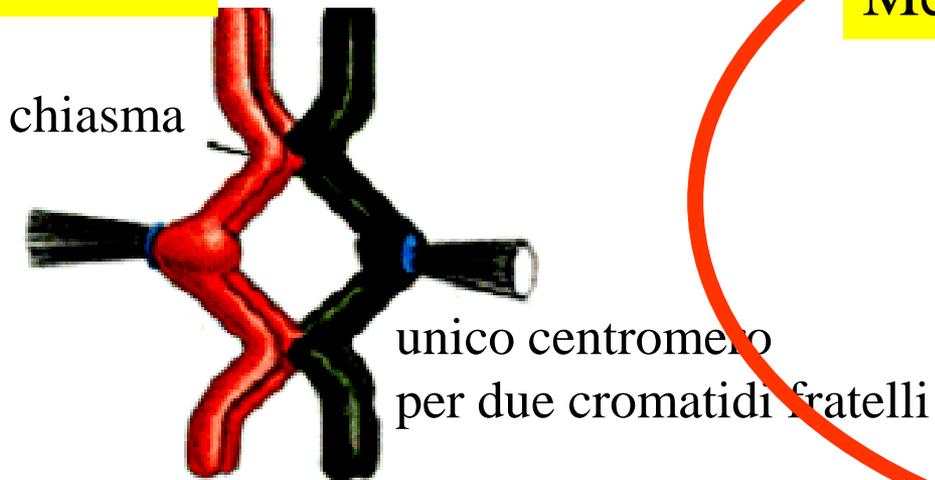
## Profase II e Metafase II

Metafase II:

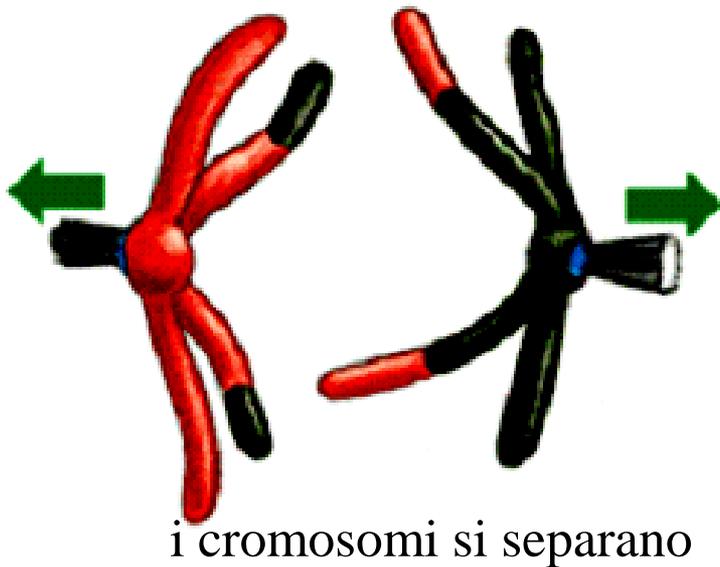
I cromosomi si allineano sul fuso con i microtubuli di poli opposti del fuso attaccati ai cinetocori di entrambi i cromatidi fratelli

# Il centromero nella meiosi

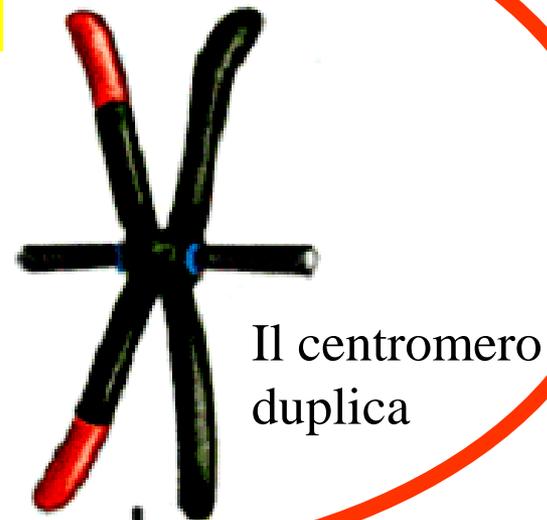
Metafase I



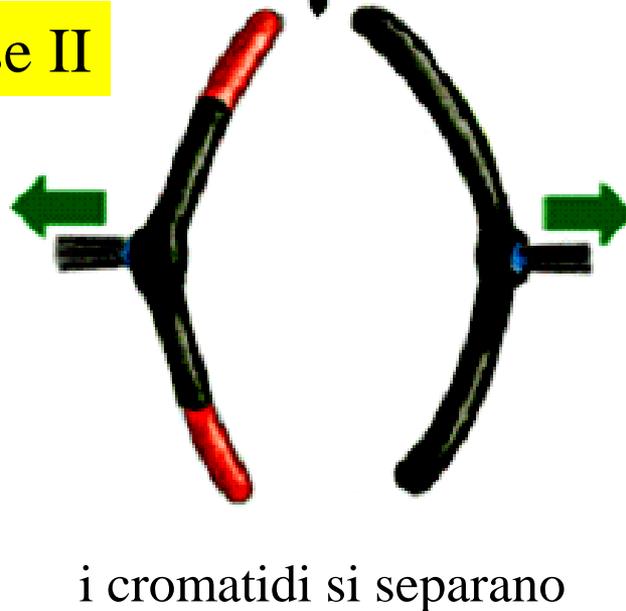
Anafase I



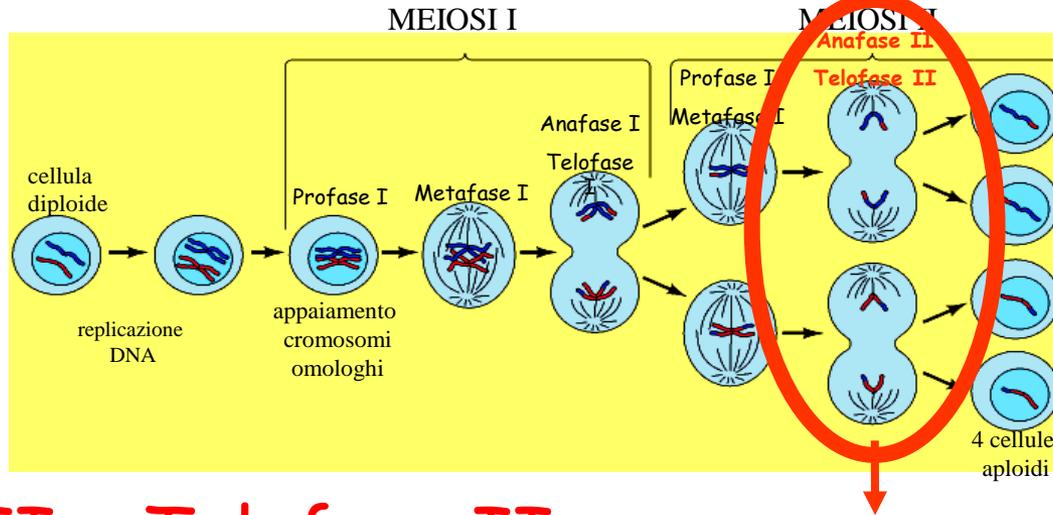
Metafase II



Anafase II



# La Meiosi



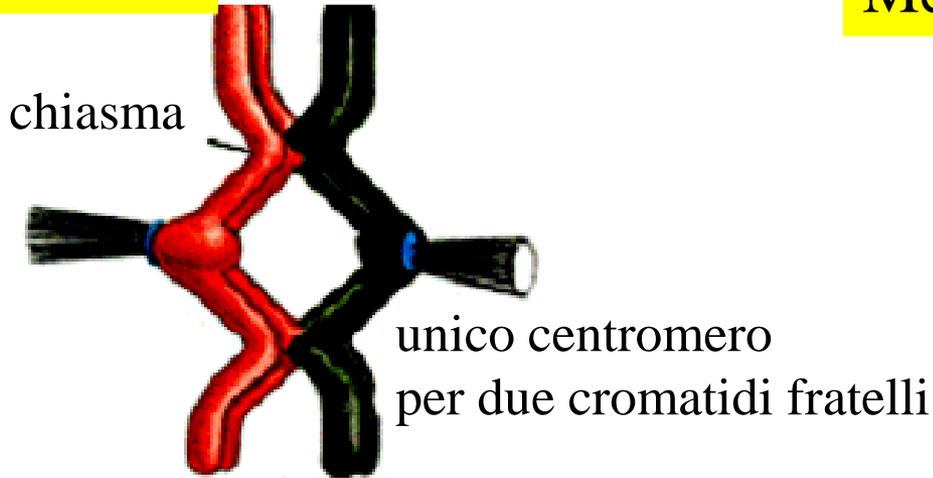
## Anafase II e Telofase II

Il collegamento fra i centromeri dei cromatidi fratelli si rompe e i cromatidi fratelli segregano ai poli opposti

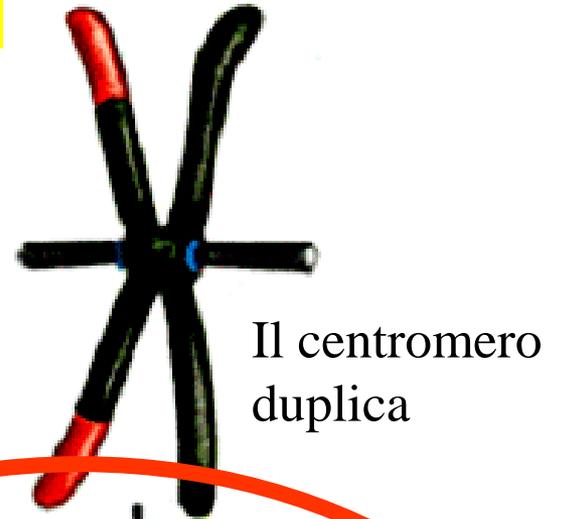
Segue la citocinesi che dà origine a cellule figlie aploidi

# Il centromero nella meiosi

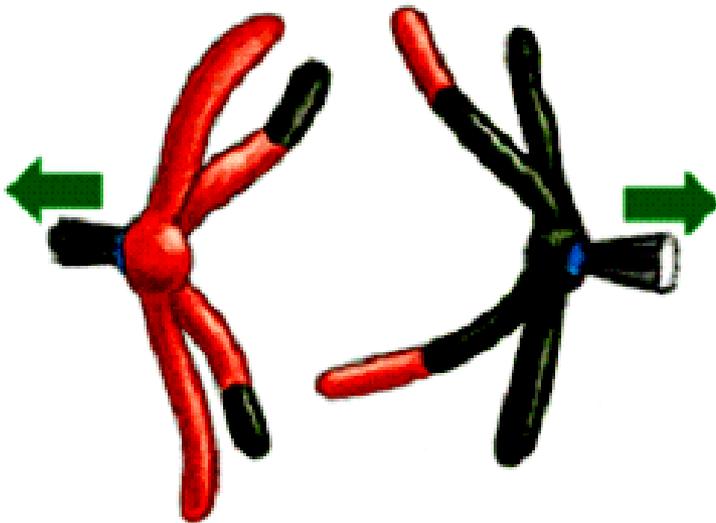
## Metafase I



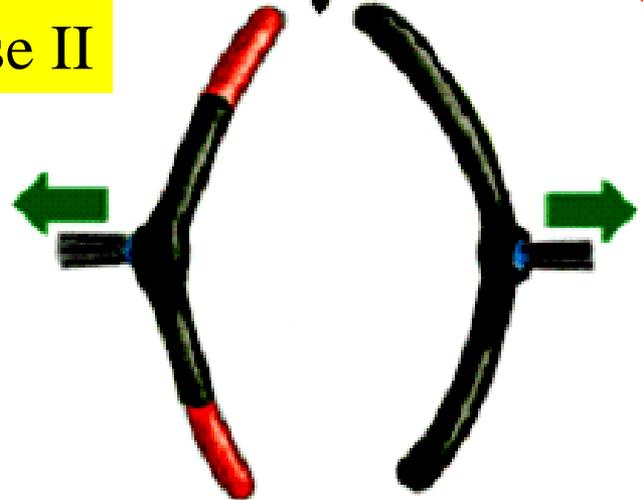
## Metafase II



## Anafase I



## Anafase II



i cromosomi si separano

# CONFRONTO FRA MEIOSI E MITOSI

## Meiosi I

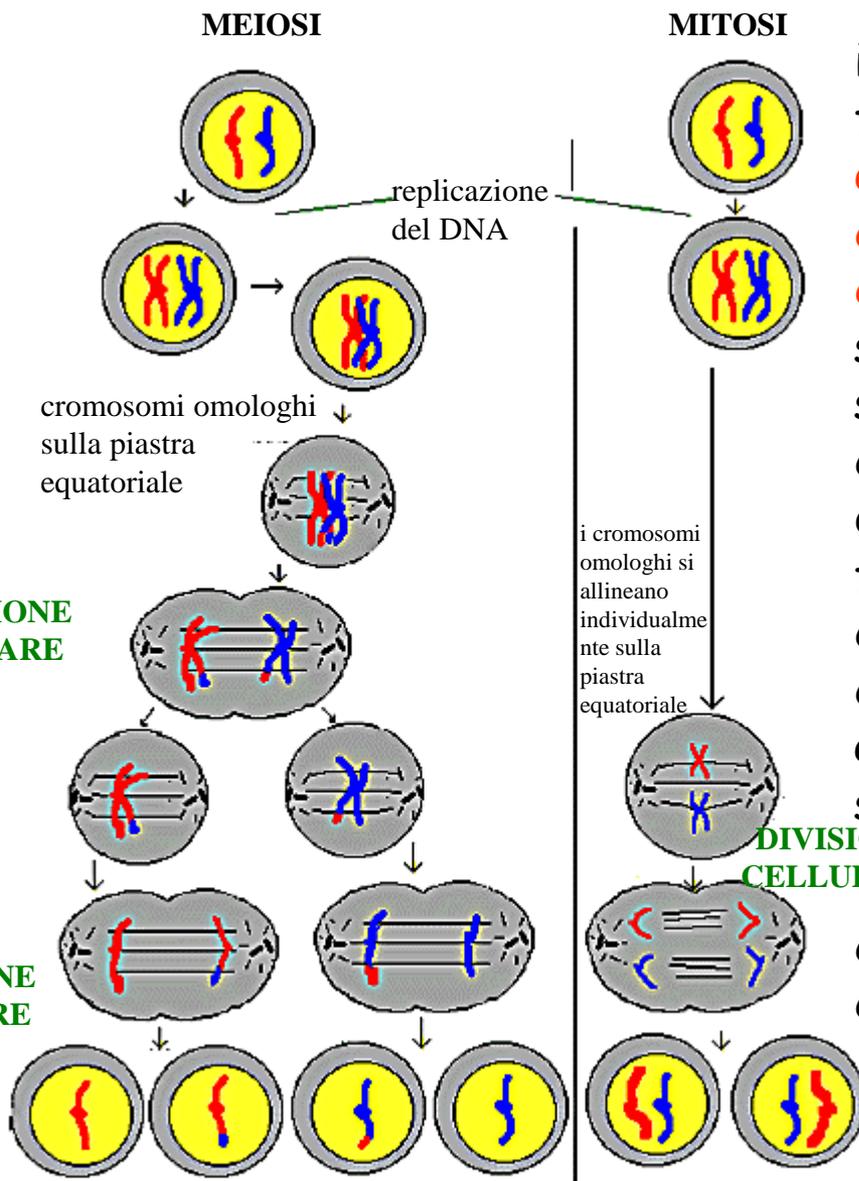
i cromosomi omologhi si appaiano e poi segregano in cellule figlie diverse. I cromatidi fratelli restano insieme, perciò si formano 2 cellule figlie che contengono un singolo membro di ciascuna coppia di omologhi, ognuno costituito da 2 cromatidi fratelli

MEIOSI 1

MEIOSI 2

2° DIVISIONE CELLULARE

1° DIVISIONE CELLULARE



## Mitosi

i cromatidi fratelli di entrambi i cromosomi della coppia di omologhi si separano e segregano in cellule figlie diverse. Si formano quindi 2 cellule diploidi, ciascuna delle quali contiene soltanto una copia di ciascun cromosoma (un cromatidio)

## Meiosi II:

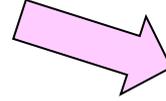
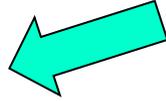
assomiglia alla mitosi:

i cromatidi fratelli

del singolo membro di ciascuna coppia di omologhi si separano e segregano in cellule figlie diverse. Si formano quindi 4 cellule aploidi, ciascuna delle quali contiene soltanto una copia di ciascun cromosoma (un cromatidio)

# Confronto fra

## Mitosi



## Meiosi

i cromosomi si dispongono in ordine **casuale** sulla piastra metafasica e i **cromatidi** fratelli si separano per diventare cromosomi individuali

Le 2 cellule figlie che ne derivano hanno ereditato **una copia di ciascun cromosoma materno e una copia di ciascun cromosoma paterno**

Entrambi i corredi genetici passano integralmente alle cellule della generazione successiva, che risultano **diploidi e geneticamente identiche**

in meiosi I **gli omologhi paterni e materni si appaiano tra loro** in senso longitudinale, prima di disporsi sulla piastra metafasica, quindi i 2 **cromosomi** di ciascuna coppia si separano

Ogni gamete che ne deriva avrà ereditato **o la copia materna o la copia paterna** di ciascuna coppia, ma non entrambe

Assegnando a caso gli omologhi paterni e materni, con tutta la varietà dei loro alleli, **la meiosi crea in ogni gamete una combinazione nuova e diversa**

# spermatogenesis

# oogenesis

