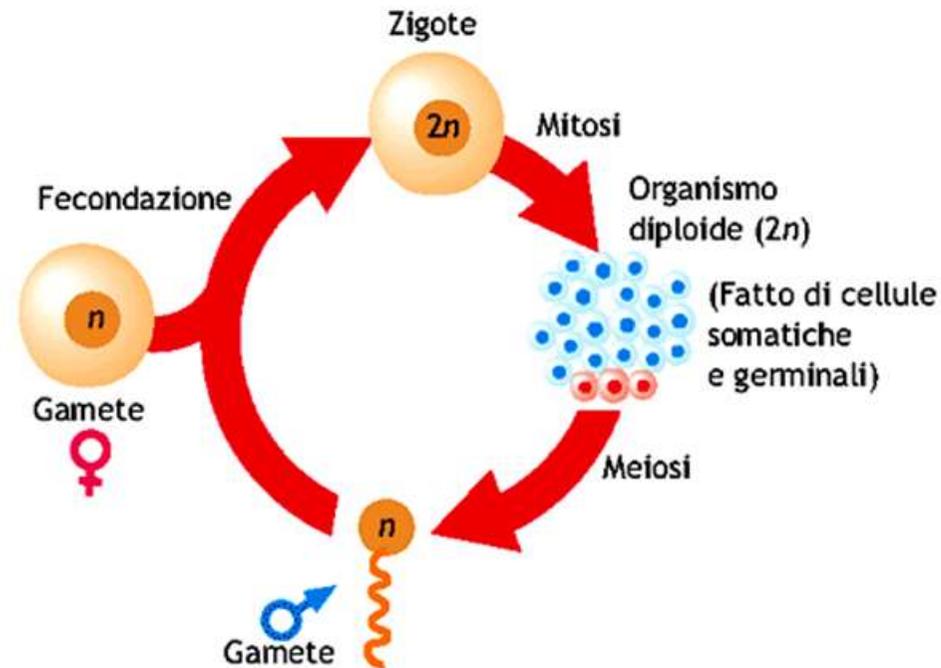


# Divisione cellula eucariotica: meiosi

La divisione della cellula eucariotica avviene **per meiosi** nella cellula **della linea germinale**, che daranno origine ai gameti destinati ad unirsi nel processo della fecondazione per dare origine ad un nuovo individuo

La meiosi dà origine quattro cellule figlie **aploidi** che derivano da una cellula diploide.



■ **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.

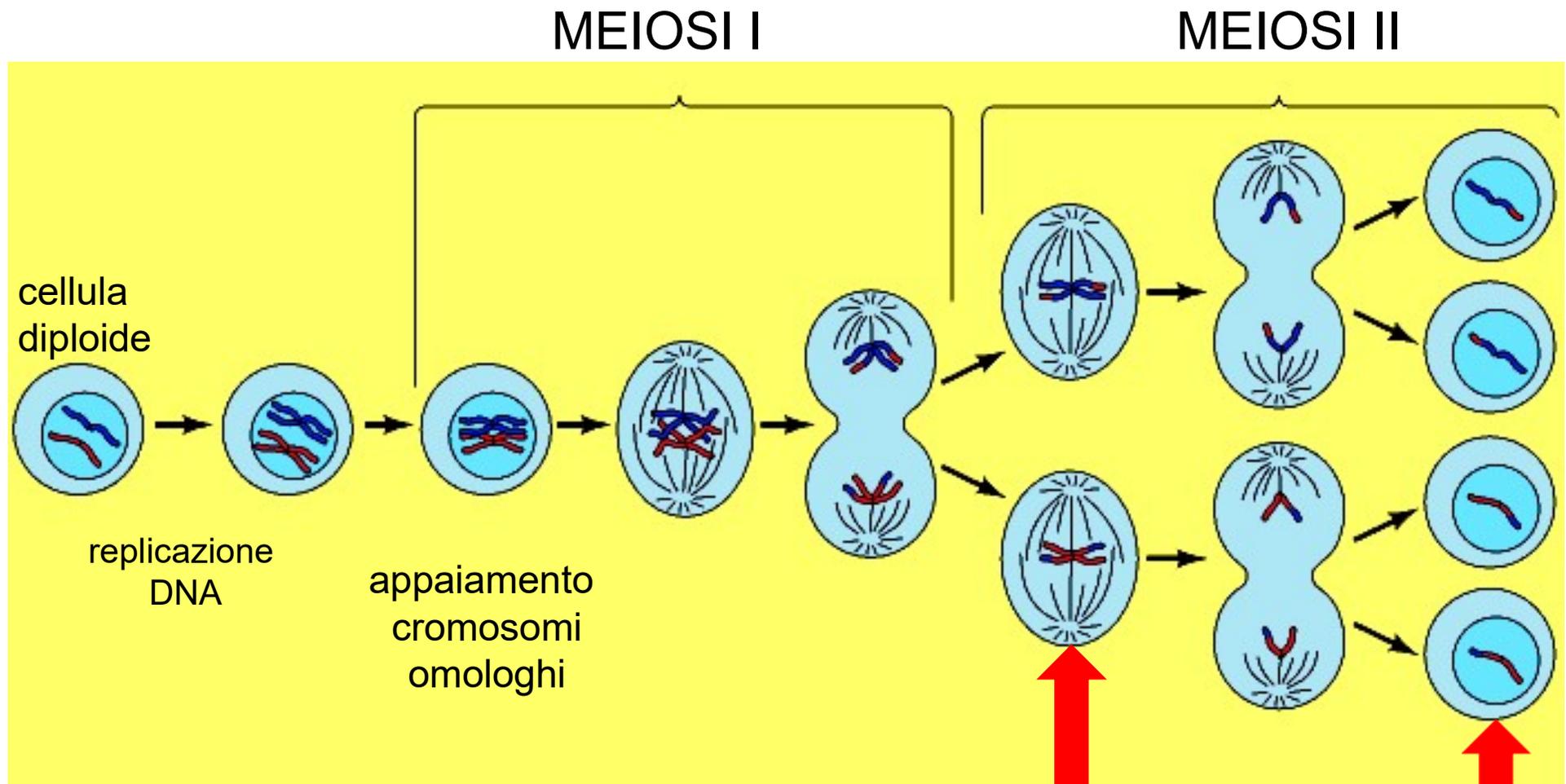
# Cromosomi omologhi e aploidia/ diploidia

- **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.
- Ogni individuo ha un numero fisso di cromosomi. Questo numero dipende dalla specie. Tutti gli esseri umani hanno **46 cromosomi in forma diploide (2n) e 23 in forma aploide (n)**.
- Nella fase S del ciclo cellulare avviene la duplicazione del DNA e ogni cromosoma è formato da due cromatidi.

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

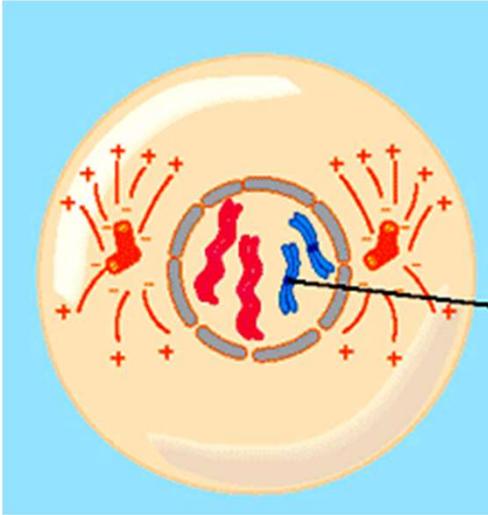


**Meiosi 1:**  
**2 cellule** con metà del  
numero di cromosomi  
(numero aploide) **ma**  
**stessa quantità di DNA**  
**della cellula madre**

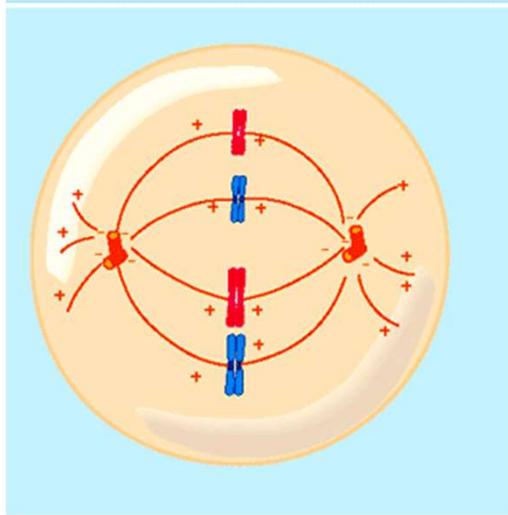
**Meiosi 2:**  
**4 cellule** con metà del  
numero di cromosomi  
(numero aploide)  
**e metà del DNA della cellula**  
**madre**

# Mitosi- SINTESI

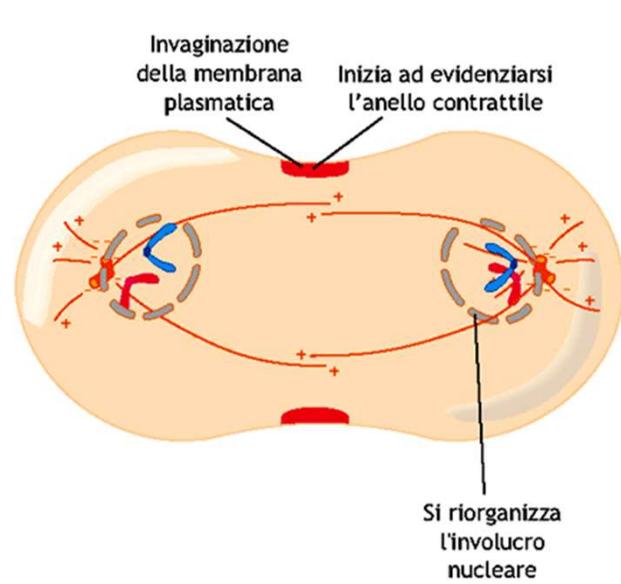
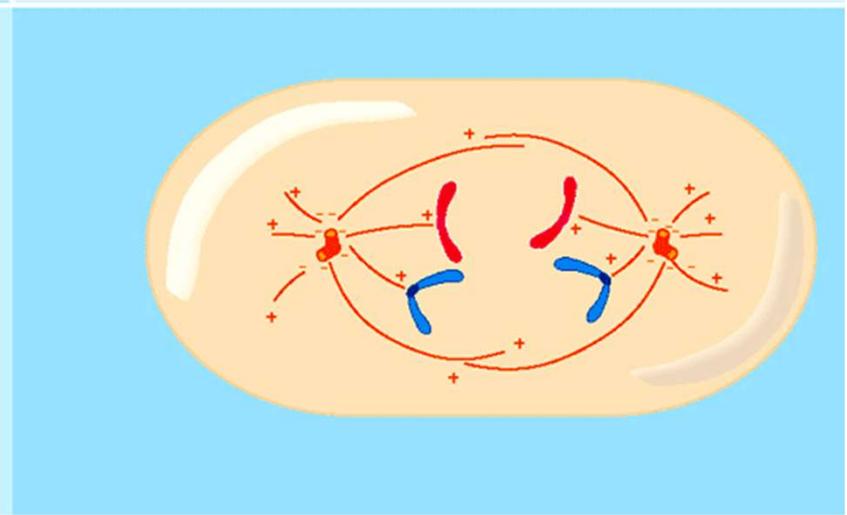
Profase



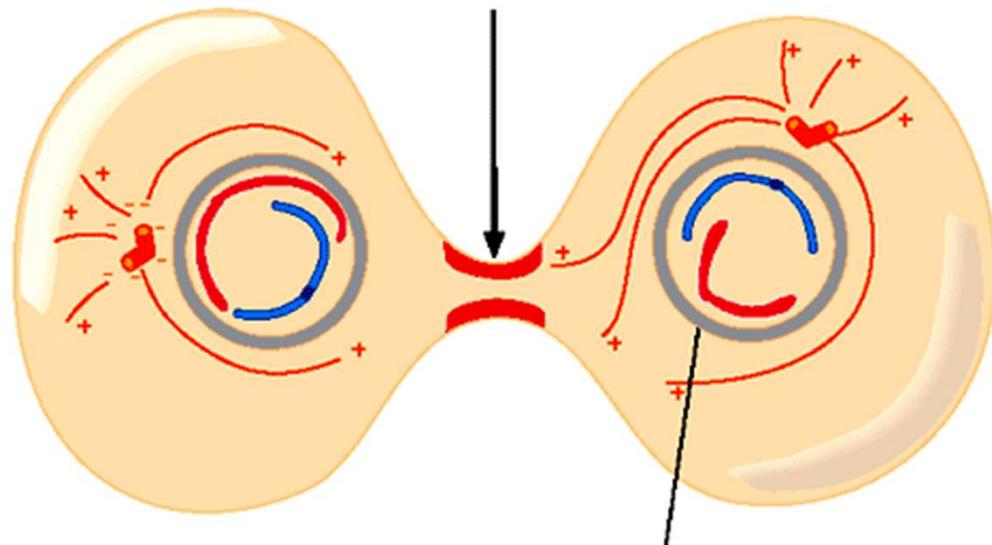
Metafase



Anafase



Telofase



Citodieresi

# Fasi della meiosi

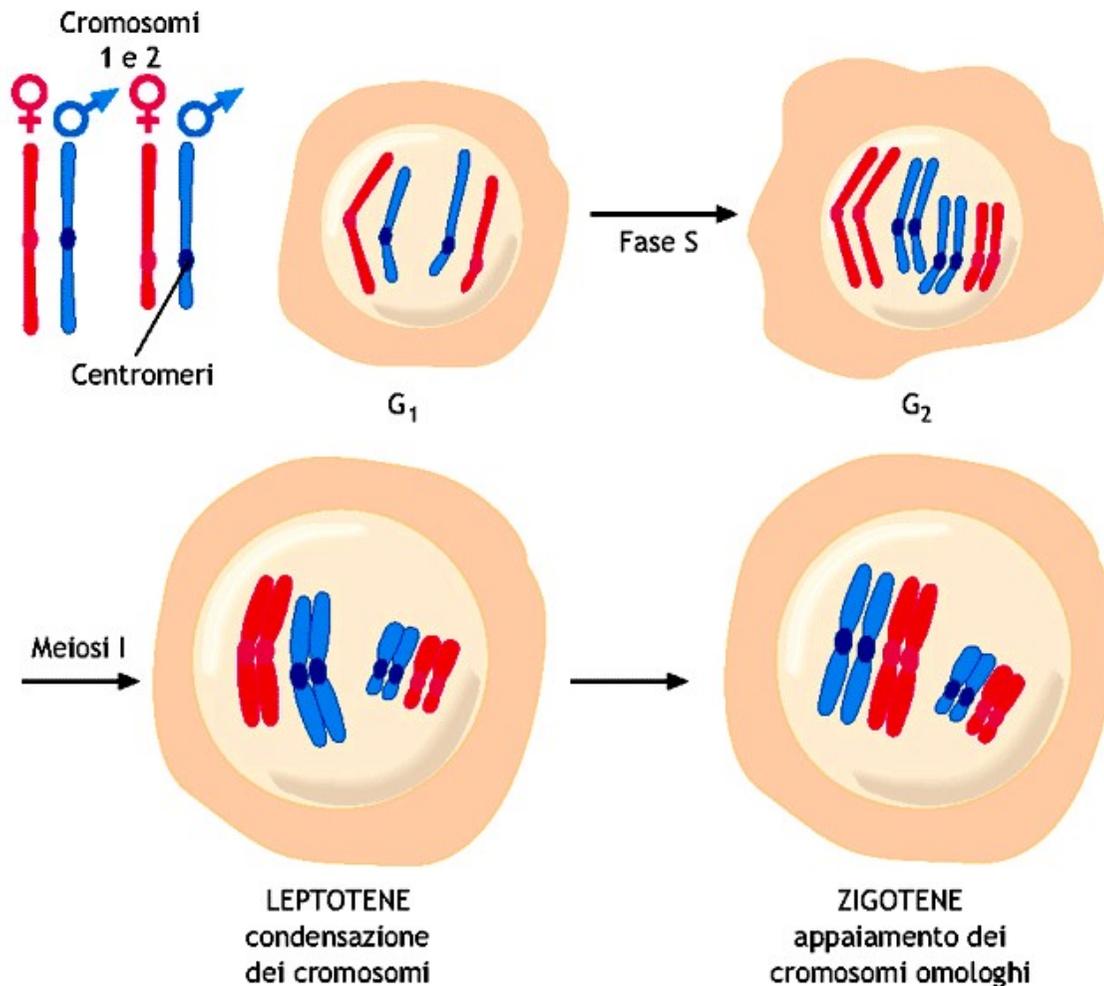
## Meiosi I

- Profase I
  - ✓ *Leptotene*
  - ✓ *Zigotene*
  - ✓ *Pachitene*
  - ✓ *Diplotene*
- Metafase I
- Anafase I
- Telofase I

## Meiosi II

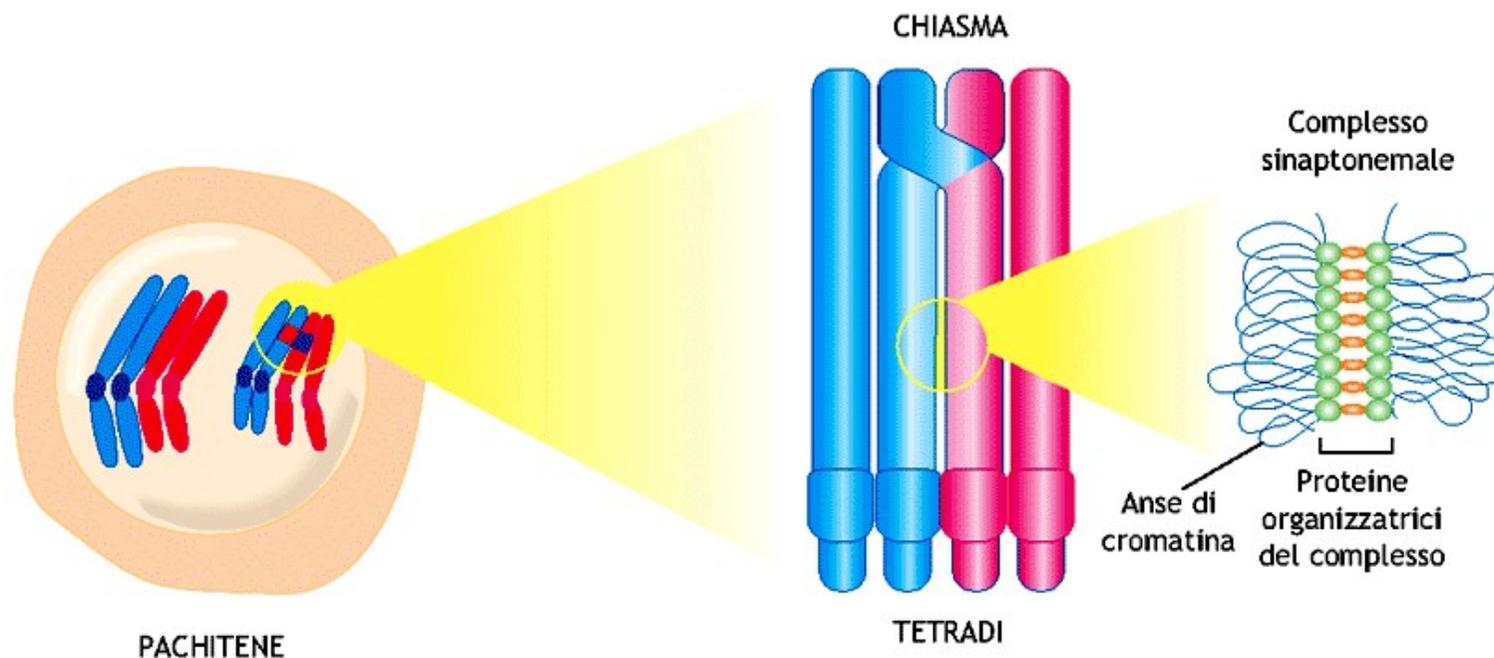
- Profase II
- Metafase II
- Anafase II
- Telofase II

**Profase I è la fase più lunga della meiosi e si suddivide in  
1) leptotene 2) zigotene**



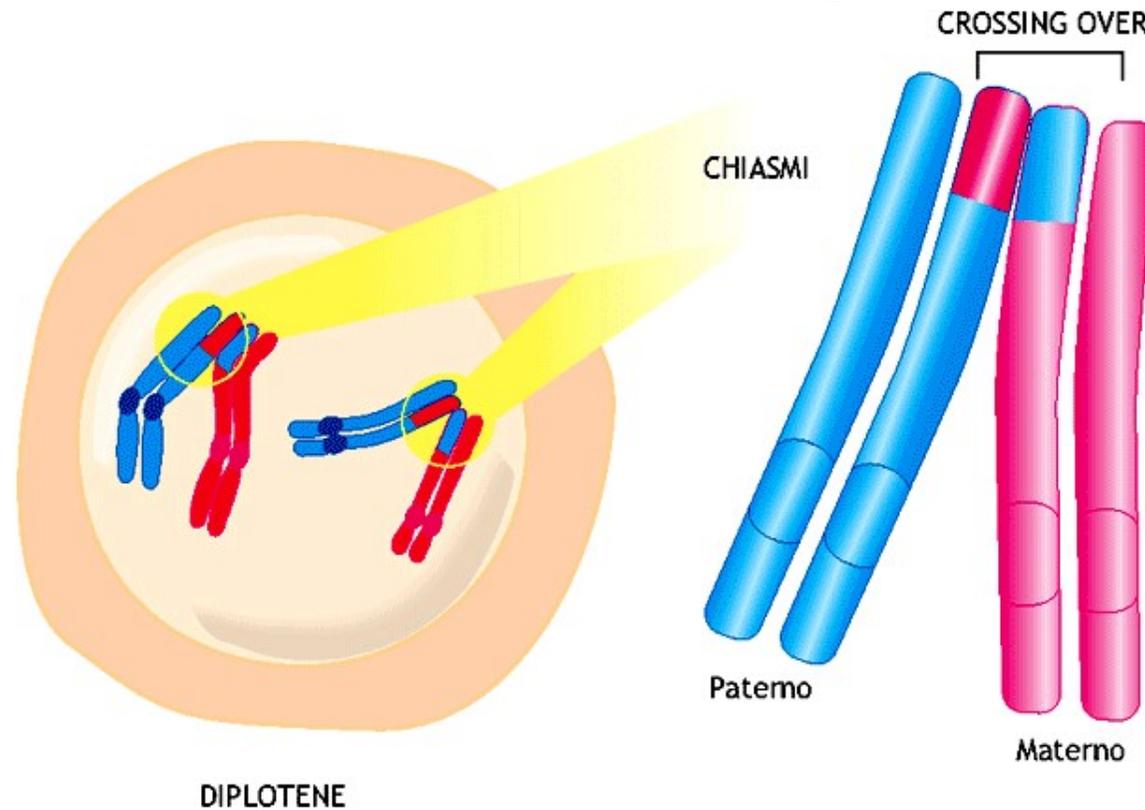
■ **Figura 7.33** Cambiamenti nel contenuto in DNA e nello stato di compattamento dei cromosomi nel corso del ciclo cellulare e della profase meiotica I. Le coppie paterna e materna di due diversi cromosomi (cromosoma 1 e 2) sono rappresentate con colori diversi.

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

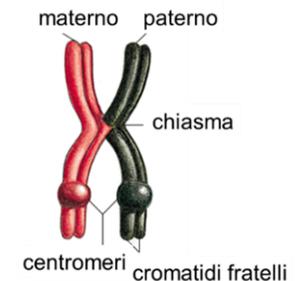


■ **Figura 7.34 La cellula nel pachitene.** Il primo ingrandimento permette di osservare una tetrate che sta formando un chiasma, punti dove avvengono gli scambi del materiale genetico. Il secondo ingrandimento rappresenta il complesso sinaptonemale.

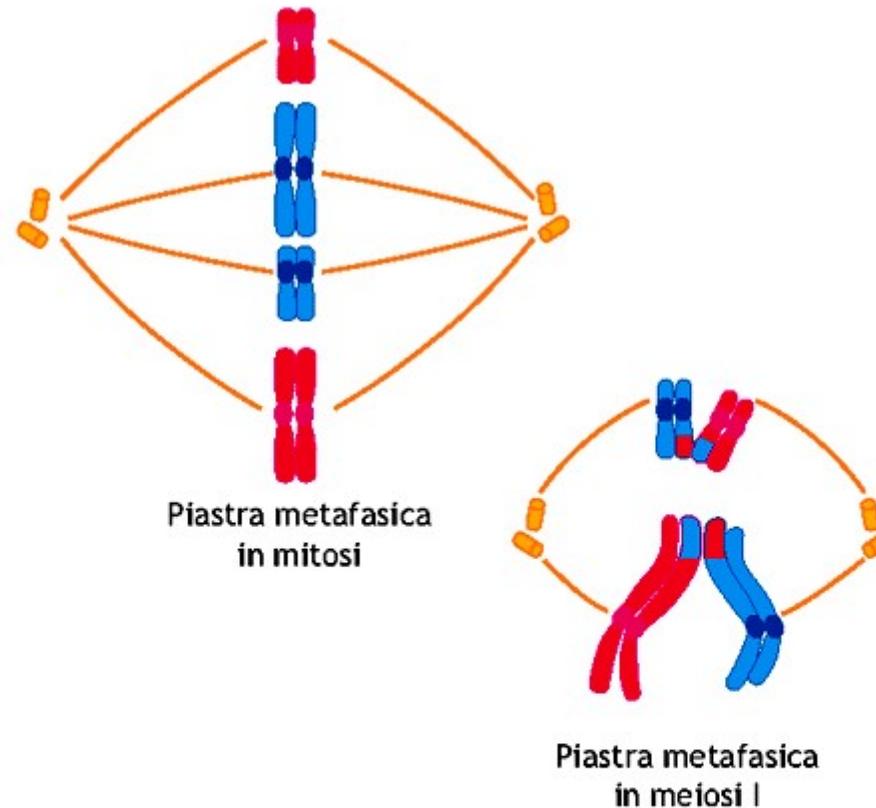
**Profase: 4) diplotene, i cromosomi sono a contatto solo a livello dei chiasmi dove è avvenuto il crossing over**



**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.



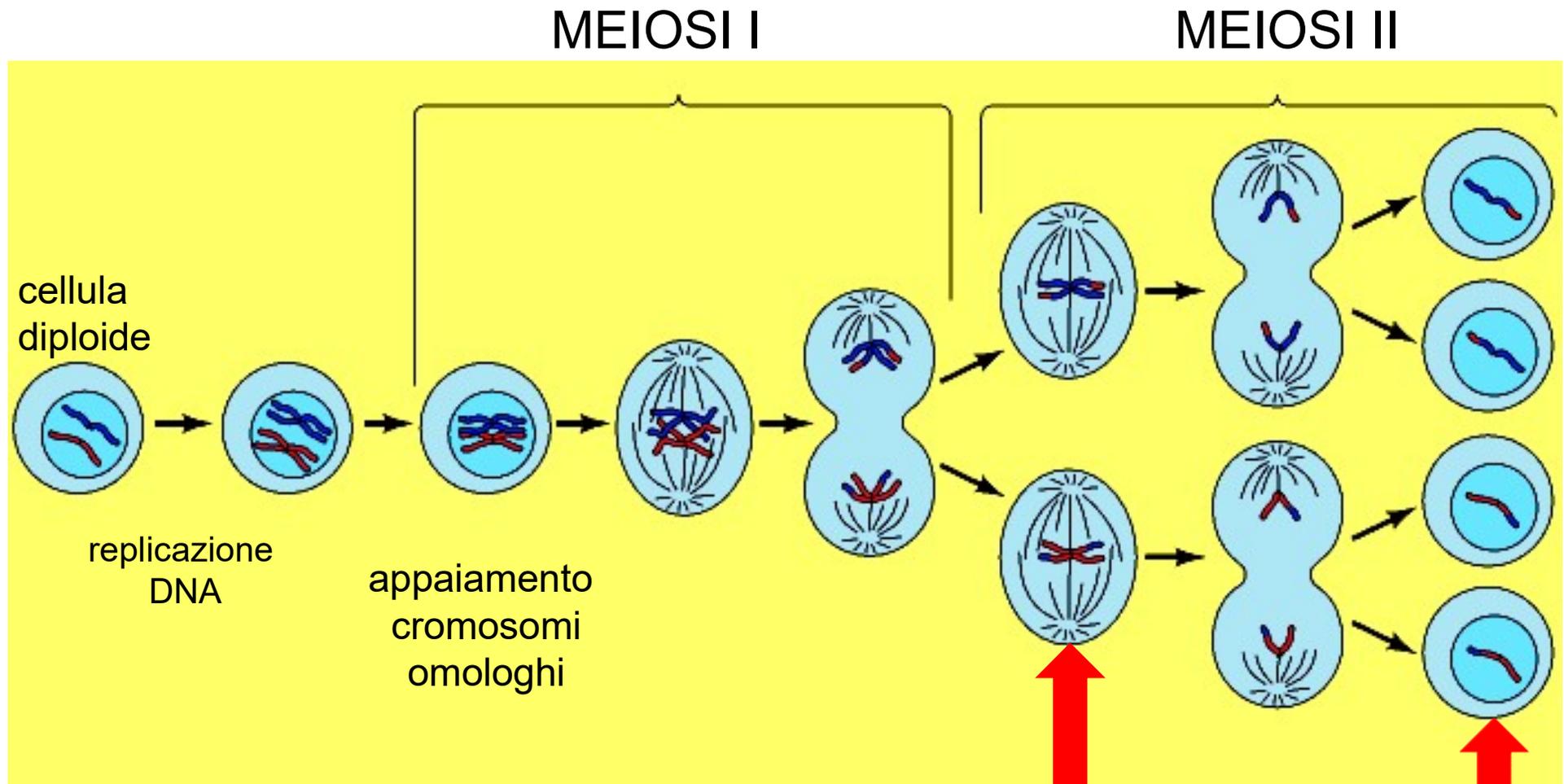
## Metafase I



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 metafasica nella mitosi e nella meiosi I. In meiosi i chiasmi, mantenendo uniti i cromosomi omologhi, conducono al loro allineamento in piastra metafasica; 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.

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



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

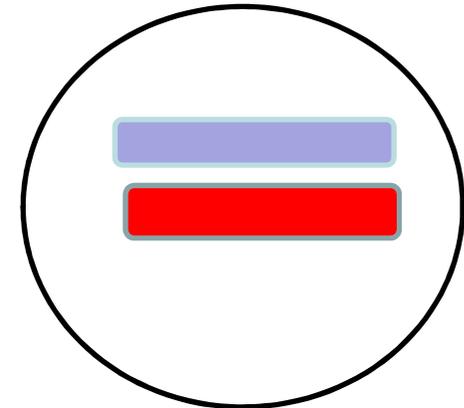
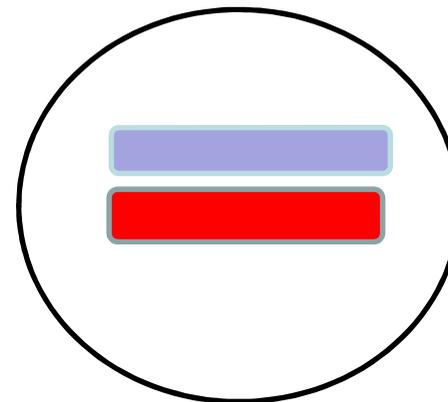
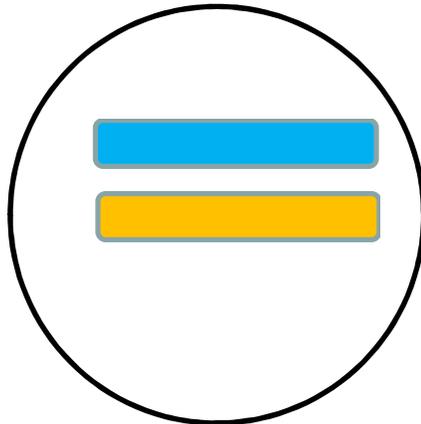
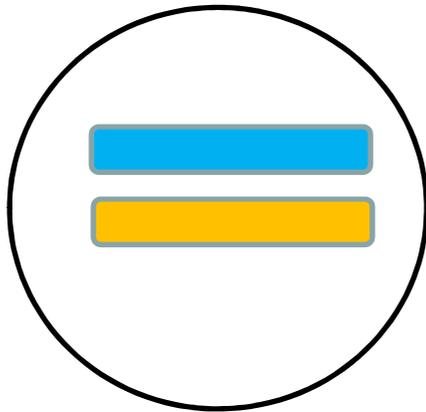
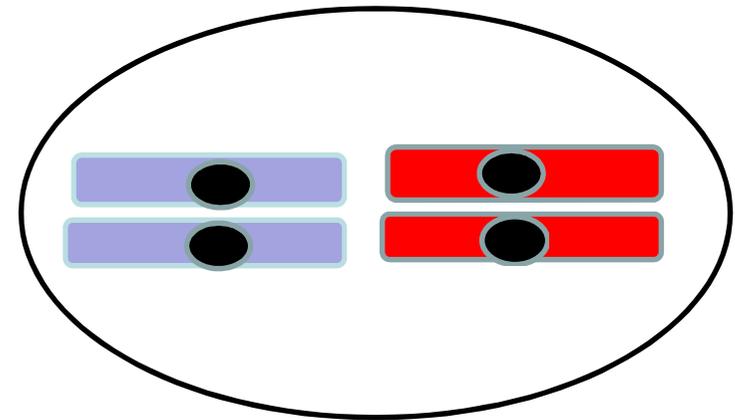
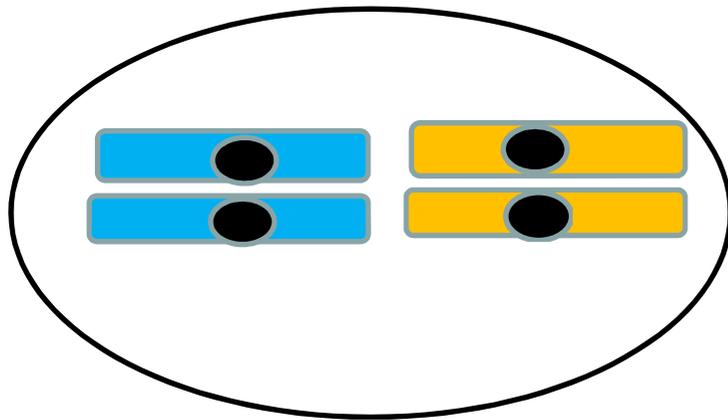
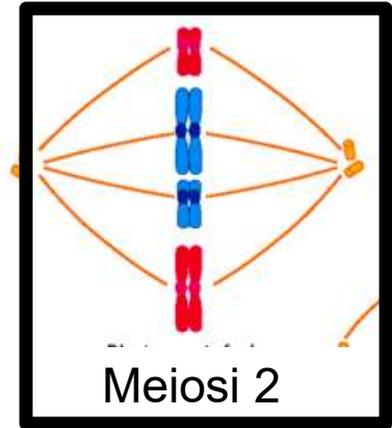
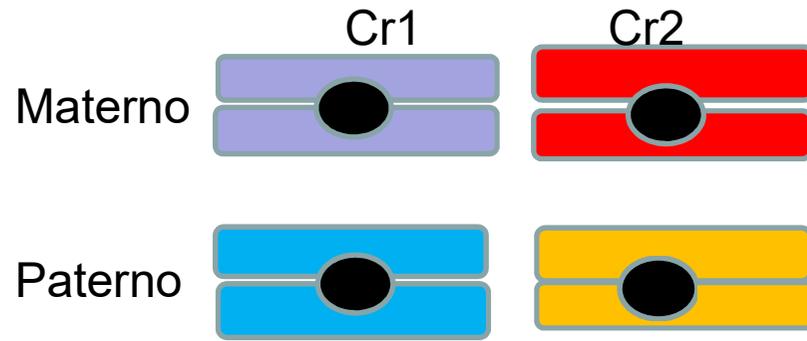
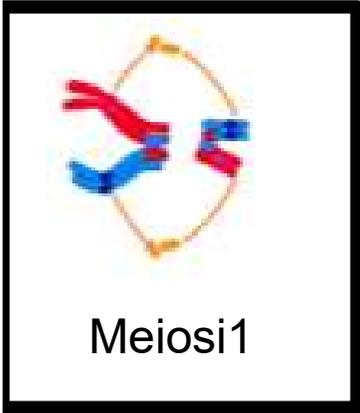
**Meiosi 2:**  
**4 cellule** con metà del  
numero di cromosomi  
(numero aploide)  
**e metà del DNA della cellula**  
**madre**

- La seconda divisione meiotica (Meiosi II) è simile alla mitosi
- Una volta terminata la Meiosi I, dopo la citodieresi, le cellule organizzano transitoriamente l'involucro nucleare e incominciano a formare il fuso mitotico
- Tutti i centromeri entrano in rapporto con le fibre del fuso
- La coesina – che tiene uniti i cromatidi- viene degradata nell'Anafase II
- Si prosegue poi con Telofase II e Citodieresi.

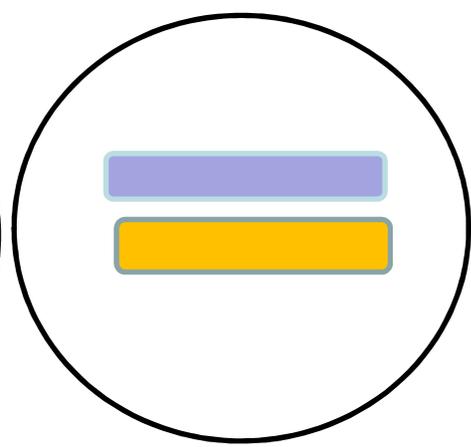
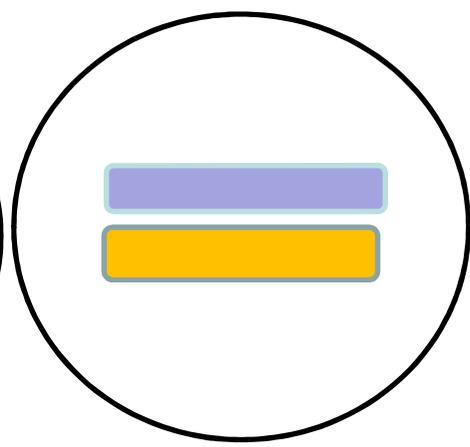
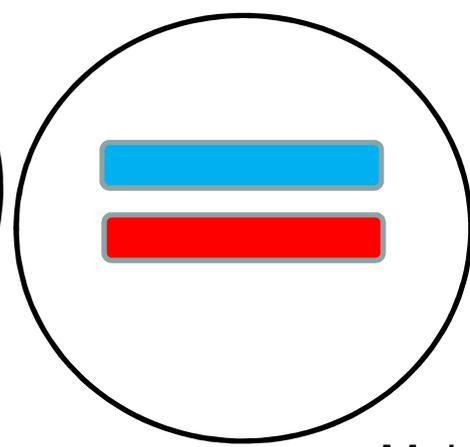
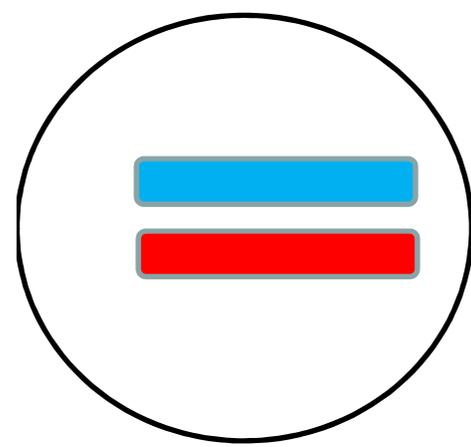
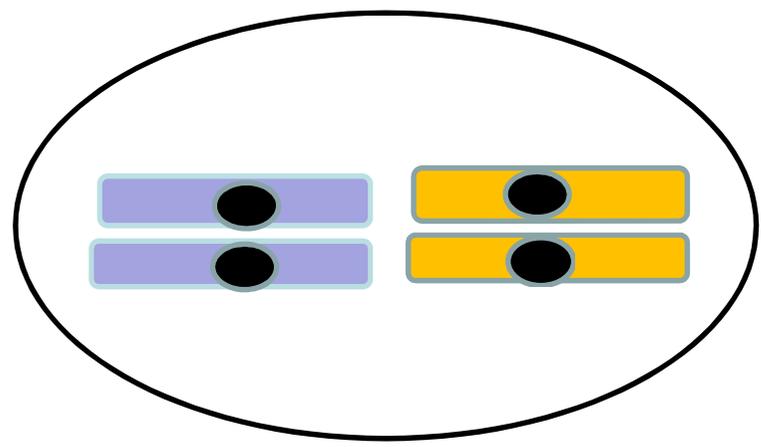
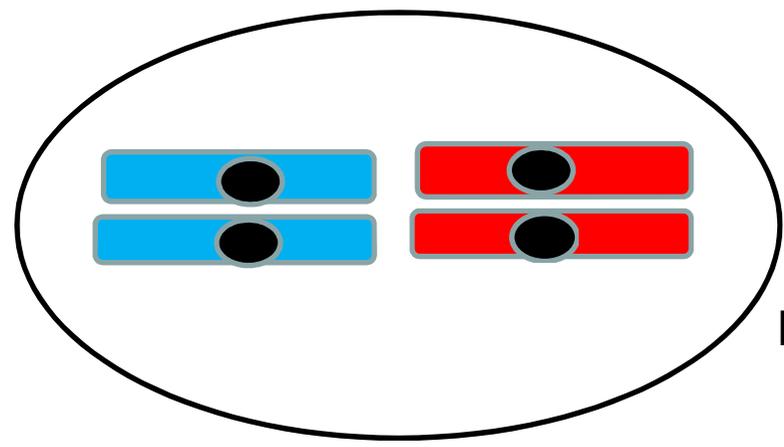
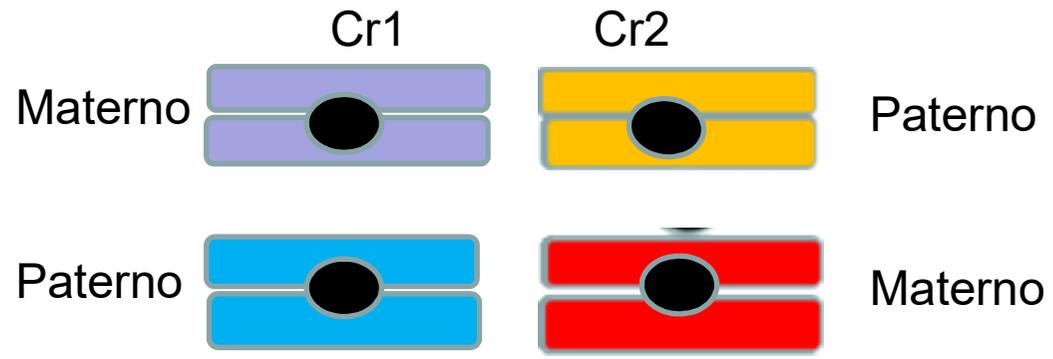
# La variabilità di gameti che si originano per meiosi deriva da:

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

Il “mescolamento” del materiale genetico aumentare la variabilità dei caratteri aumentando la probabilità di sopravvivenza della specie in un determinato ambiente

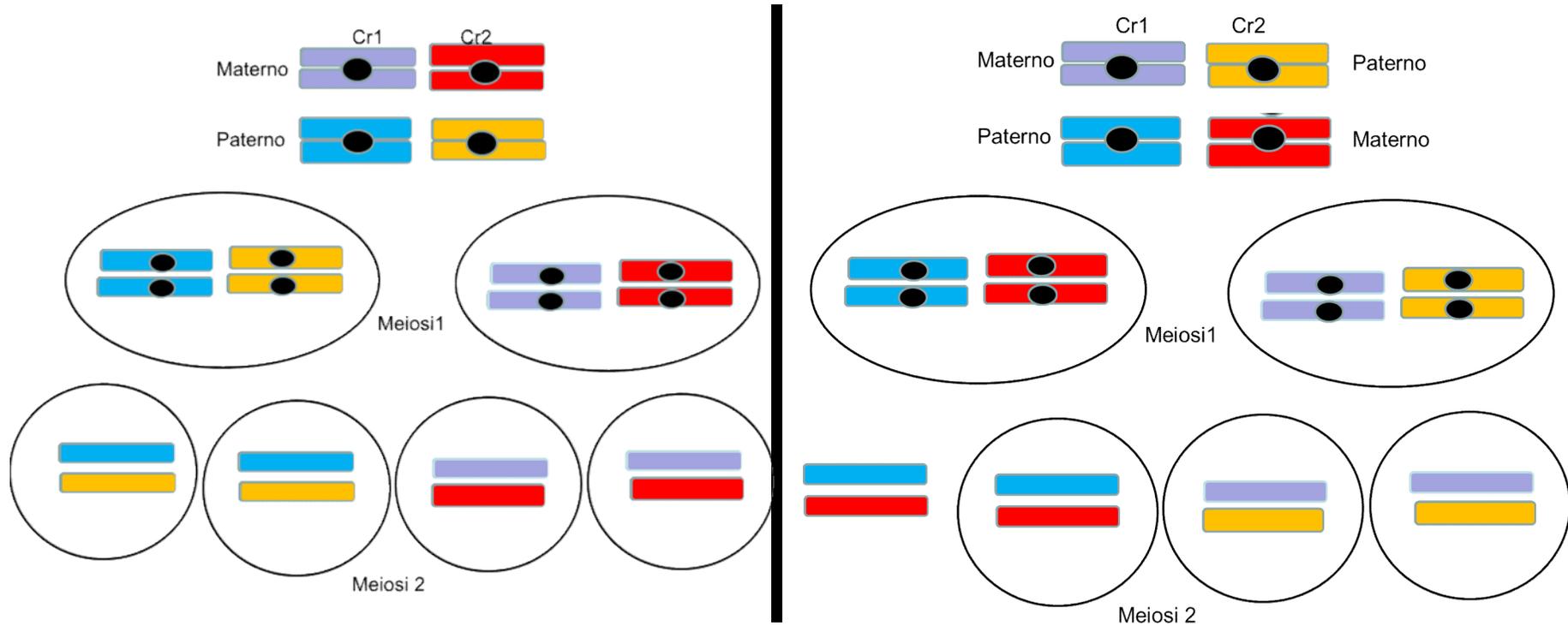


Meiosi 2



Meiosi 2

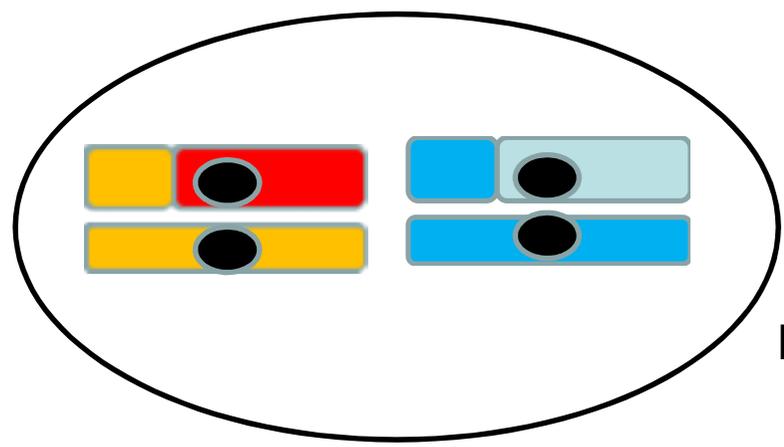
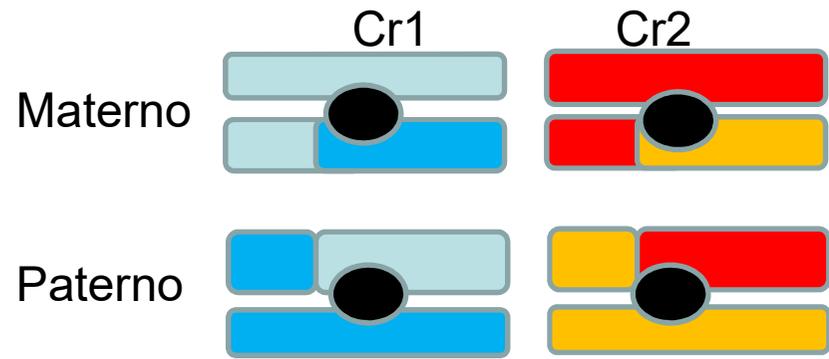
## ASSORTIMENTO INDIPENDENTE DEI CROMOSOMI



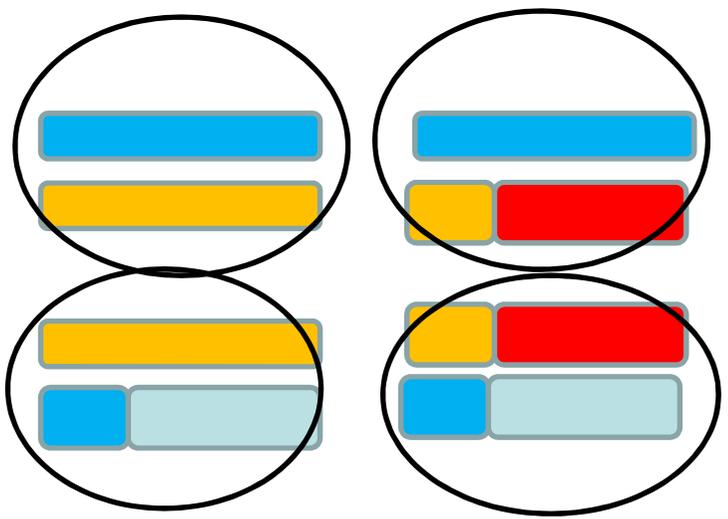
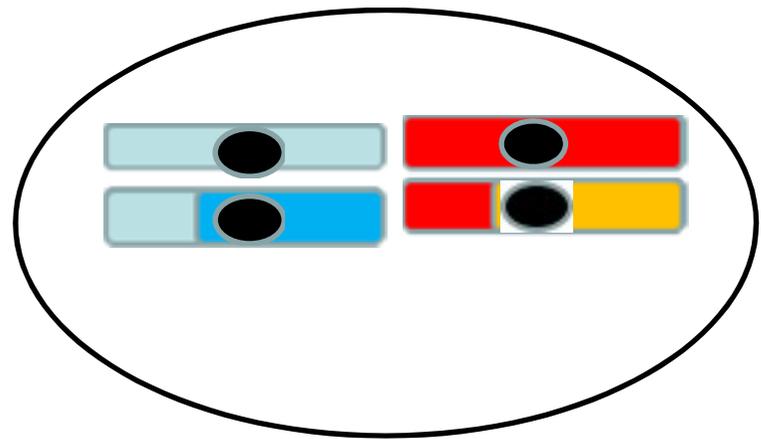
Numero di gameti per  $2^2 = 4$

Numero di gameti basato sul numero di cromosomi umani  $2^{23} = 8.388.608$

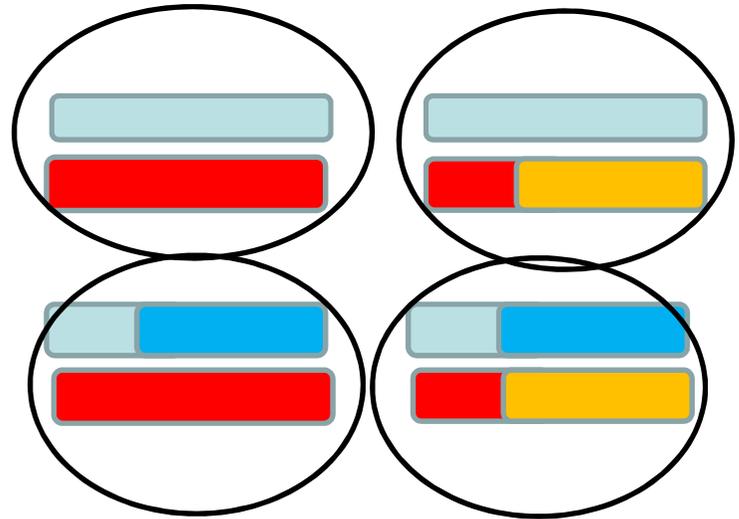
**E IL CROSSING OVER????**

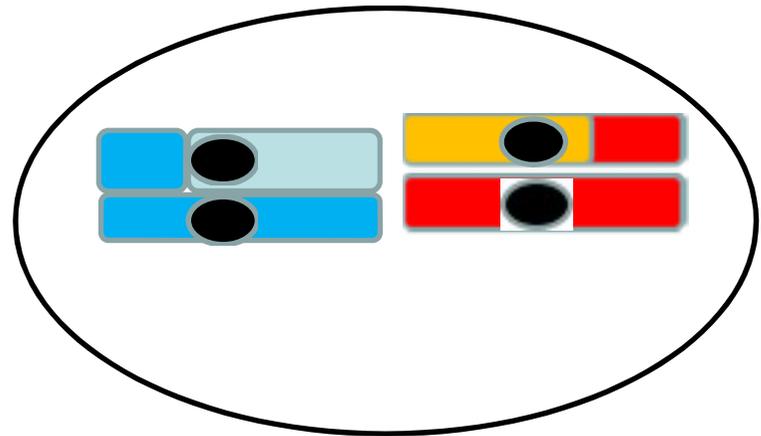
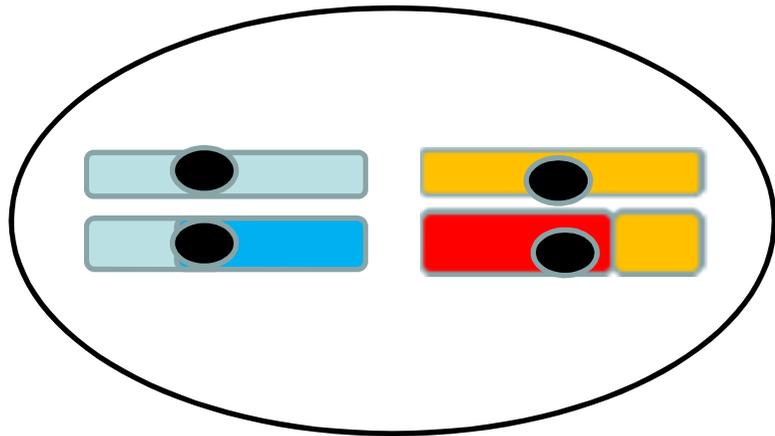
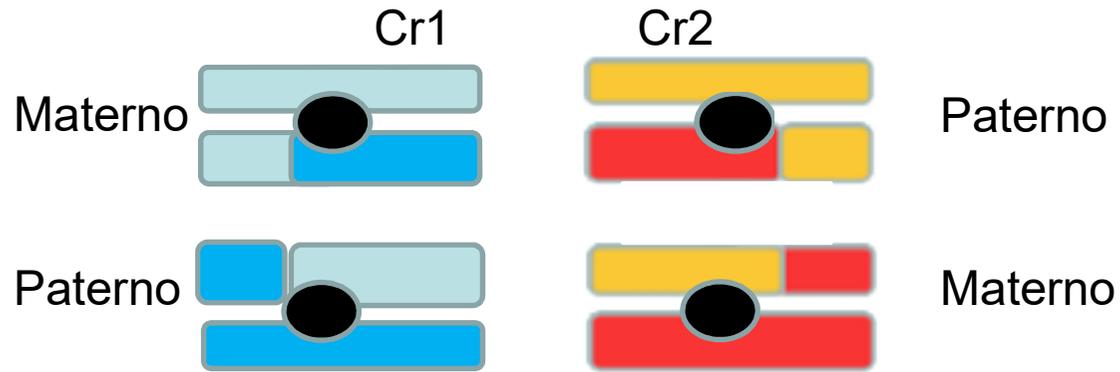


Meiosi1

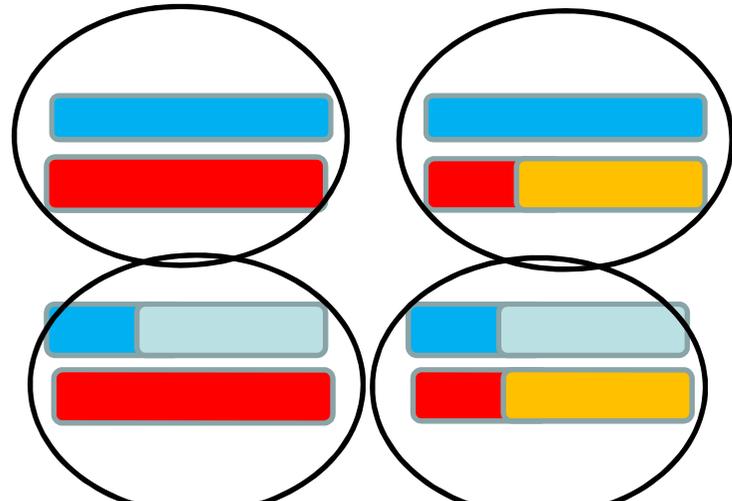
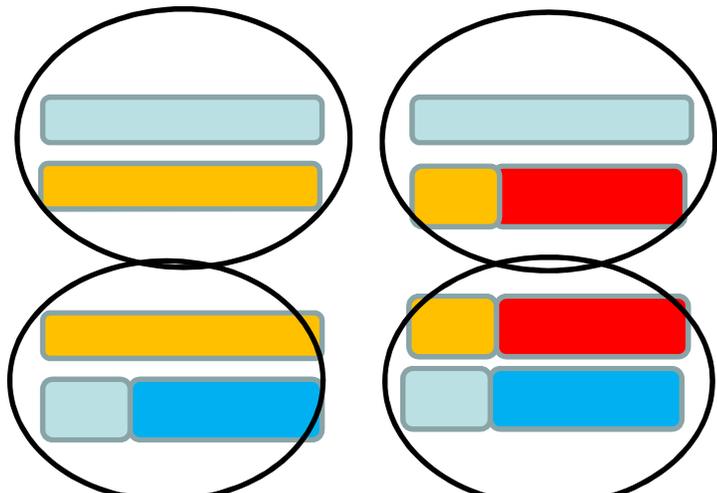


Meiosi 2

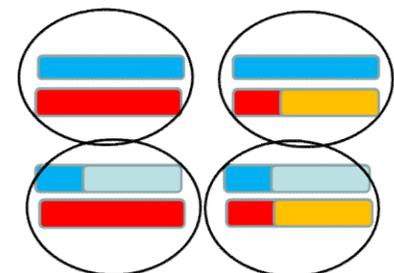
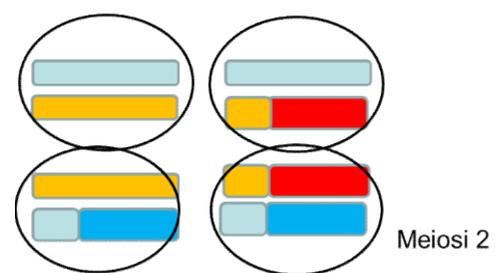
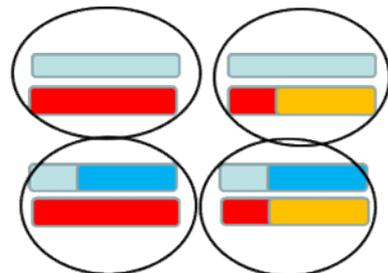
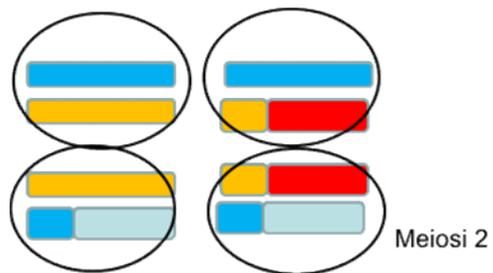
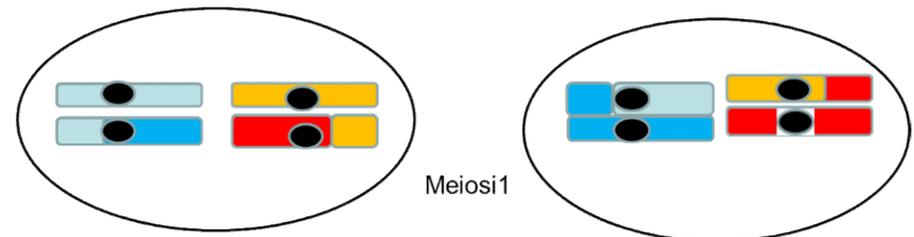
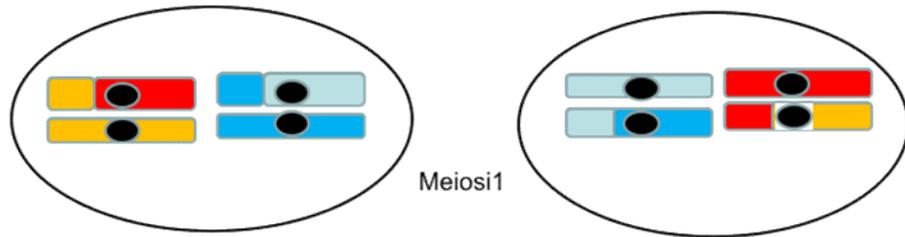
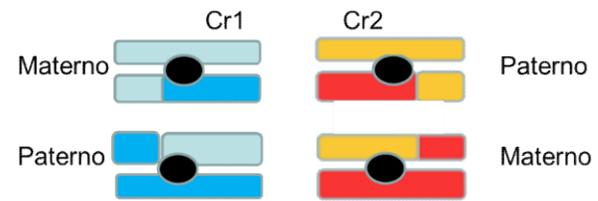
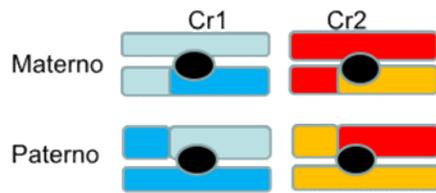




Meiosi1



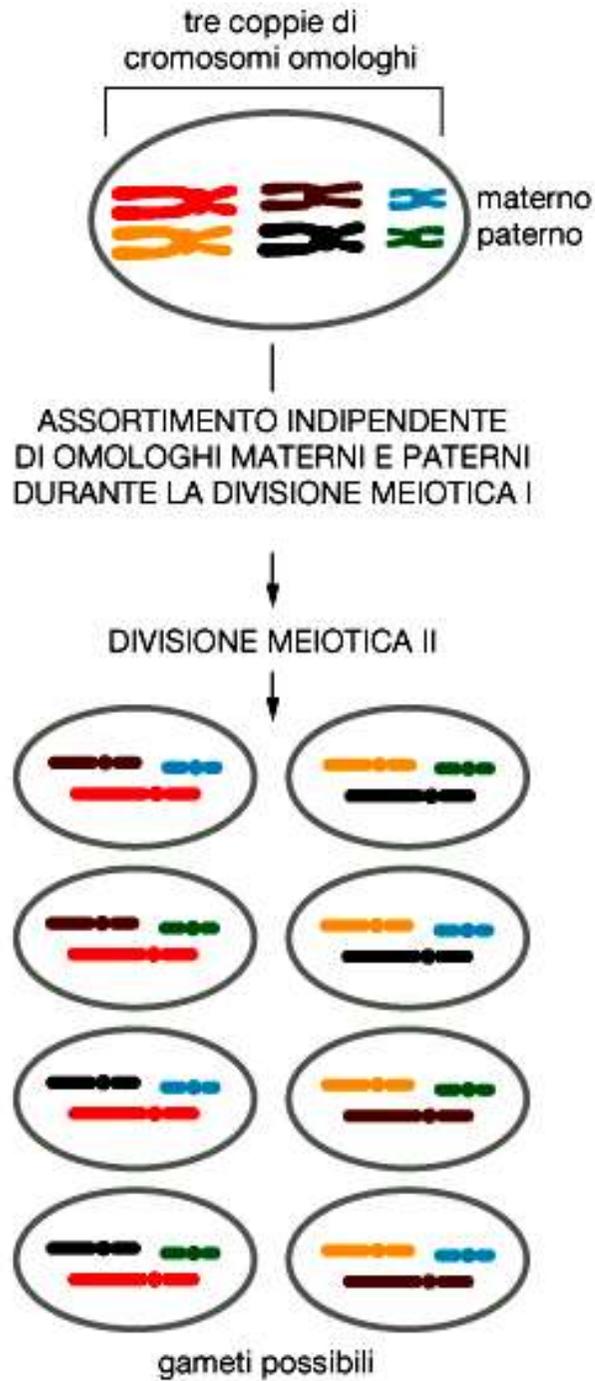
Meiosi 2



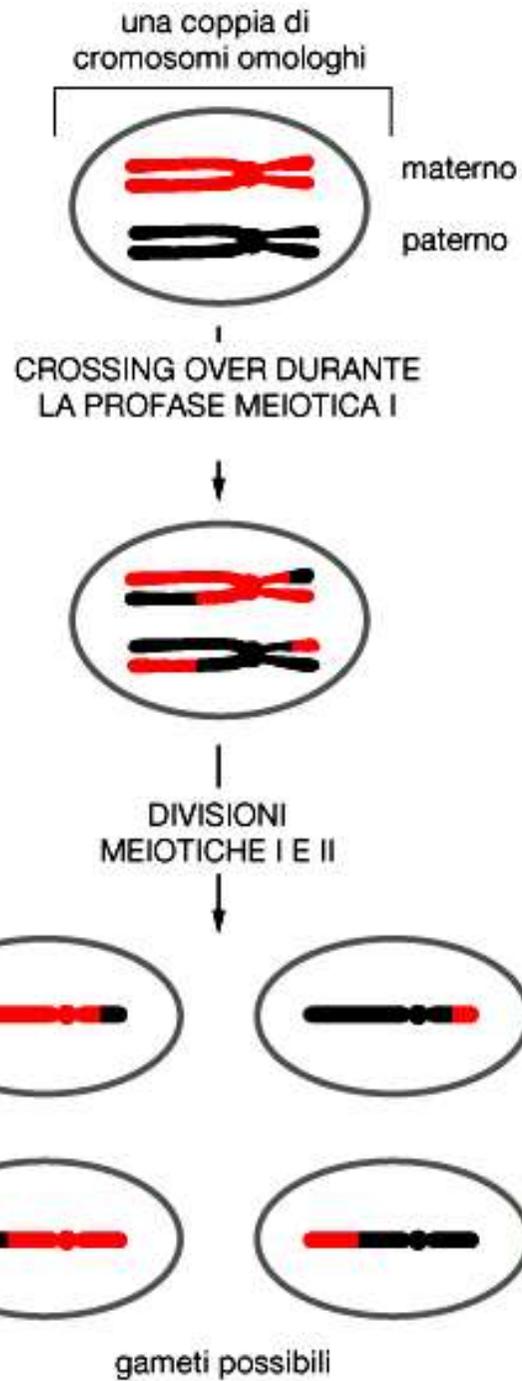
COSA VUOL DIRE  $2^{23} = 8.388.608$  ?

VUOL DIRE CHE

- Si possono produrre 8.388.608 spermatozoi diversi ed altrettanti ovuli diversi
- Nella fecondazione uno qualsiasi degli 8.388.608 spermatozoi diversi potrà fecondare uno qualsiasi degli 8.388.608 ovuli diversi
- Le probabilità di avere bambini diversi (**non considerando l'effetto del crossing over**) sono  $2^{23} \times 2^{23} = 8.388.608 \times 8.388.608 = 70.368.744.177.664$
- Il caso ha scelto di far nascere proprio voi, preferendovi ai 70.368.744.177.663 vostri possibili fratelli

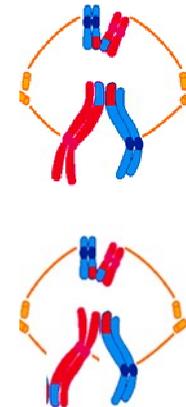


(A)

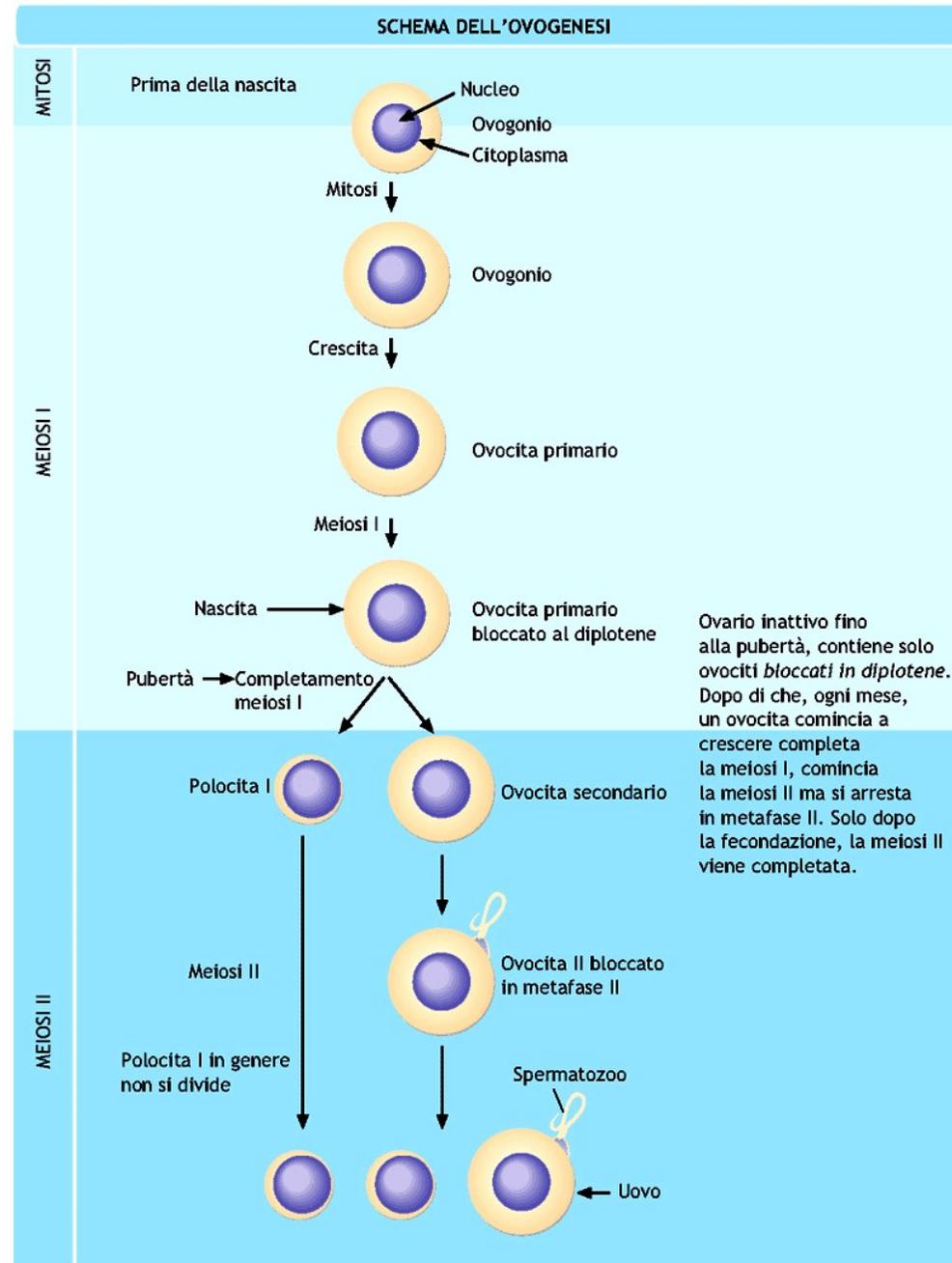


(B)

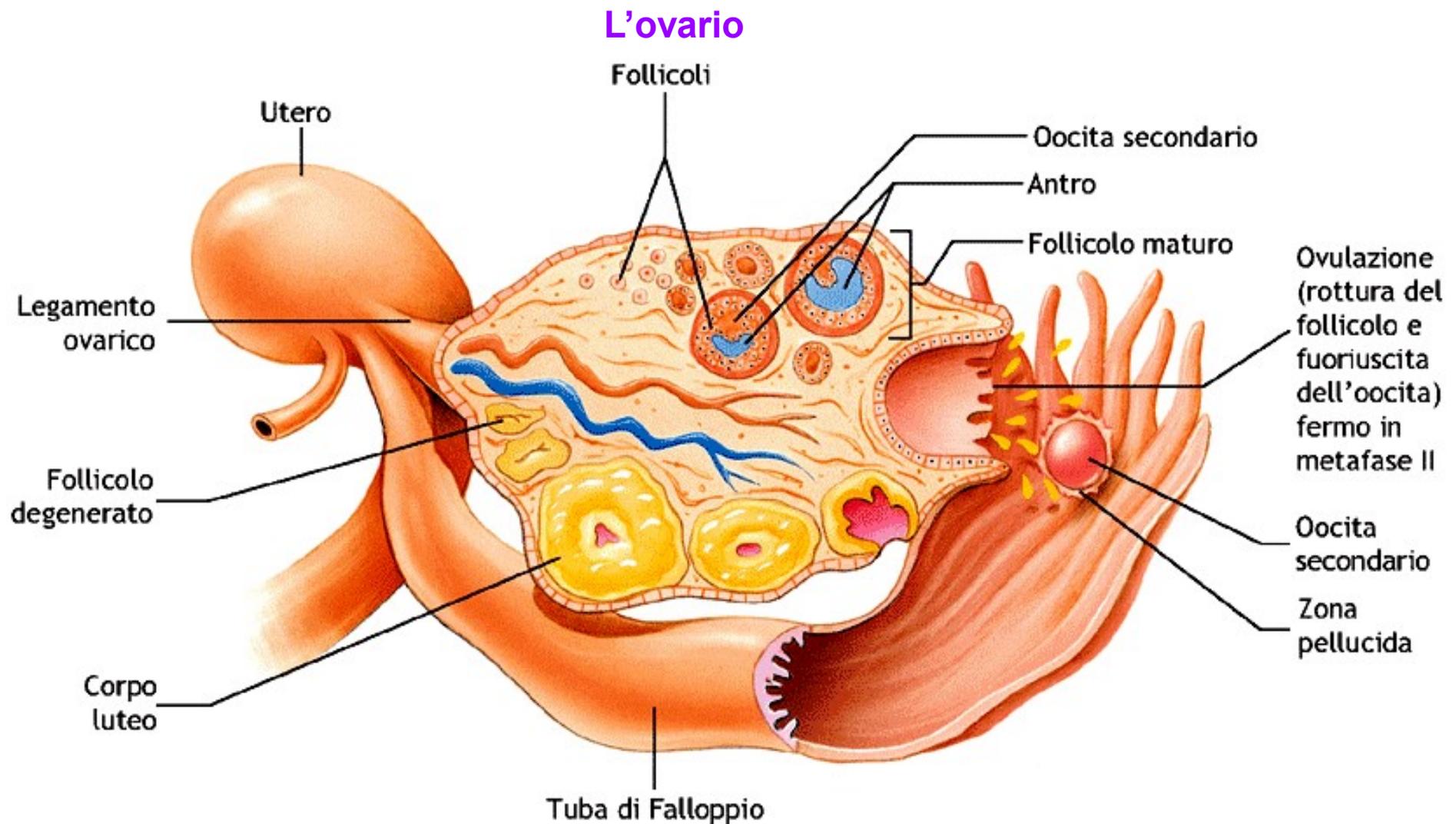
In base al 1° meccanismo di distribuzione casuale, un individuo può in linea di principio produrre  $2^n$  gameti geneticamente diversi, dove  $n$  è il numero aploide di cromosomi. Ogni persona, per esempio, può in teoria produrre  $2^{23} = 8,4 \times 10^6$  gameti diversi semplicemente per l'assortimento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



# Oogenesi



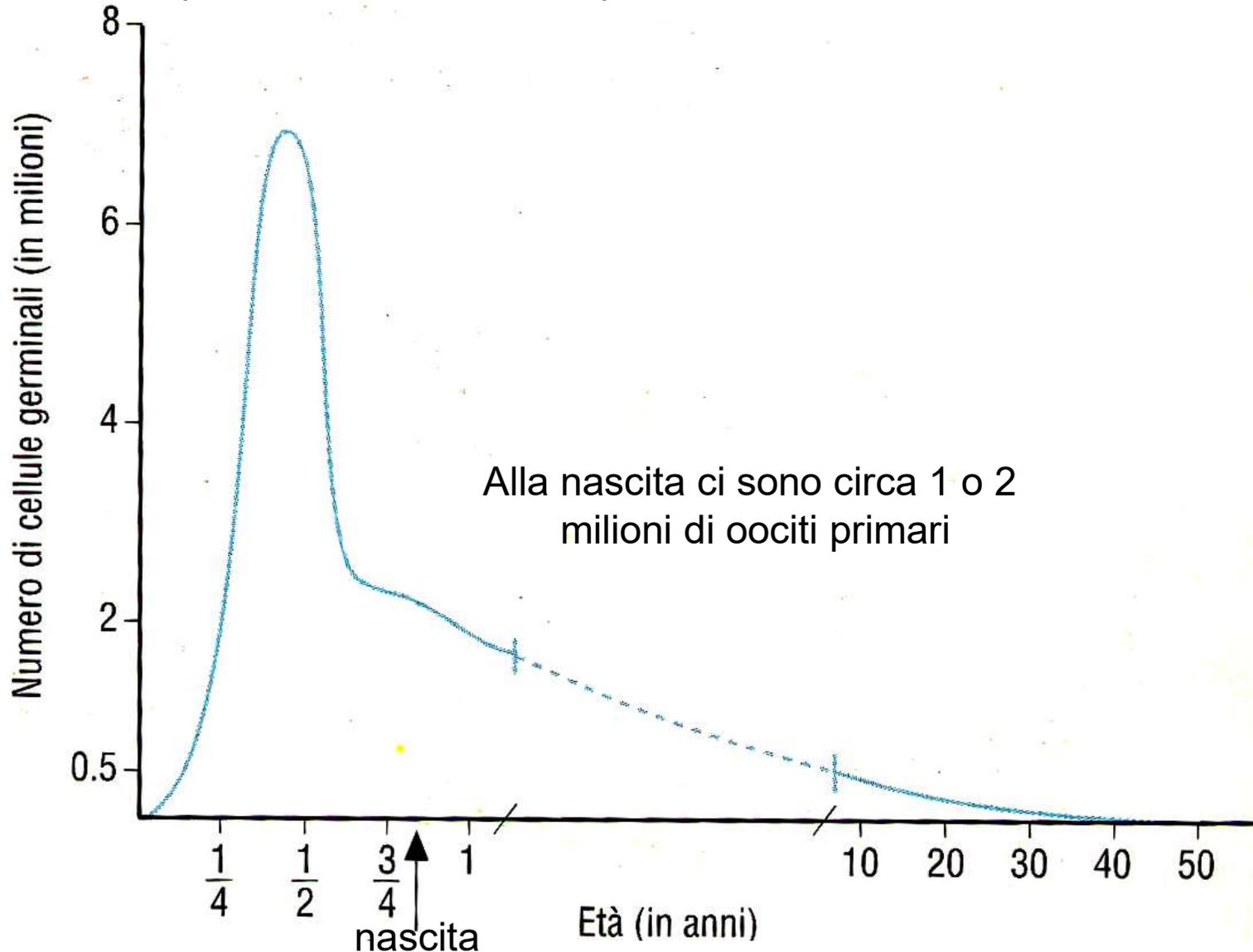
■ **Figura 8.16** Schema della progressione dell'ovogenesi. Vedi il testo per la spiegazione.



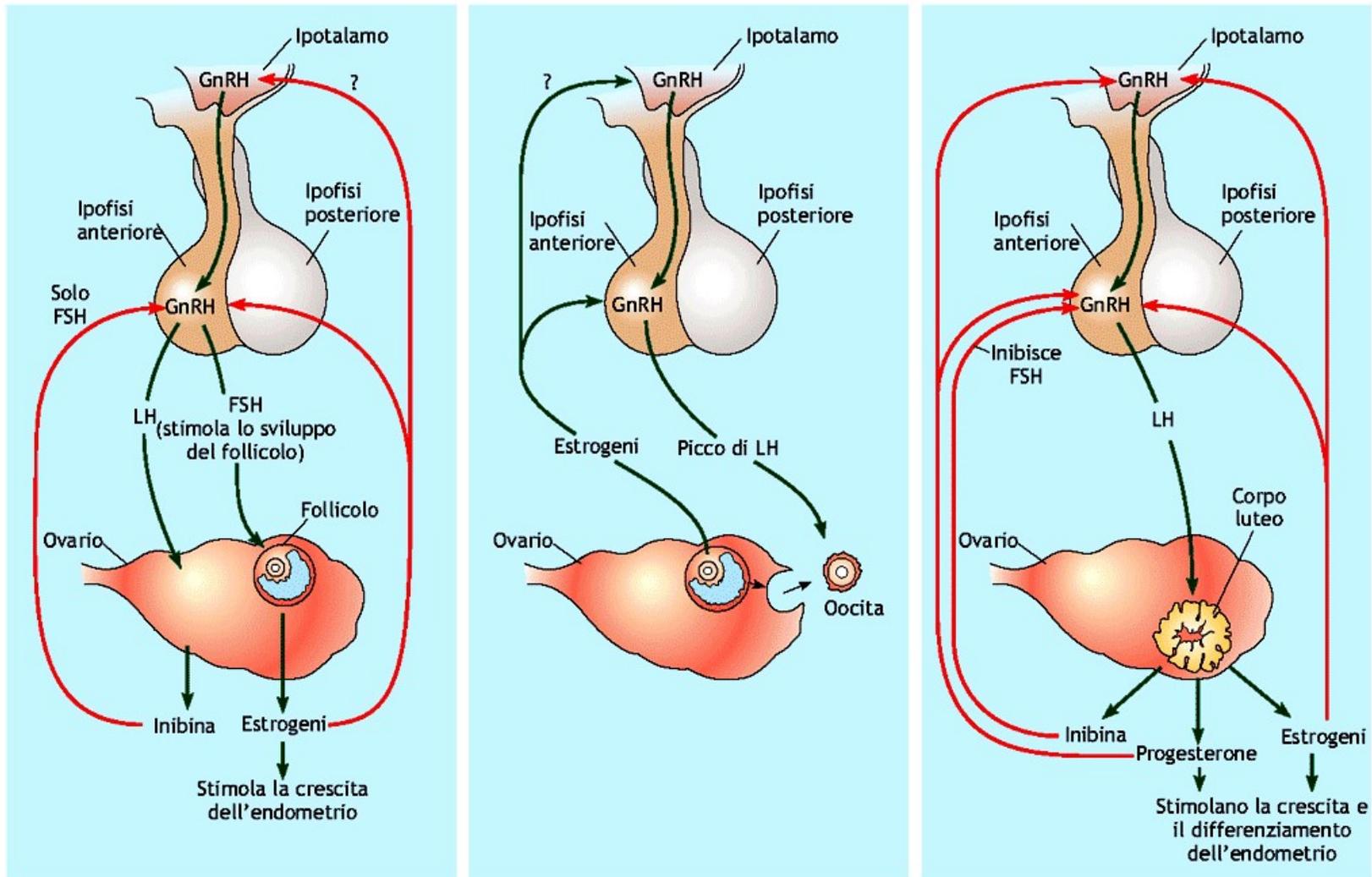
■ **Figura 8.15** **Follicoli a vari stadi di sviluppo all'interno dell'ovario.** Il disegno rappresenta tutti gli stadi successivi della maturazione del follicolo ovarico fino al suo scoppio con la liberazione dell'ovocita. Tale situazione non corrisponde alla realtà perché non tutti gli stadi sono presenti contemporaneamente.

## Oogenesi

Il numero delle cellule germinali durante la vita della donna. La proliferazione mitotica inizia a 25-30 giorni di sviluppo e il numero delle cellule germinali raggiunge un massimo a circa 5 mesi (6-7 milioni). Dal 5° mese in poi le divisioni mitotiche cessano e tutte le cellule entrano in meiosi I° e si bloccano allo stadio di profase fino all'arrivo della pubertà.



# Oogenesi



a) Fase preovulatoria

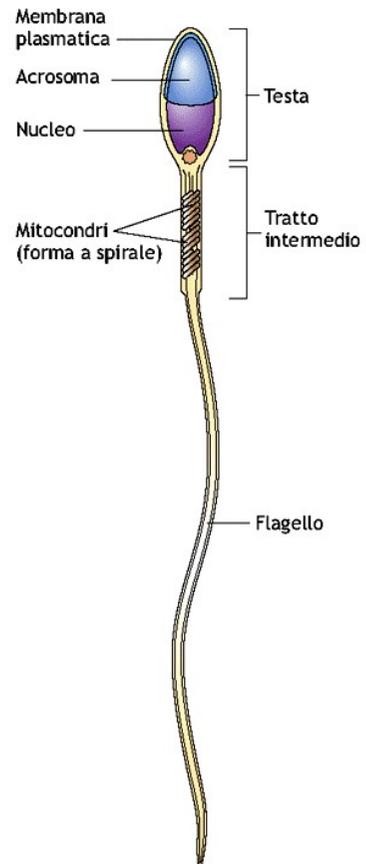
b) Fase preovulatoria tardiva

c) Fase postovulatoria

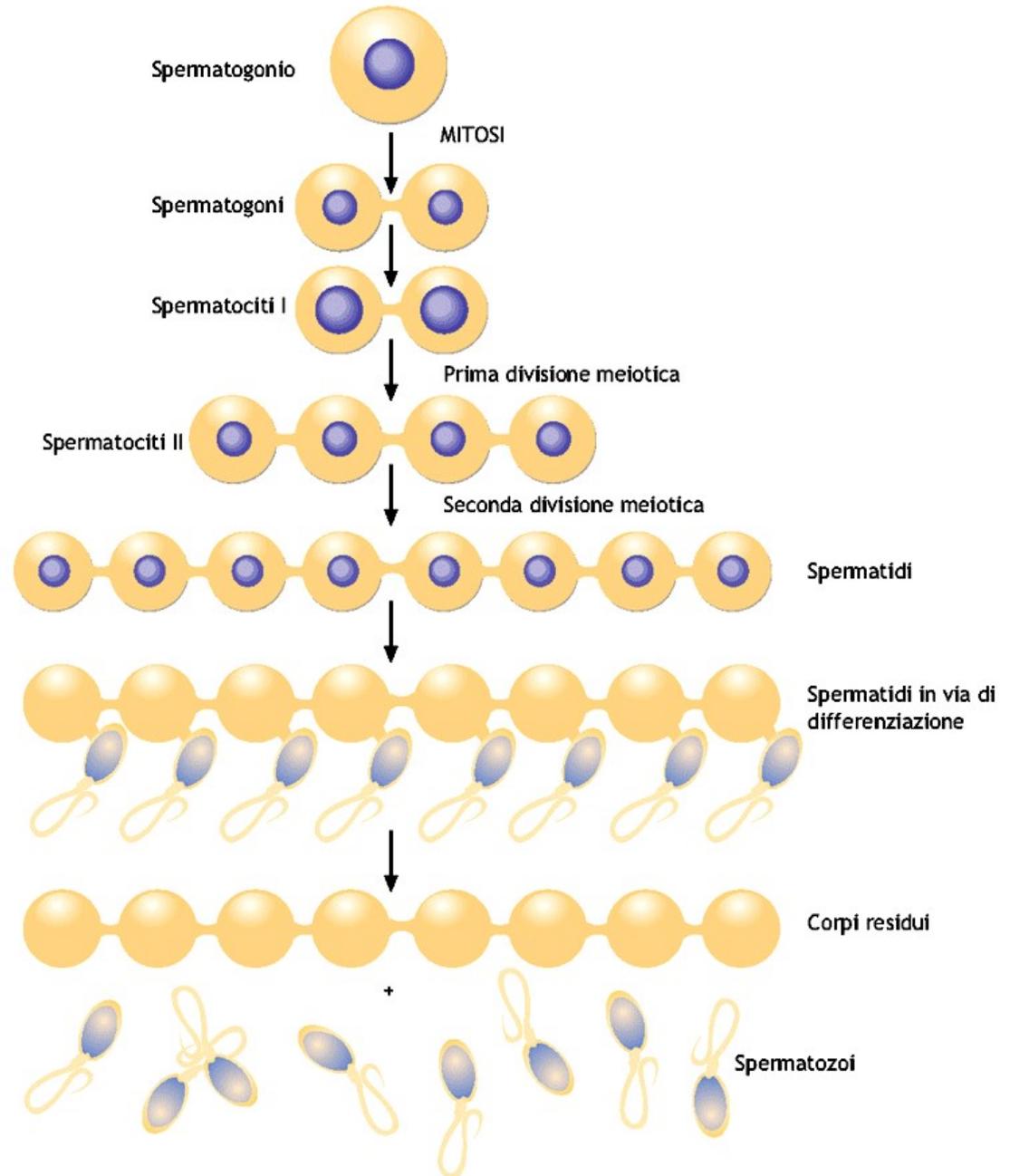
**Figura 8.18 Regolazione ormonale del ciclo ovulatorio.** I prodotti di ipotalamo, ipofisi anteriore ed ovario agiscono in concerto nella regolazione del ciclo ovarico. In fase preovulatoria precoce **(a)**, il GnRH prodotto dall'ipotalamo raggiunge l'ipofisi dove induce il rilascio delle gonadotropine: FSH va a stimolare lo sviluppo del follicolo mentre LH induce la ripresa della meiosi I. Gli estrogeni ovarici hanno un effetto a feedback negativo su ipofisi e ipotalamo. Lo stesso effetto si riscontra in fase postovulatoria **(c)** quando il follicolo, ormai diventato corpo luteo, produce progesterone che ha il compito di stimolare crescita e differenziazione dell'endometrio. **(b)** In fase preovulatoria tardiva gli estrogeni hanno un effetto a feedback positivo sull'LH, infatti con il picco di LH si ha lo scoppio del follicolo.

# Spermatogenesi

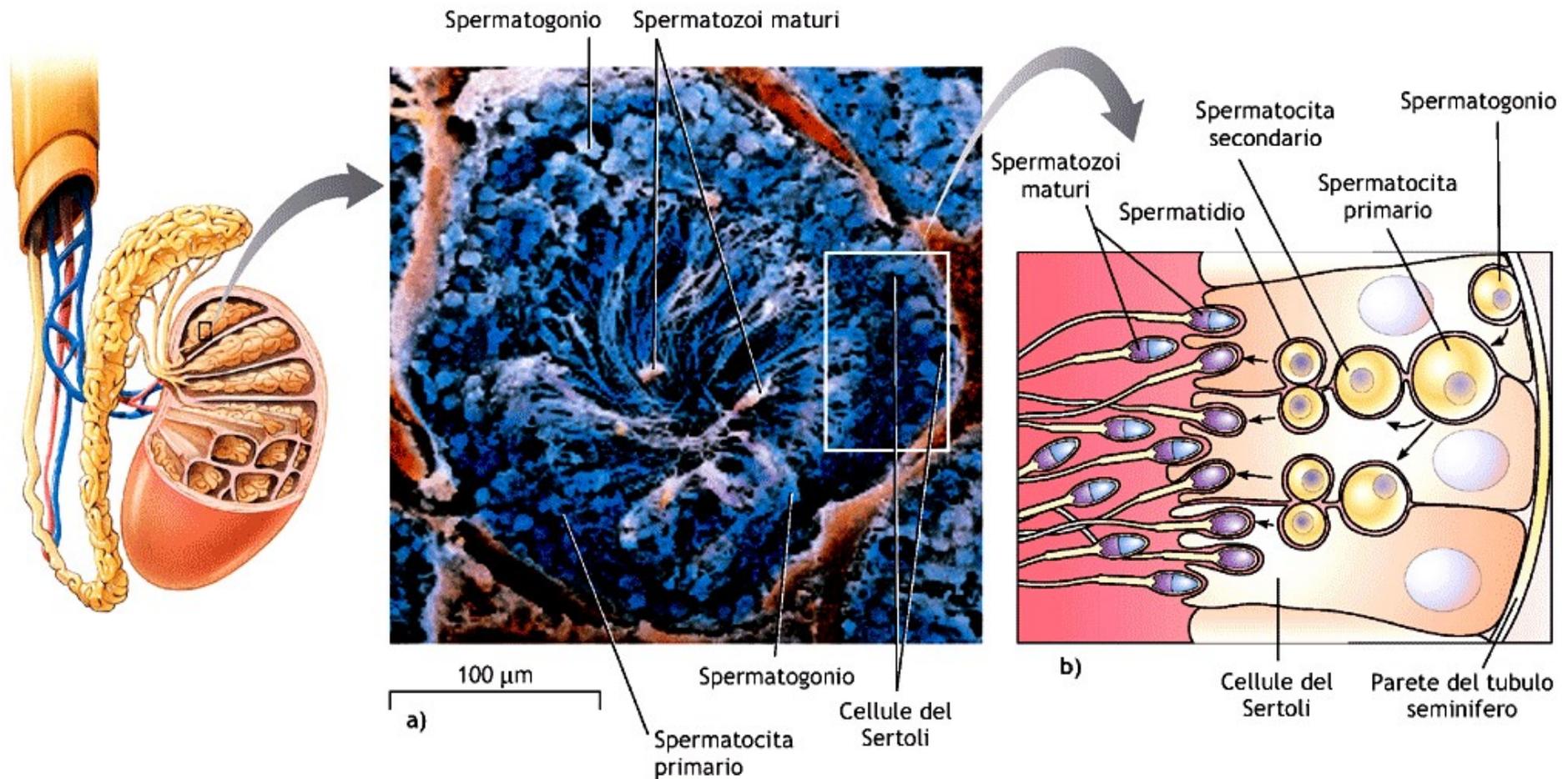
■ **Figura 8.10** Presenza di ponti citoplasmatici fra le cellule durante la spermatogenesi. Ciò consente il passaggio di molecole rendendo omogeneo l'ambiente. (Vedi il testo per la spiegazione).



■ **Figura 8.11** Struttura di uno spermatozoo maturo. Testa, collo e coda sono le tre parti che costituiscono uno spermatozoo.

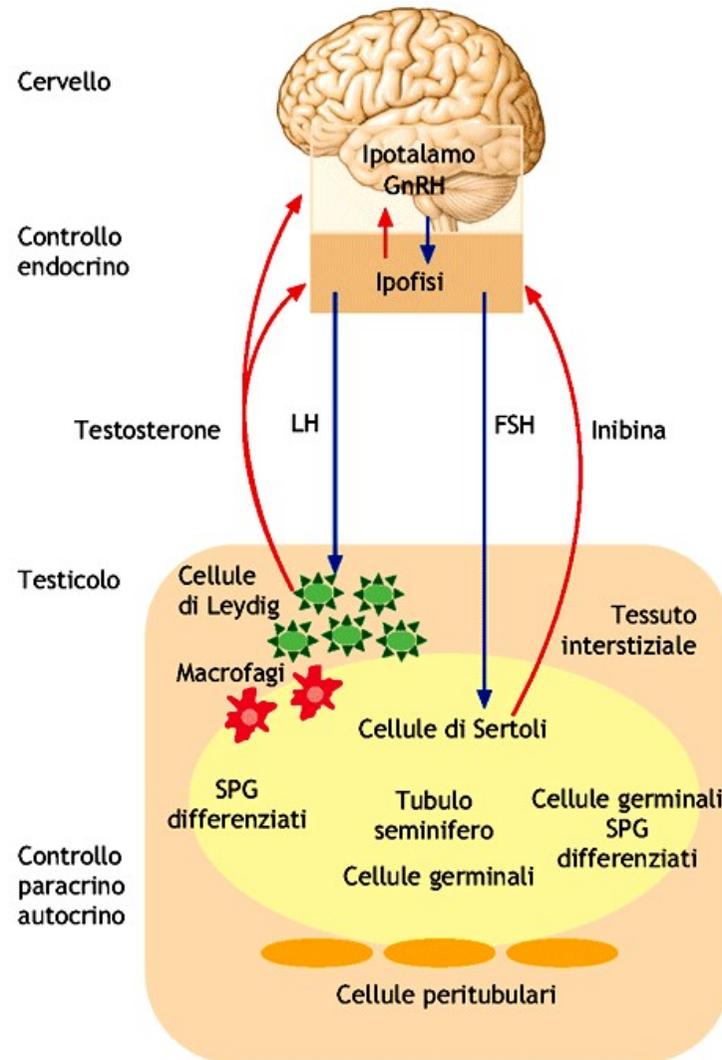


# Testicolo



■ **Figura 8.8** **Struttura del testicolo.** (a) Immagine al microscopio elettronico a scansione di una sezione trasversale di tubulo seminifero, sono indicati diversi stadi maturativi delle cellule germinali e cellule di Sertoli; (b) disegno che sottolinea lo stretto legame che esiste fra le cellule germinali e le cellule di Sertoli.

# Spermatogenesi



■ **Figura 8.14** La regolazione ormonale dell'attività testicolare. Quadro generale della regolazione ormonale: il fattore di rilascio delle gonadotropine, GnRH, prodotto dall'ipotalamo, stimola l'ipofisi anteriore a secernere le gonadotropine FSH e LH. LH stimola le cellule di Leydig a secernere testosterone, FSH agisce sulle Sertoli. Il testosterone inibisce la secrezione di LH agendo sia sull'ipotalamo che sull'ipofisi; l'inibina, di origine sertoliana, inibisce la secrezione di FSH.

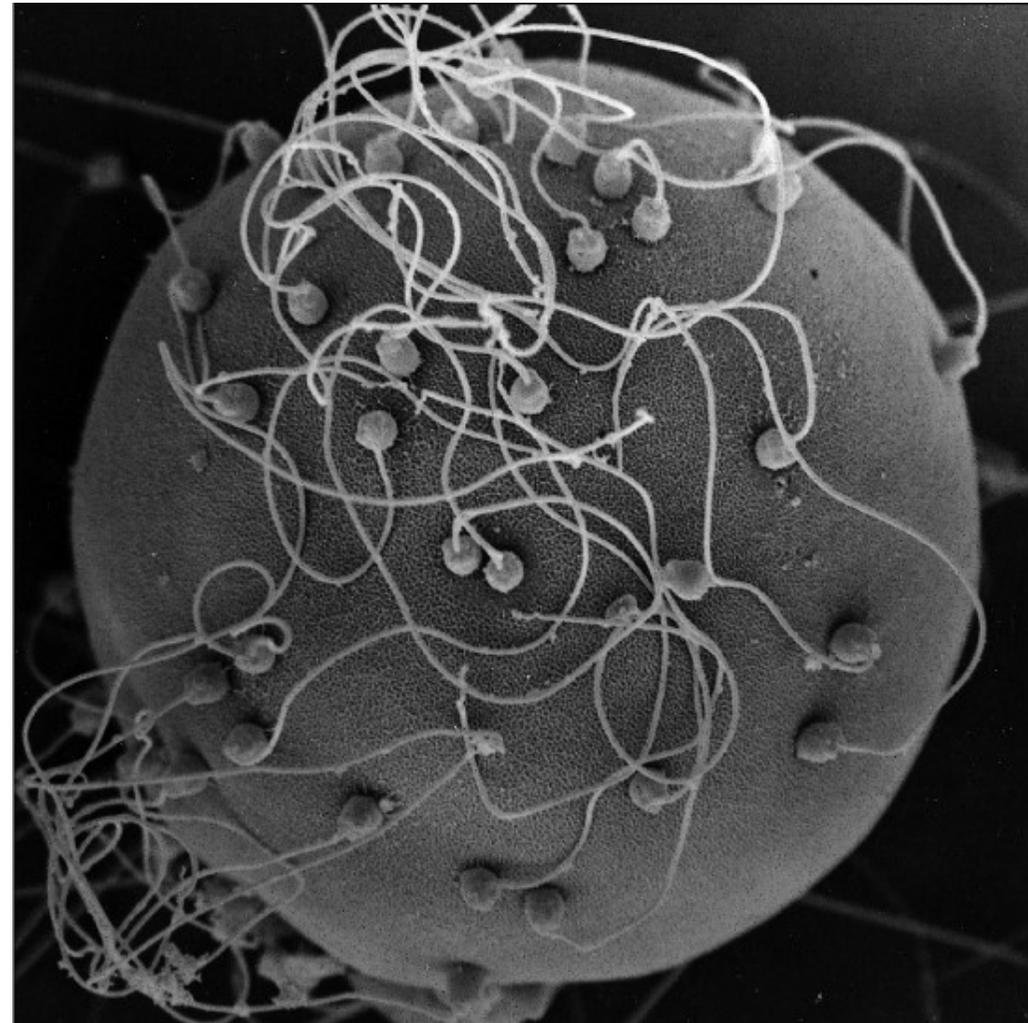
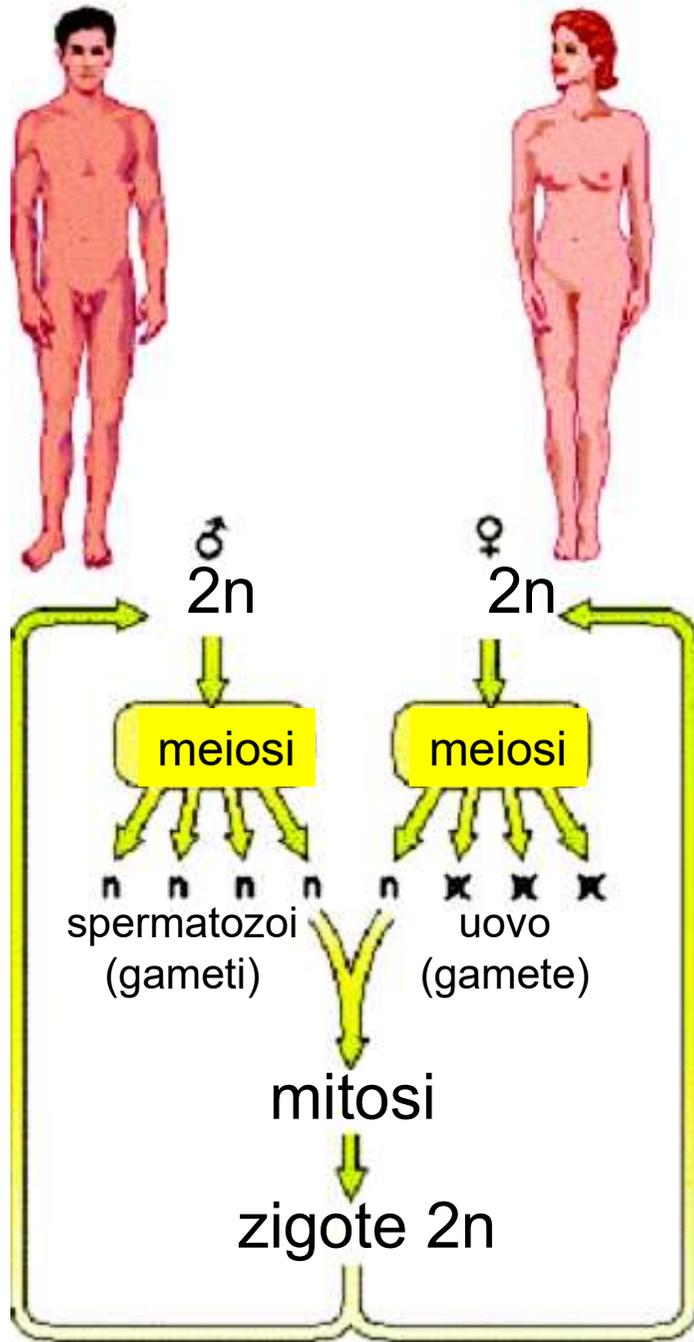
Alcuni fattori ambientali, soprattutto nelle fasi della vita più delicate come lo sviluppo intrauterino, l'infanzia e l'adolescenza, in cui l'organismo è in continuo cambiamento, possono determinare non solo infertilità nella vita adulta ma anche essere la causa di alcune patologie andrologiche e ginecologiche, come anche di alcuni tumori e malformazioni del sistema riproduttivo.

Tra i fattori ambientali maggiormente coinvolti vi sono gli interferenti endocrini, sostanze insidiose potenzialmente in grado di alterare la funzionalità del sistema endocrino causando in tal modo effetti avversi sulla nostra salute e prole. Si tratta di un ampio gruppo di sostanze chimiche che comprende: contaminanti ambientali persistenti, sostanze chimiche utilizzate come pesticidi o antiparassitari, oppure come additivi e preservanti di prodotti industriali e di consumo, alcuni metalli pesanti, sostanze chimiche di origine naturale come i polifenoli (alcuni noti come fitoestrogeni) e farmaci ad azione ormone-simile.

Tutte queste sostanze chimiche possono essere disperse nell'ambiente o mediante l'inquinamento atmosferico (es. le diossine per combustione negli inceneritori) oppure nelle acque e nei suoli, in seguito ad escrezione urinaria, perché presenti negli alimenti e nelle acque potabili o perché contenute in oggetti anche di uso comune come plastiche e scatole metalliche usate anche per la conservazione degli alimenti, nonché nei cosmetici e nei prodotti per l'igiene e la cura personale.

<http://www.salute.gov.it/portale/fertility/dettaglioContenutiFertility.jsp?lingua=italiano&id=4576&area=fertilita&menu=stilivita>

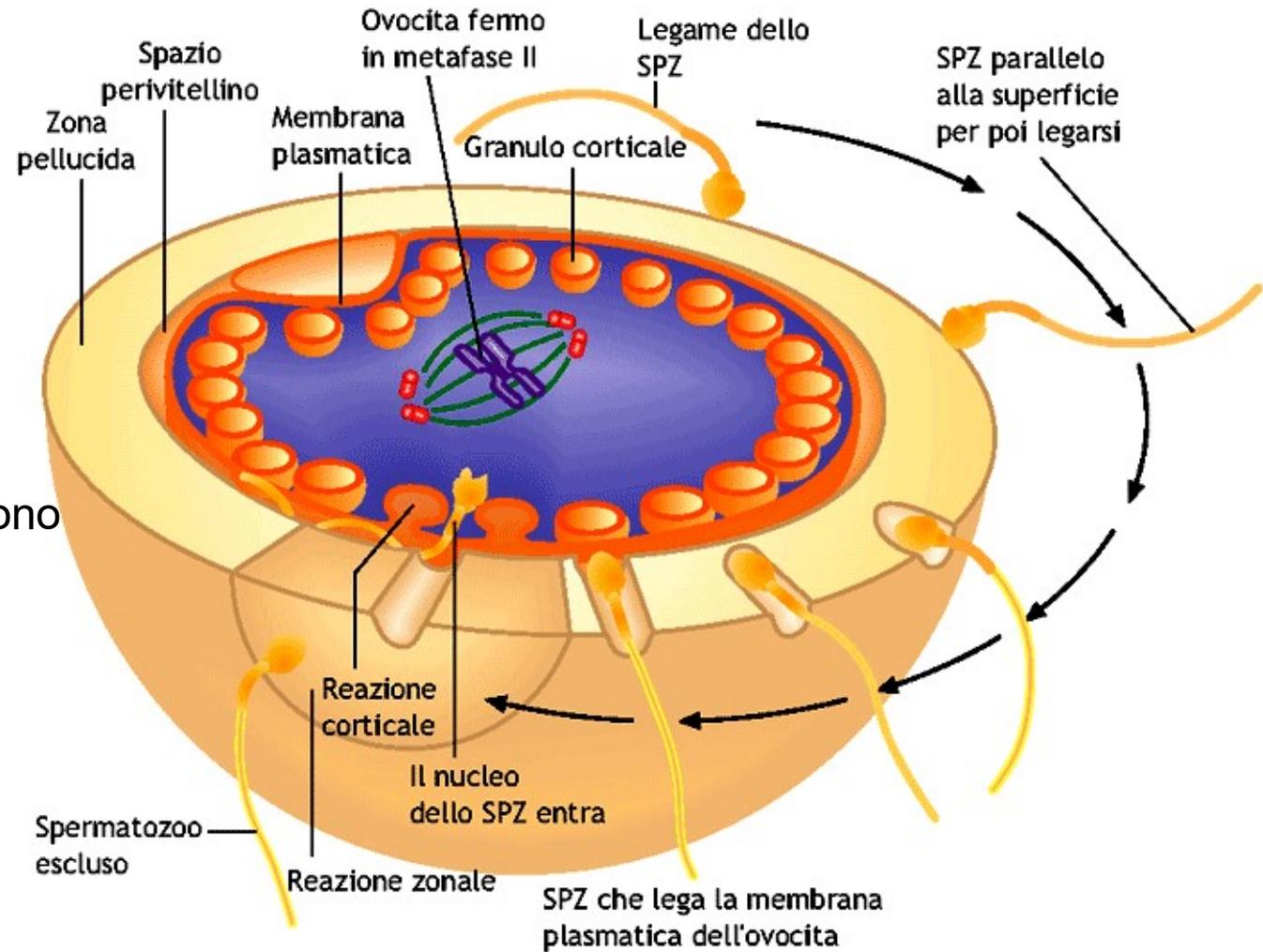
# Fecondazione



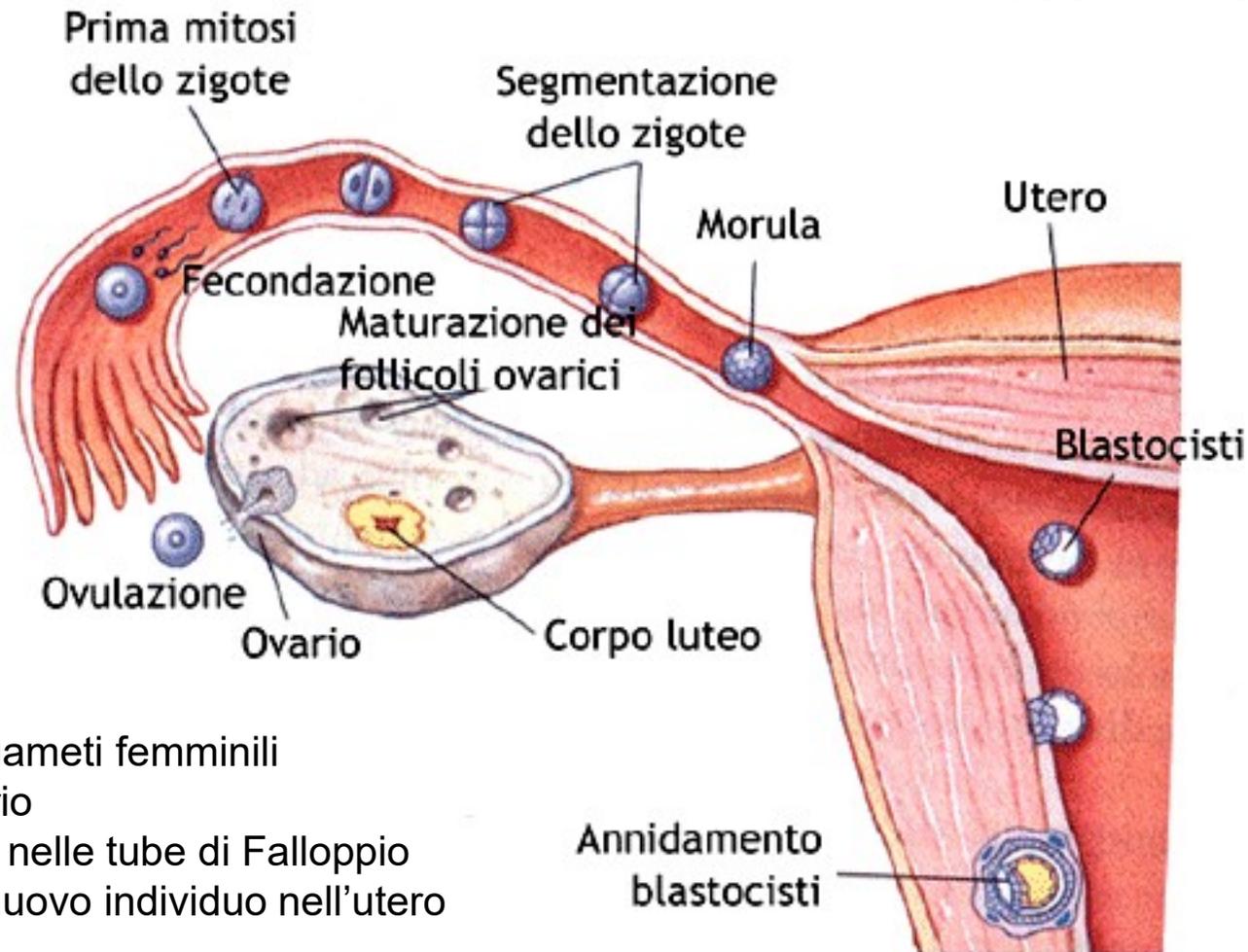
50  $\mu\text{m}$

# Fecondazione

- Dopo la fecondazione si completa la Meiosi II bloccata in metafase
- I due pronuclei si fondono
- Si forma lo zigote



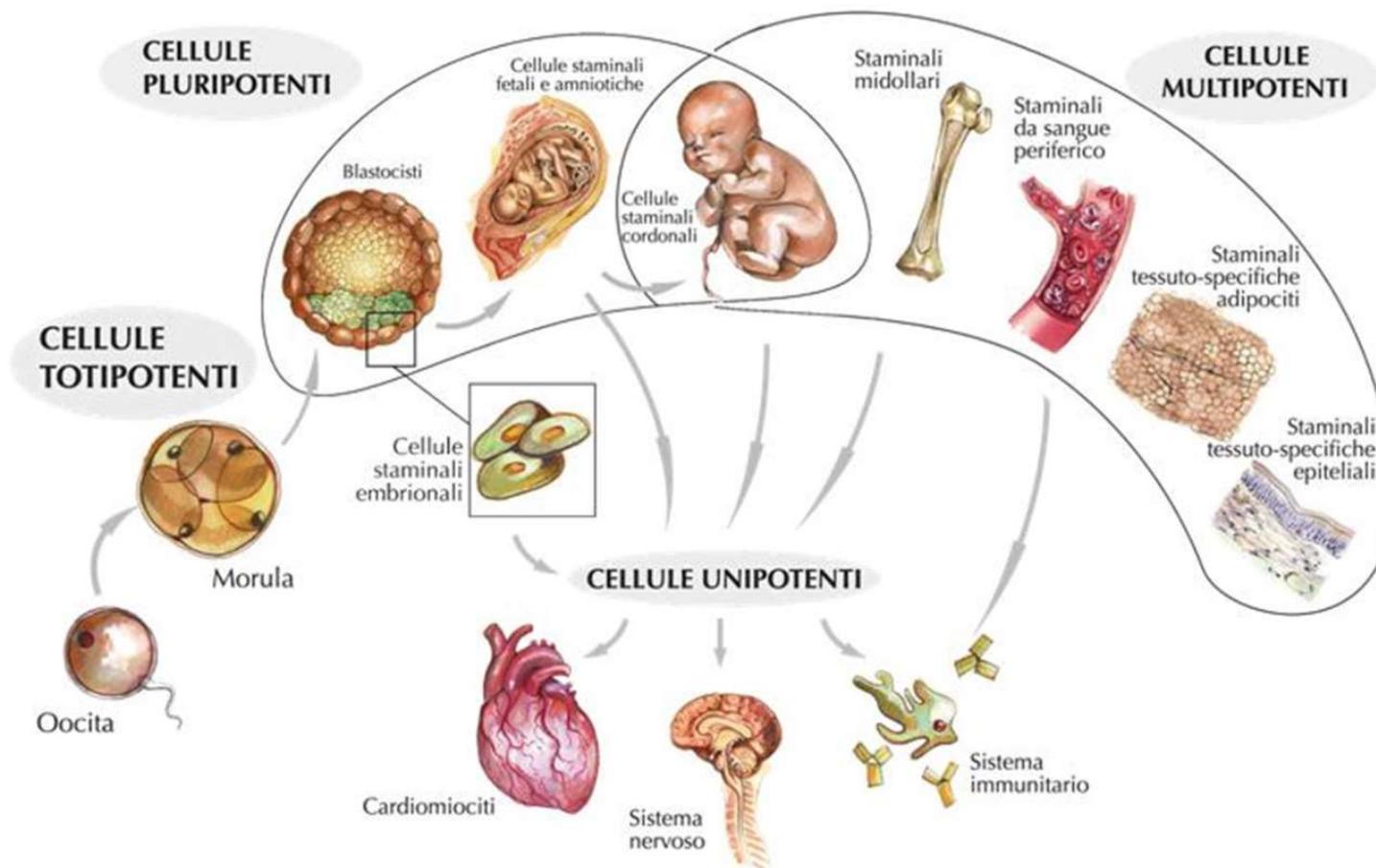
## Fecondazione



- Lo sviluppo dei gameti femminili avviene nell'ovario
- La fecondazione nelle tube di Falloppio
- Lo sviluppo del nuovo individuo nell'utero

■ **Figura 8.28** Tuba di Falloppio e primi stadi di sviluppo dell'embrione fino all'annidamento. Rappresentazione schematica della tuba di Falloppio e di parte dell'utero umano. Sono mostrati i vari stadi della maturazione oocitaria ed i primi stadi di sviluppo dell'embrione fino all'annidamento della blastocisti nello spessore della mucosa uterina.

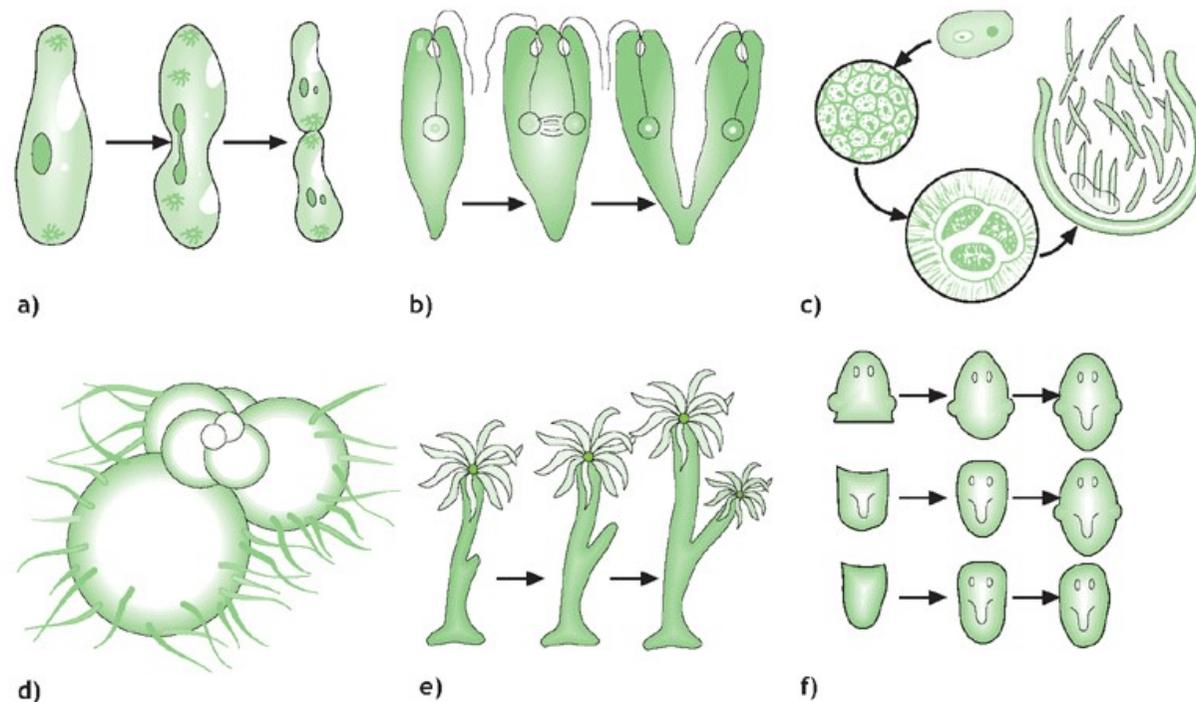
# Cellule staminali e differenziamento cellulare



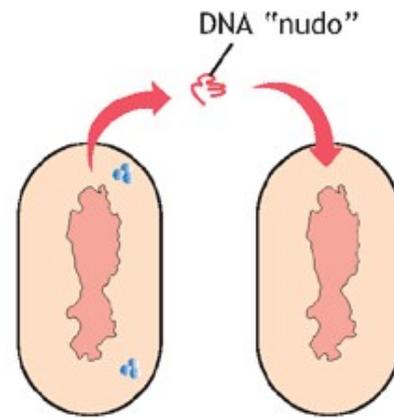
<http://www.smartbank.it/cellule-staminali/staminali-cosa-sono/>

La riproduzione **asessuata** avviene senza gameti appartiene per lo più a organismi poco sviluppati: la gemmazione con l'Idra, la talea con il Geranio

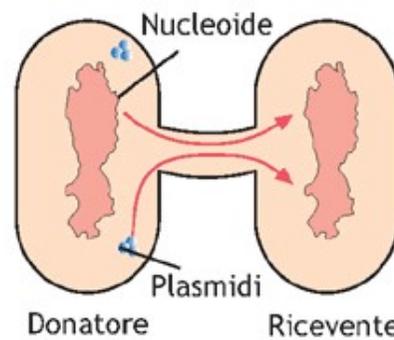
In tutti questi casi comunque gli individui generati sono geneticamente uguali al genitore.



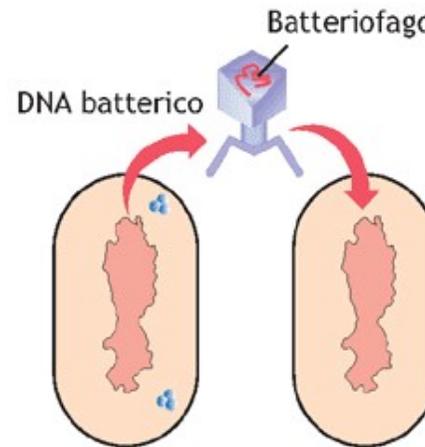
**Figura 8.3** Modalità di riproduzione asessuata. (a) Scissione in un protozoo ciliato; (b) scissione in un protozoo flagellato; (c) scissione multipla o sporulazione in uno sporozoo; (d) gemmazione in un eliozoo (protozoo); (e) gemmazione in idra (celenterato); (f) frammentazione in planaria (platelminto).



a) Trasformazione



b) Coniugazione



c) Trasduzione

■ **Figura 8.1** Fenomeni di sessualità nei batteri. (a) Trasformazione; (b) coniugazione; (c) trasduzione.

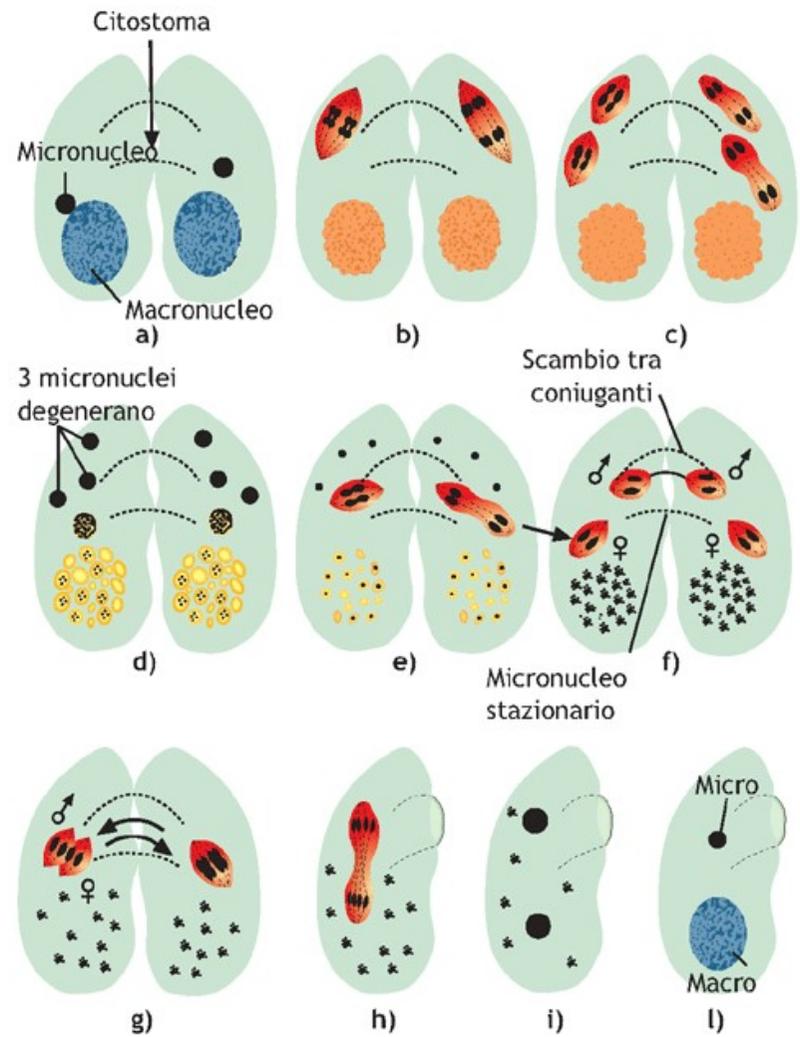


Figura 8.2 La coniugazione in un protozoo ciliato.