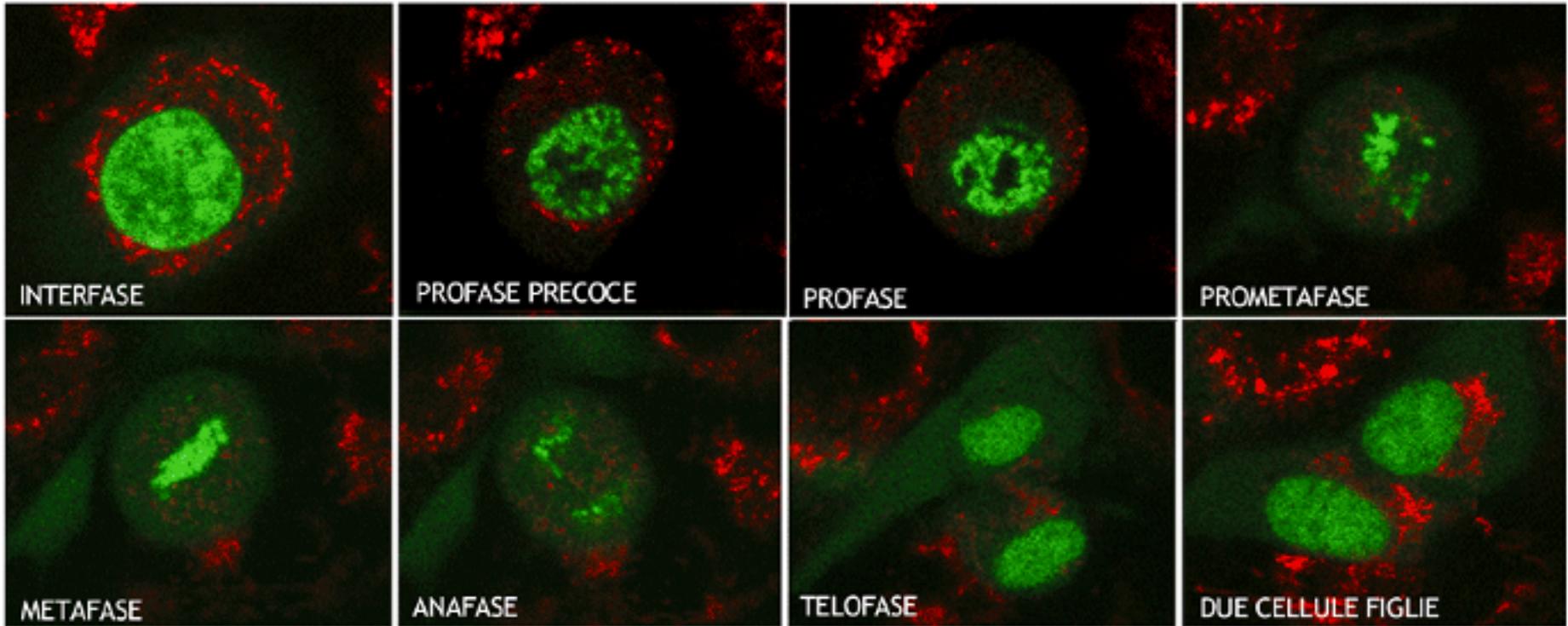


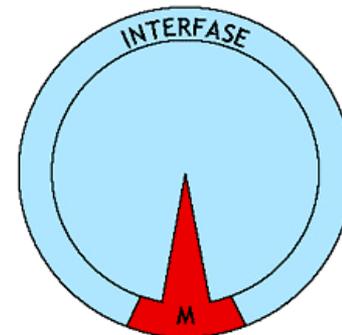
MITOSI E MEIOSI



Fasi della mitosi



1. Profase
2. Prometafase
3. Metafase
4. Anafase
5. Telofase



■ **Figura 7.2** Il ciclo cellulare rappresentato come un'alternanza di mitosi ed interfase.



Profase

1. Visibili i cromosomi.

Ogni cromosoma è costituito da due cromatidi fratelli uniti a livello dei centromeri (tramite le coesine). Compattamento dei cromosomi attraverso la fosforilazione delle condensine);

2. La struttura del citoscheletro collassa, lamina nucleare e altri organelli si dissolvono;

3. I due centrosomi - duplicati nella fase S- si separano per organizzare i due poli del fuso mitotico.

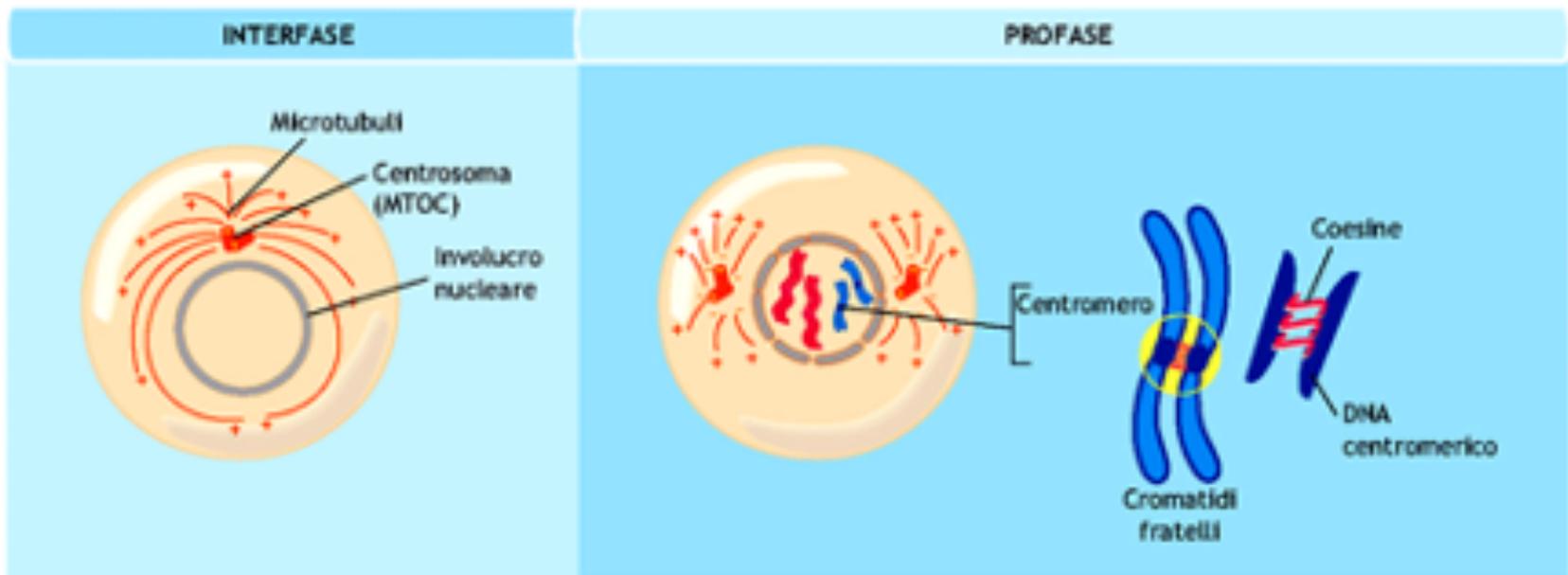


Figura 7.24 Differenze tra una cellula in interfase ed una in profase nell'organizzazione dei cromosomi, dei centrioli, dei microtubuli e dell'involucro nucleare. Da ricordare la polarità dei microtubuli con la distribuzione ordinata delle estremità positive lontane dai centrioli. Il grandimento illustra l'interazione tra i cromatidi fratelli che si esplica a livello del centromero attraverso il coinvolgimento della coesina.



Cromosoma

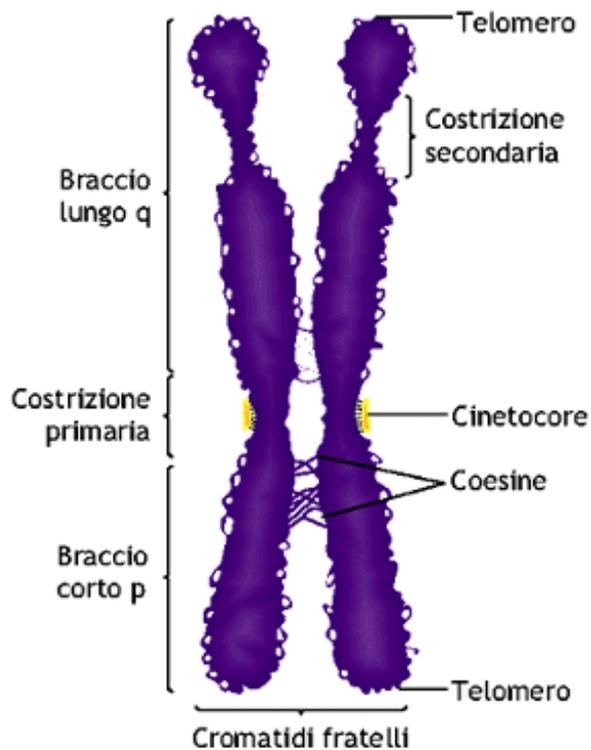
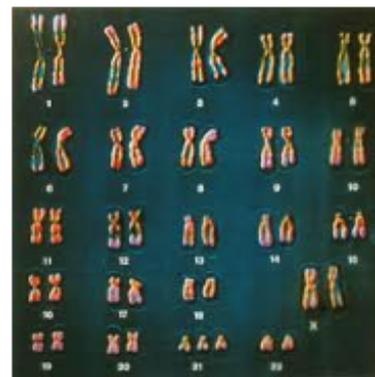


Figura 1.70 Il cromosoma metafaseico. Il cromosoma metafaseico è la forma massimamente compattata della cromatina. È evidente un centromero che identifica un braccio corto (p) ed un braccio lungo (q), le estremità telomeriche e le costrizioni secondarie. Le proteine che tengono uniti i cromatidi fratelli sono dette coesine.

I cromosomi al termine della duplicazione del DNA (in preparazione per la divisione cellulare) sono costituiti da due filamenti, **cromatidi fratelli**.

1. **Centromero:** costrizione primaria che a seconda della posizione ci consente di classificarli in metacentrici (a metà), submetacentrici (spostato verso le estremità) o acrocentrici (terminale); i cromatidi fratelli uniti a livello del **centromero tramite le coesine**;
2. **Cinetocore:** si aggancia al fuso mitotico;
3. **Costrizioni secondarie:** organizzatore del nucleolo;
4. **Telomeri:** estremità dei cromosomi.



Cariotipo: analisi del numero e forma dei cromosomi

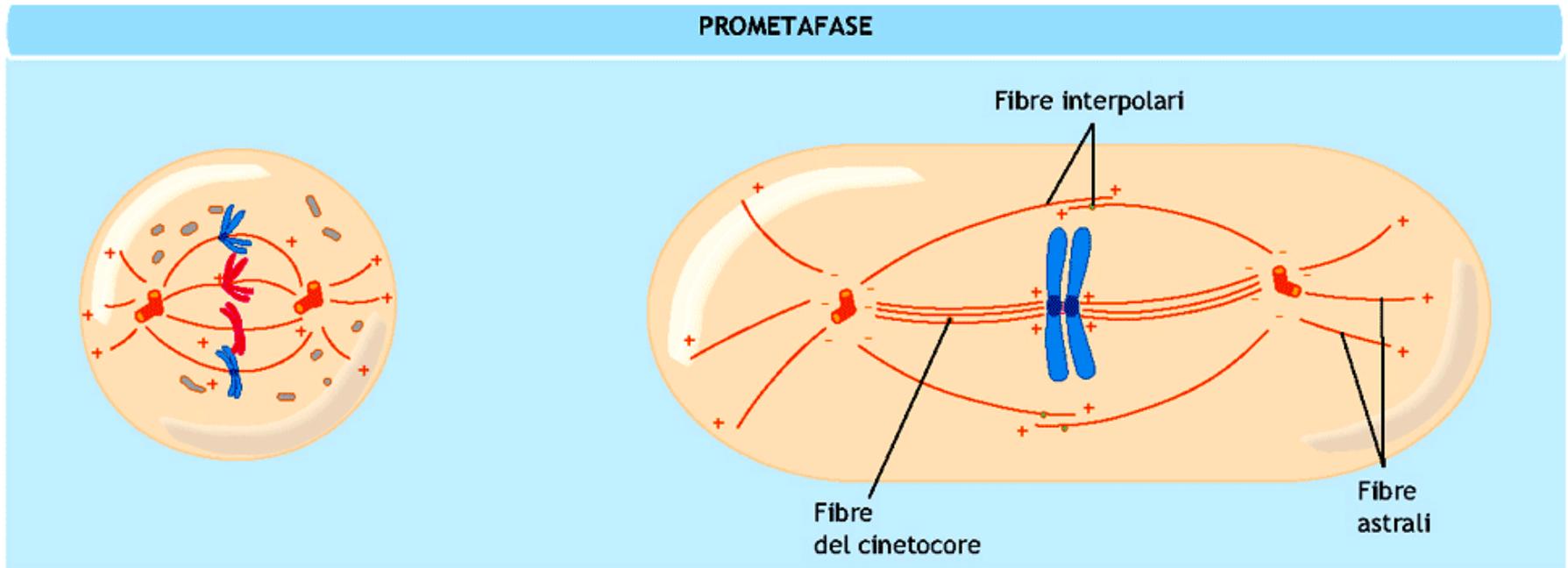


Prometafase

1. Completata la frammentazione della membrana nucleare;

2. Viene evidenziato il fuso mitotico nelle sue componenti

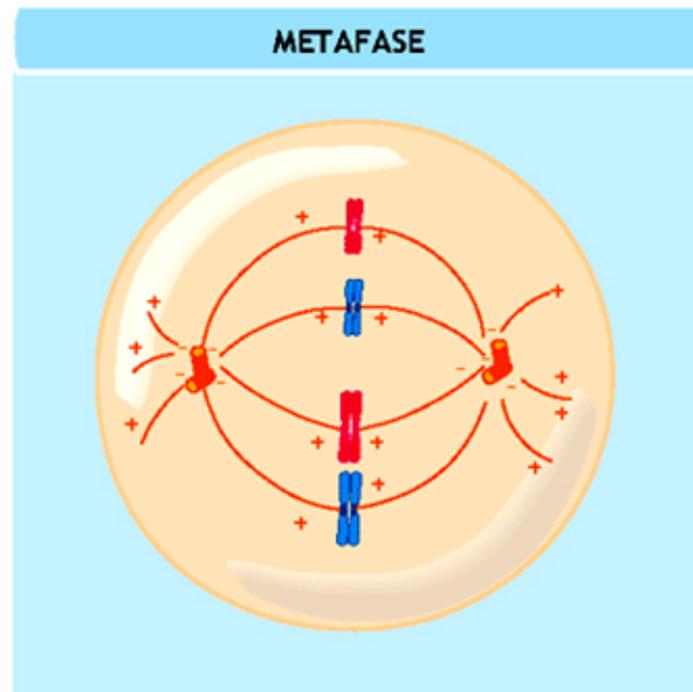
- ✓ **Fibre astrali** che vanno dal polo verso il cortex per allungamento del fuso che viene trascinato verso la periferia
- ✓ **Fibre cinetocore** che si legano al cinetocore una placca proteica nel centromero per separare i cromosomi
- ✓ **Fibre interpolari** che partono dai poli e si sovrappongono all'equatore
- ✓ portano ad allungamento del fuso per allontanare i cromosomi



■ **Figura 7.25** Cambiamenti nell'organizzazione dei cromosomi e dei microtubuli nella cellula in prometafase. Viene evidenziato il fuso mitotico nelle sue diverse componenti. Dai poli del fuso, formati dai due centrioli si dipartono: le fibre del cinetocore, che entrano in contatto con i cromosomi a livello dei centromeri, le fibre astrali, che mediano i rapporti con il cortex cellulare, e le fibre interpolari, che stabiliscono contatti con i microtubuli provenienti dal polo opposto del fuso.

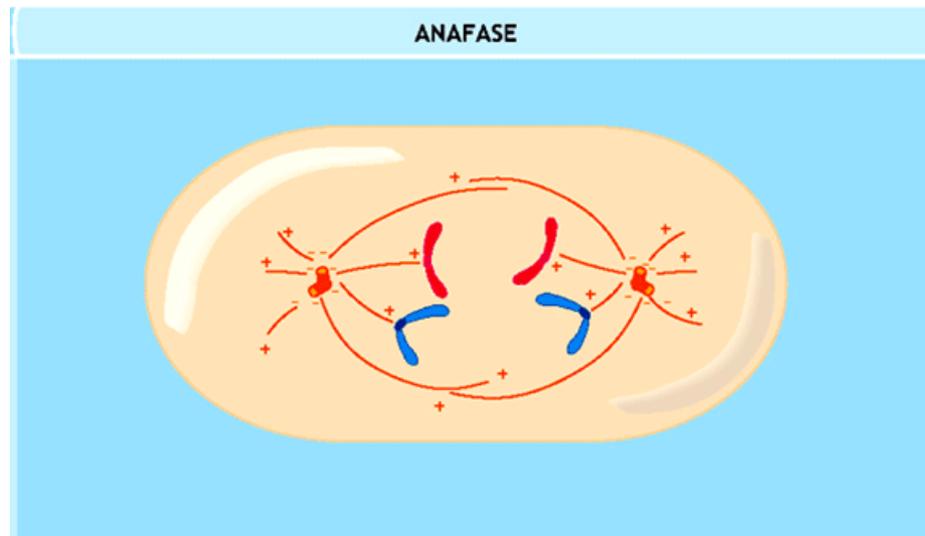
Metafase

1. cromosomi sono allineati in posizione mediana rispetto ai due poli del fuso a formare **la piastra metafasica**;
2. In questa fase i cromatidi fratelli sono ancora tenuti insieme dalle coesine mentre le fibre del fuso tendono a separarli;
3. **Attivo il checkpoint che assicura che il fuso sia pronto e che tutti i cromosomi siano sul fuso**;
4. Se tutto è in regola viene attivata una proteina chiamata Anaphase Promoting Complex (APC) e si passa all'anafase.



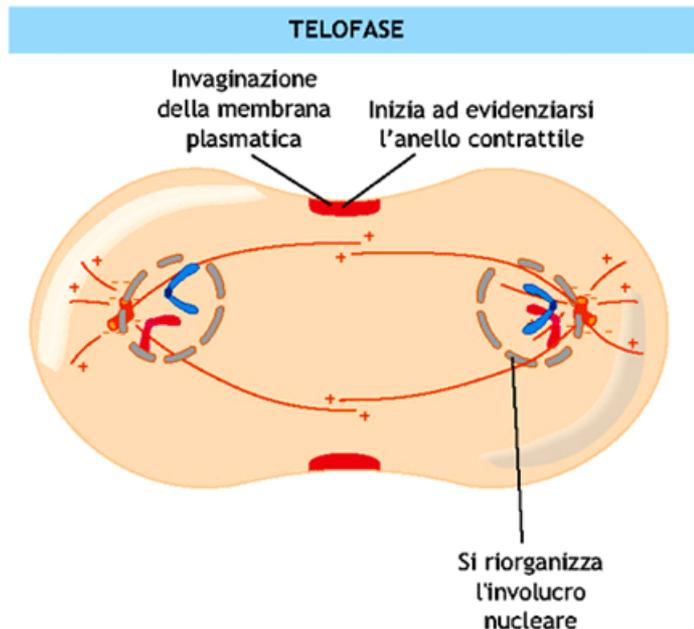
Anafase

1. Anaphase Promoting Complex: induce la degradazione delle coesine
2. I cromatidi fratelli si separano e migrano verso le estremità del polo



Telofase

1. Ogni cromatidio fratello si è portato alle due opposte regioni della cellula;
2. Si riforma la membrana nucleare con i pori nucleari;
3. Gli organelli si riorganizzano nella struttura interfascica;
4. I cromosomi gradualmente si decondensano;
5. Inizia ad invaginarsi la membrana plasmatica.

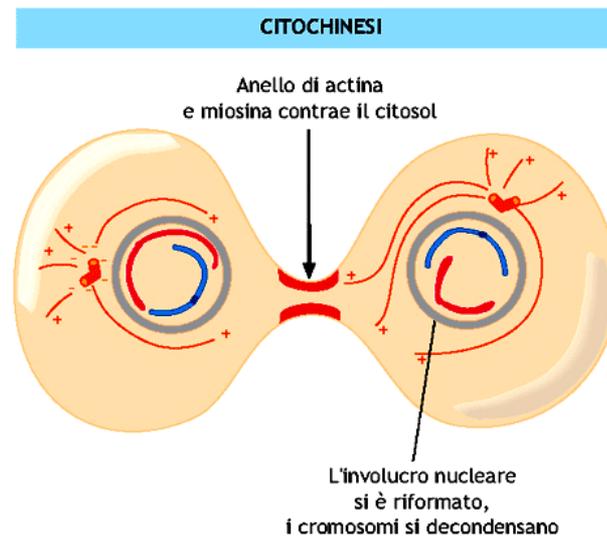


■ **Figura 7.30** Cambiamenti della distribuzione dei cromosomi telofase. Presso un'invaginazione della membrana plasmatica, nella zona equatoriale, si incomincia ad organizzare l'anello contrattile.



Citochinesi

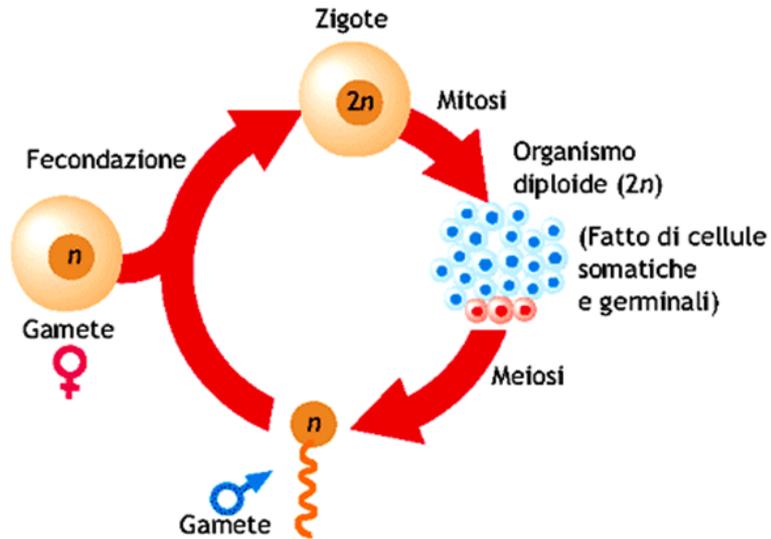
1. Il solco che si è iniziato a formare durante la telofase continua ad invaginarsi perpendicolarmente all'asse che separa i due poli del fuso;
2. Il sistema dei microfilamenti (actina e miosina) formerà un anello contrattile che causerà la contrazione del citoplasma e la separazione in due della cellula.



■ **Figura 7.31** Nella citochinesi l'azione continua dell'anello contrattile provoca la separazione in due del citoplasma che fissa la formazione di due nuove cellule. Attorno ai due poli del fuso, dove sono giunti al termine della loro corsa i cromosomi, si riorganizza l'involucro nucleare.



Divisione delle cellule germinali



■ **Figura 7.32** La meiosi negli organismi pluricellulari svolge il suo ruolo alla fine del differenziamento delle cellule germinali per produrre i gameti (maschili o femminili) caratterizzati da un genoma aploide (n). Con la fecondazione, l'unione del gamete maschile con il gamete femminile ristabilisce una cellula (lo zigote) con un genoma diploide ($2n$). Scopo della meiosi è dimezzare il corredo cromosomico e generare variabilità genetica. Le cellule somatiche, invece, mantengono sempre un genoma diploide e si dividono per mitosi.

Avviene per meiosi.

Dalla divisione delle cellule **germinali**, che daranno origine ai **gameti** e destinate a unirsi nel processo della fecondazione per dare origine ad un nuovo individuo – si formeranno **quattro** cellule figlie **aploidi** (materiale genetico dimezzato rispetto alla cellula madre che derivano da una cellula diploide).

La **mitosi**- cellule **somatiche**- dà origine a **due** cellule **diploidi** (stessa quantità di materiale genetico della cellula madre)

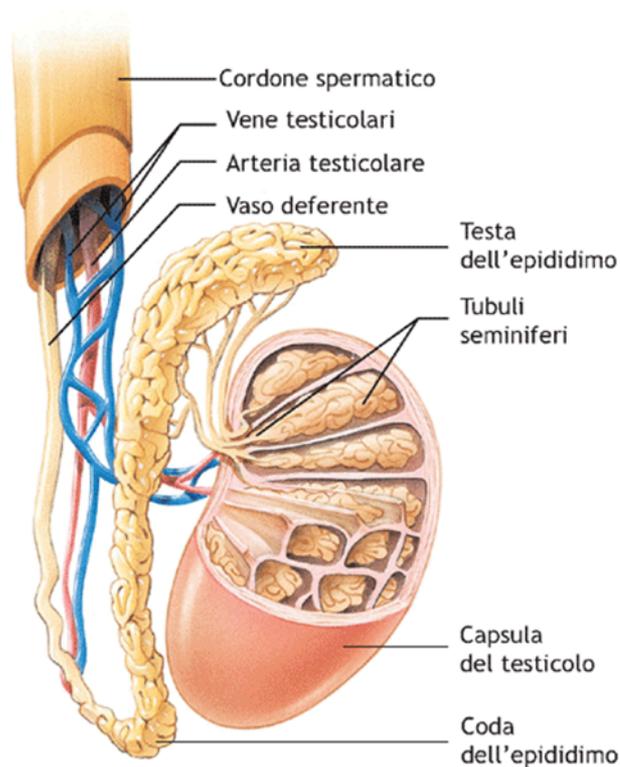


Cromosomi omologhi e aploidia/ diploidia

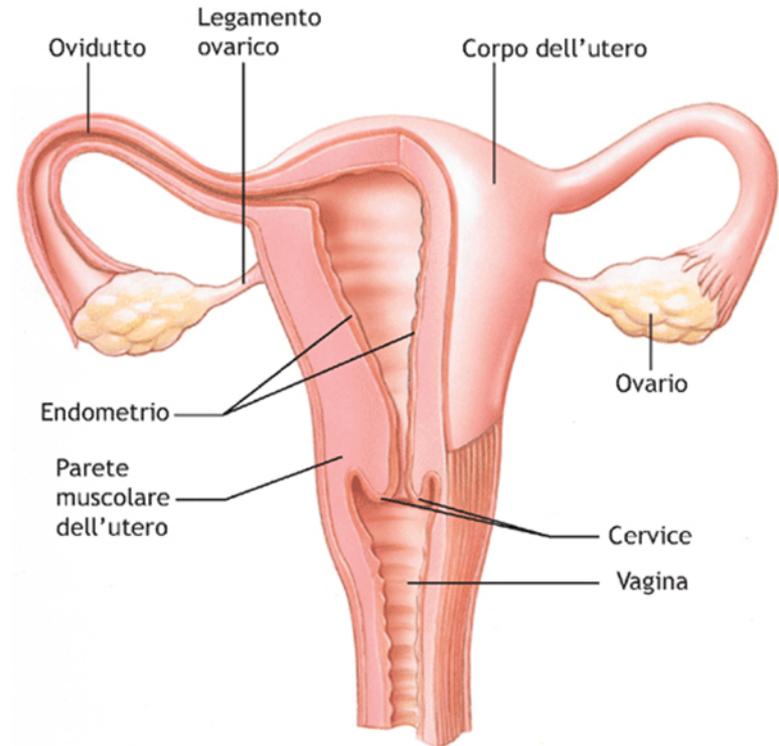
- Ogni individuo ha un numero fisso di cromosomi. Questo numero dipende dalla specie. Nell'essere umano ci sono **46 cromosomi in forma diploide (2n) e 23 in forma aploide (n)**;
- 22 coppie di cromosomi omologhi e due cromosomi sessuali (XX donne- XY uomo);
- **I CROMOSOMI OMOLOGHI** sono due copie di uno stesso cromosoma che portano gli stessi geni e sono di provenienza materna e paterna. *(Ad esempio, il gene della catena beta dell'emoglobina nell'uomo si trova sul cromosoma 11, questo vuol dire che l'uomo ha due geni per la catena B dell'emoglobina, dato che avrà due cromosomi 11);*
- Le cellule somatiche presentano quindi due corredi cromosomici e per questo sono dette diploidi. Spermatozoi e cellule uovo (gameti) che sono aploidi, cioè hanno un solo assetto cromosomico.



La meiosi avviene nelle gonadi



■ **Figura 8.6** Struttura del testicolo, dell'epididimo e del cordone spermatico. Viene mostrata la sezione sagittale del testicolo per evidenziare la disposizione dei tubuli seminiferi.



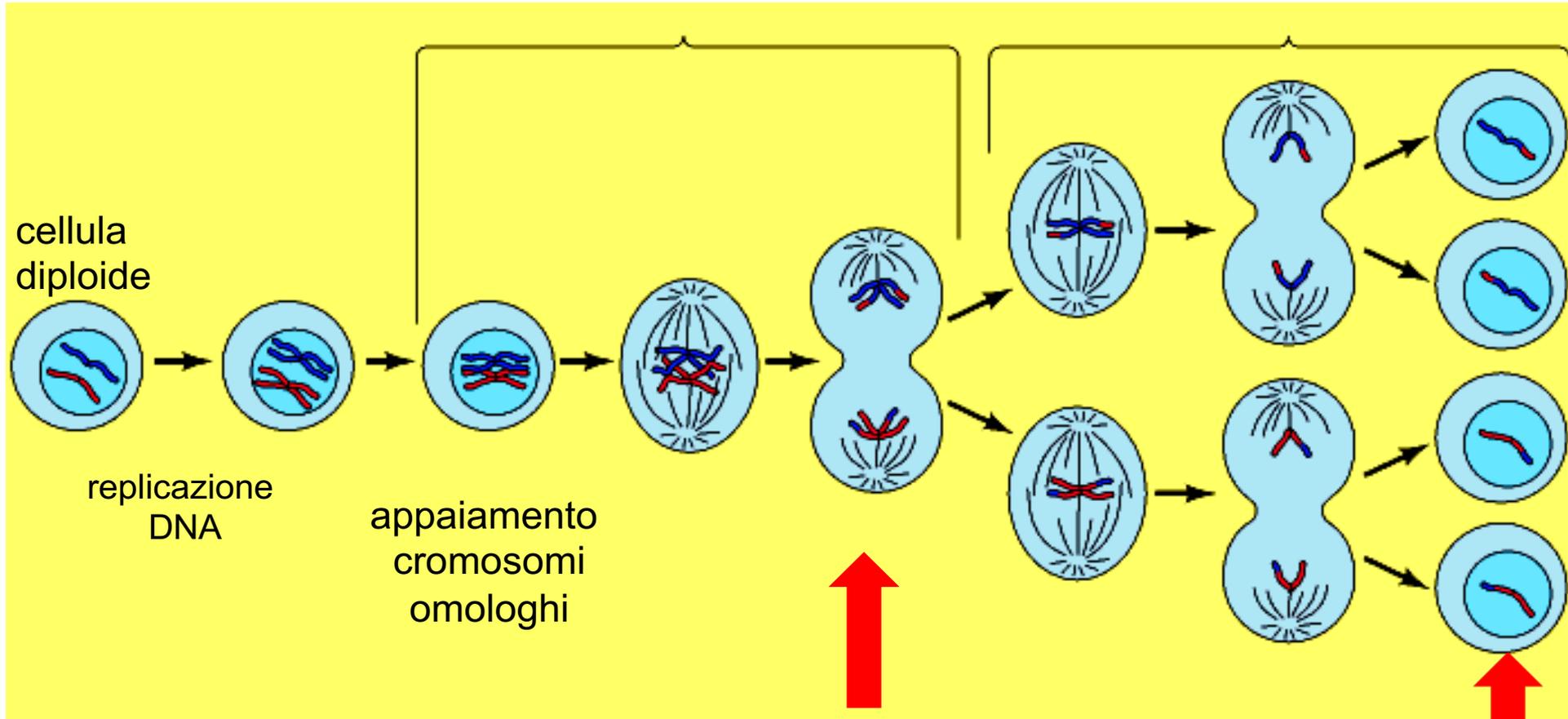
■ **Figura 8.7** Apparato riproduttore femminile visto frontalmente. I vari organi sono tenuti in sede grazie a legamenti di tessuto connettivo. Alcuni organi sono sezionati per mostrare la struttura interna.



La meiosi è caratterizzata da due divisioni cellulari precedute da una sola duplicazione del DNA

MEIOSI I

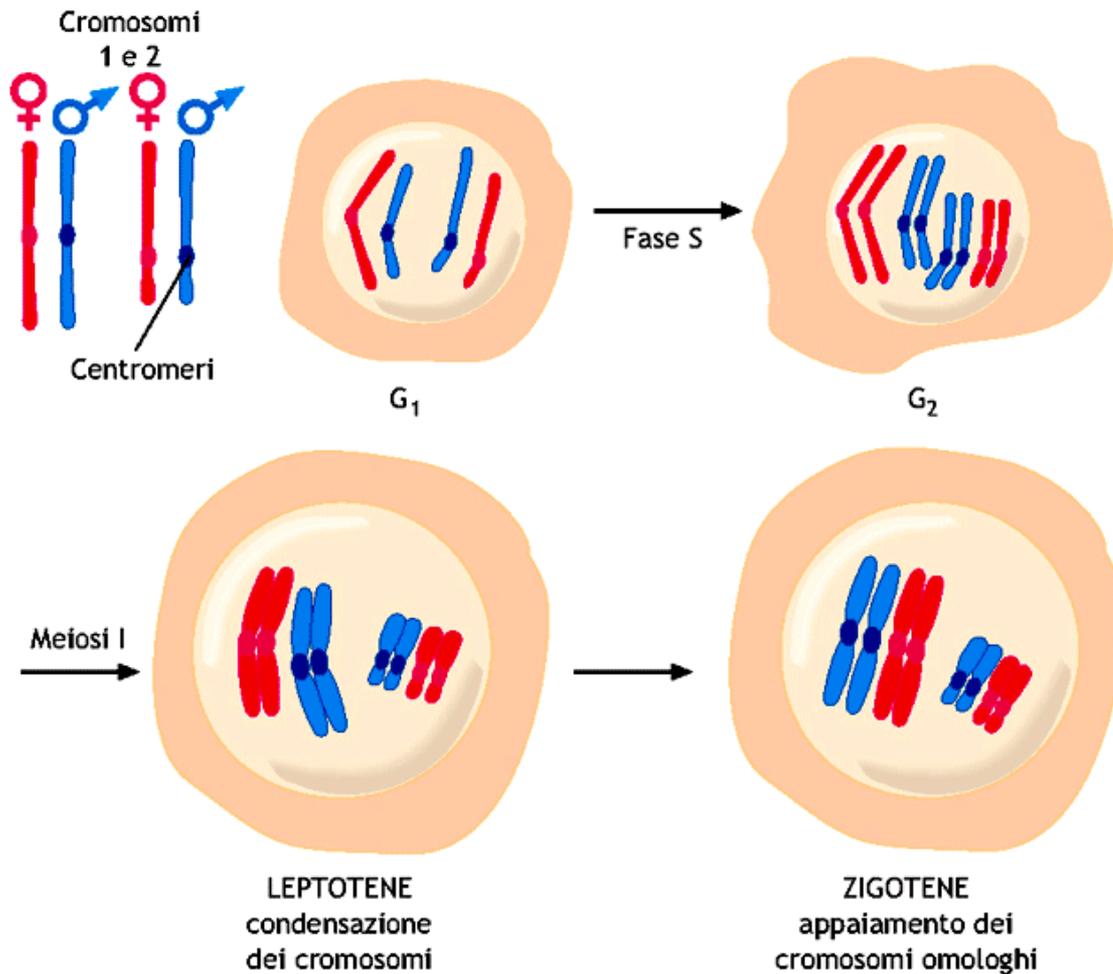
MEIOSI II



Meiosi 1:
2 cellule con metà del numero di cromosomi ma stessa quantità di DNA della cellula madre

Meiosi 2:
4 cellule con metà del numero di cromosomi e metà del DNA della cellula madre
aploidi

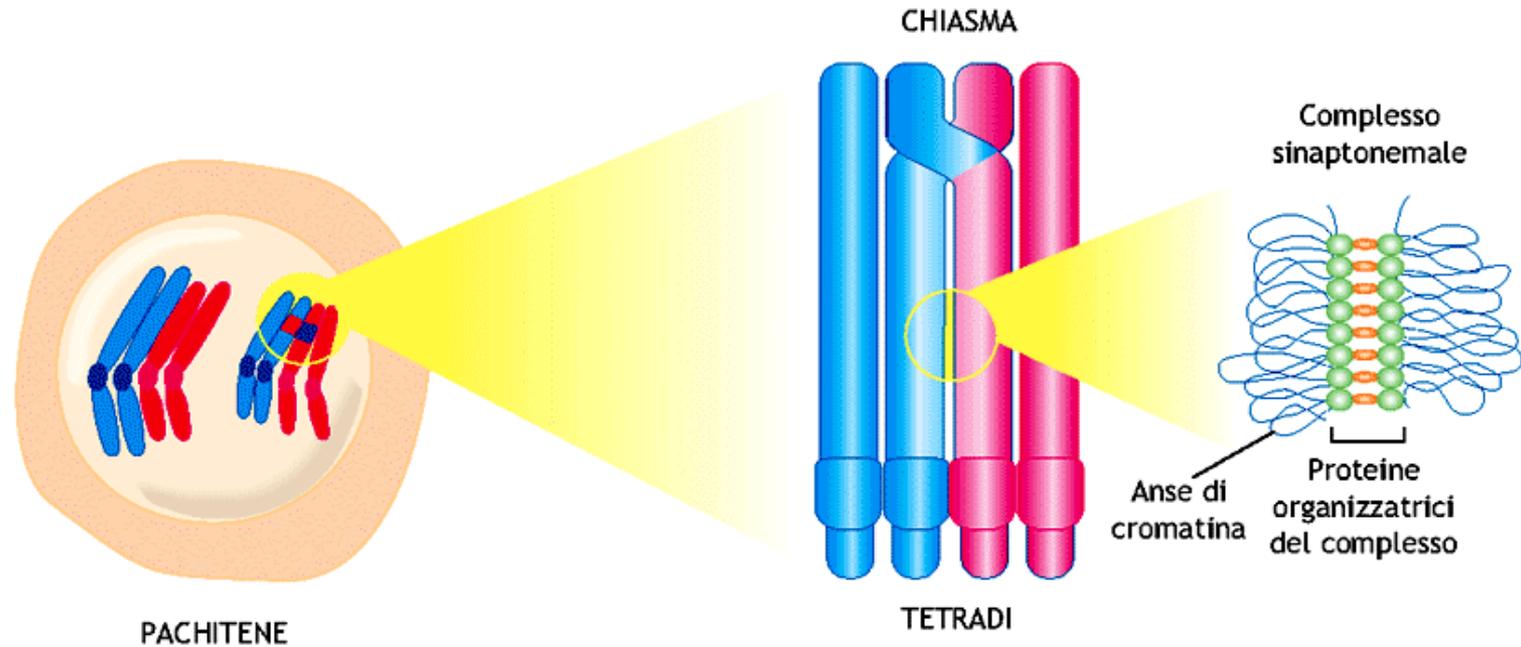
Profase I è la fase più lunga della meiosi I e si suddivide in 1) leptotene 2) zigotene 3) pachitene 4) diplotene



■ **Figura 7.33** Cambiamenti nel contenuto in DNA e nello stato di compattamento dei cromosomi nel corso del ciclo cellulare e della profase meiotica I. Le coppie paterna e materna di due diversi cromosomi (cromosoma 1 e 2) sono rappresentate con colori diversi.



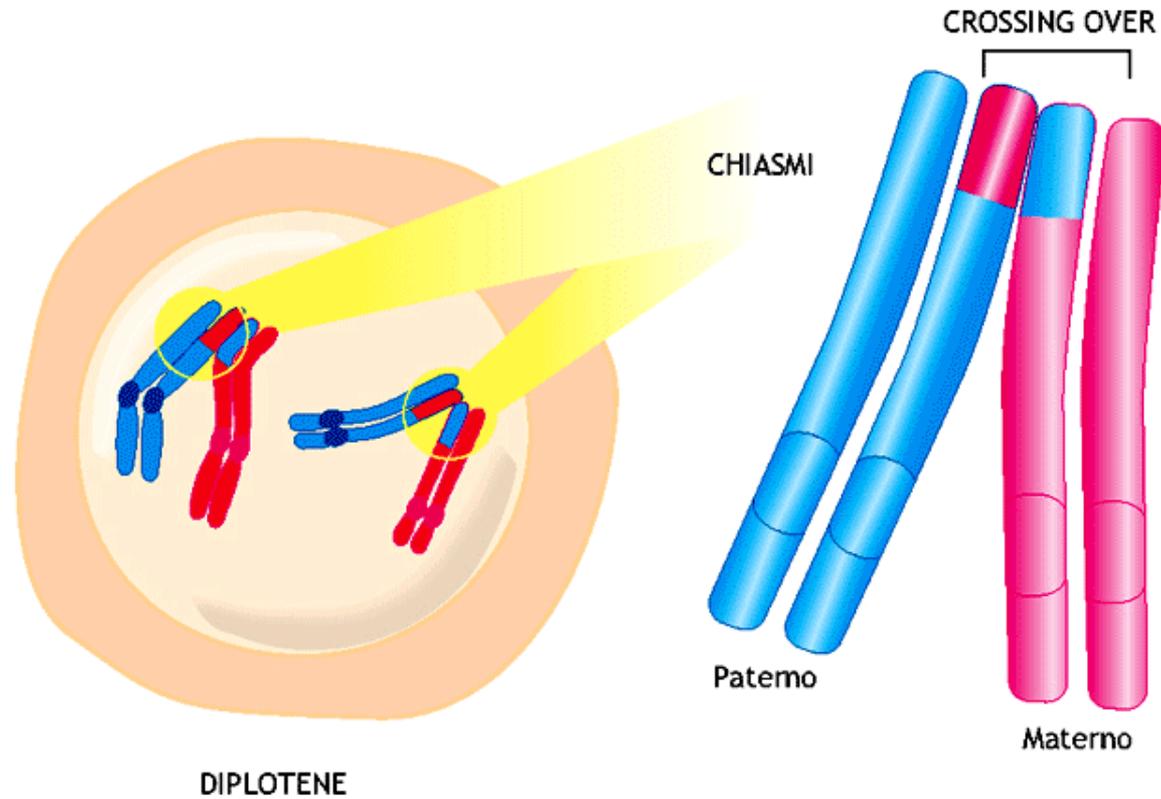
3) pachitene: in questa fase avviene il crossing over , lo scambio di materiale genetico tra cromosomi paterni e materni



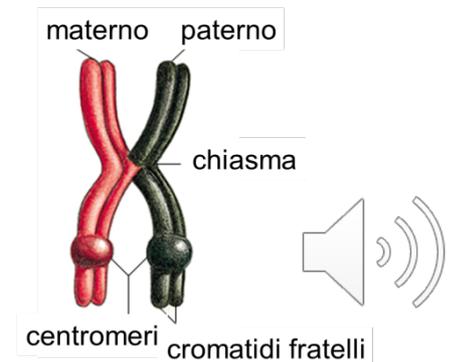
■ **Figura 7.34** La cellula nel pachitene. Il primo ingrandimento permette di osservare una tetrade che sta formando un chiasma, punti dove avvengono gli scambi del materiale genetico. Il secondo ingrandimento rappresenta il complesso sinaptonemale.



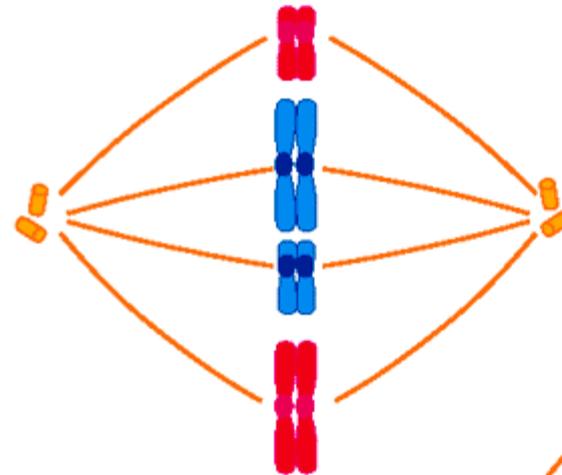
4) diplotene, i cromosomi sono a contatto solo a livello dei chiasmi



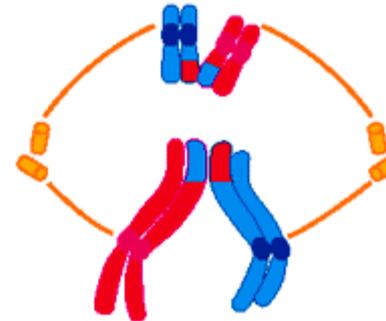
■ **Figura 7.35** La cellula in diplotene. Sono bene evidenti i chiasmi che sono i punti di contatto tra i quattro cromatidi. L'ingrandimento sottolinea il chiasma e lo scambio di materiale genetico avvenuto nel corso del crossing over.



Metafase I



Piastra metafaseica
in mitosi



Piastra metafaseica
in meiosi I

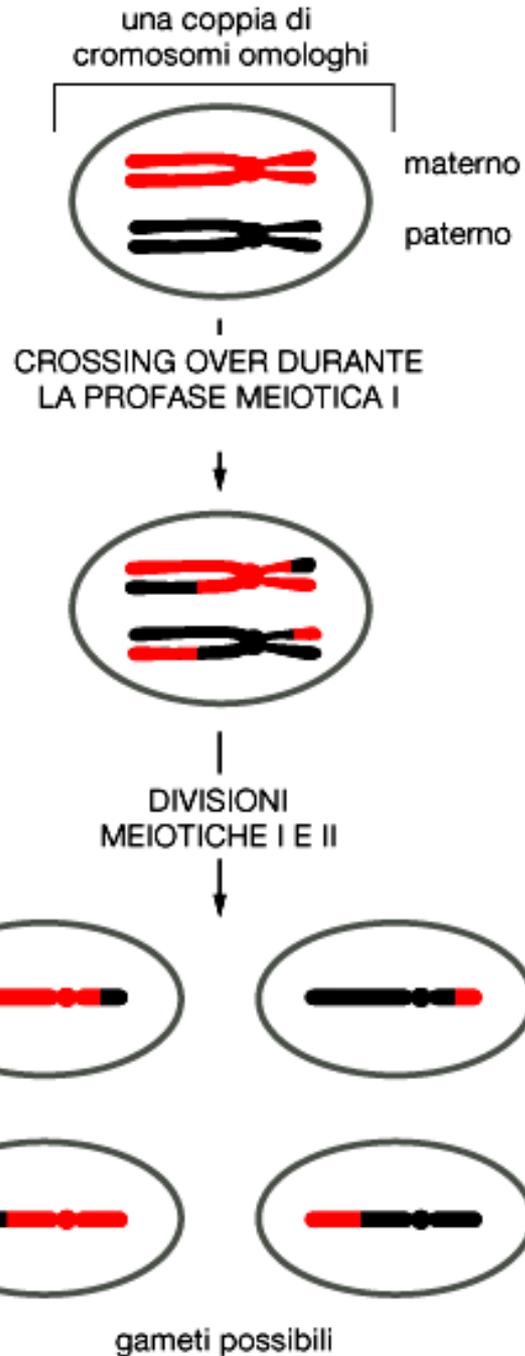
In meiosi I solo uno dei due centromeri di una coppia di cromatidi si lega al fuso

■ **Figura 7.36** Rappresentazione semplificata del posizionamento dei cromosomi in piastra metafaseica nella mitosi e nella meiosi I. In meiosi i chiasmi, mantenendo uniti i cromosomi omologhi, conducono al loro allineamento in piastra metafaseica; inoltre, solo un centromero, per ciascuna coppia di cromatidi fratelli, aggancia le fibre del cinetocore. Al contrario nella metafase mitotica non si verifica l'allineamento dei cromosomi omologhi ed entrambi i centromeri di ogni coppia di cromatidi fratelli ancorano le fibre del cinetocore.



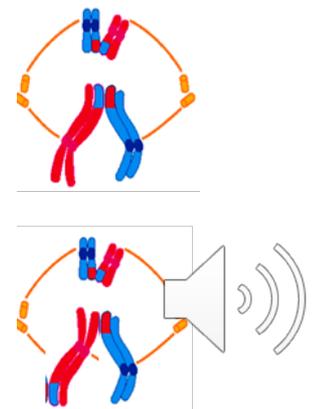


(A)



(B)

In base al 1° meccanismo di distribuzione casuale, un individuo può in linea di principio produrre 2^n gameti geneticamente diversi, dove n è il numero aploide di cromosomi. Ogni persona, per esempio, può in teoria produrre $2^{23} = 8,4 \times 10^6$ gameti diversi semplicemente per l'assortimento indipendente dei cromosomi. Tuttavia il numero effettivo di gameti che una persona può produrre è 10^{23} .



La variabilità di gameti che si originano per meiosi deriva da:

- **Scambio di materiale genetico tra cromatidi fratelli**
- **Orientamento casuale degli omologhi rispetto alla piastra nella prima meiosi.**

