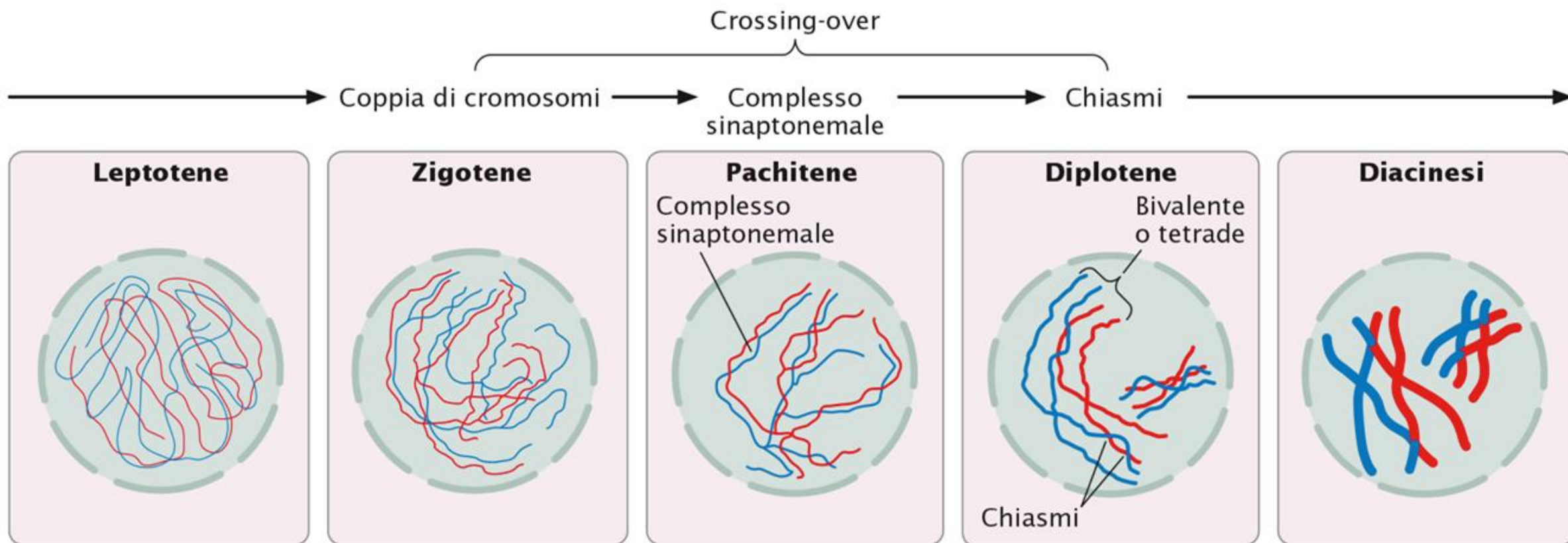


La meiosi I

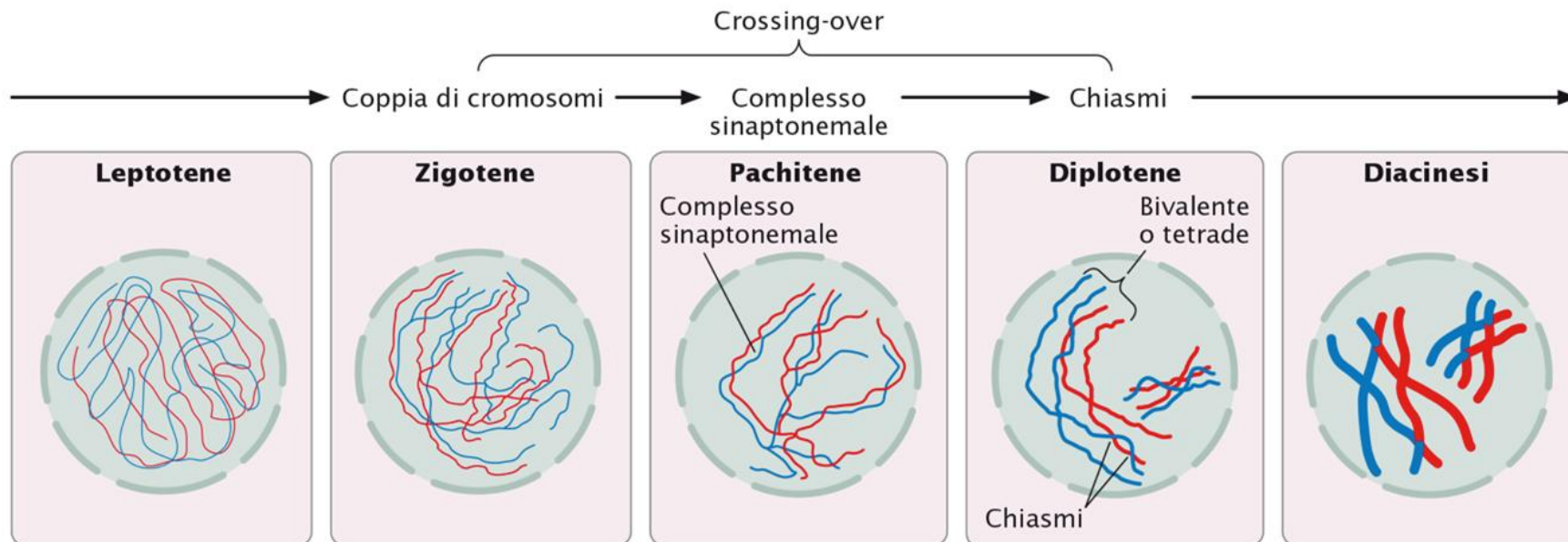
Durante l'interfase i cromosomi sono rilassati e osservabili al microscopio ottico sotto forma di cromatina diffusa. La profase I ha una lunga durata ed è divisa in cinque stadi: LEPTOTENE, ZIGOTENE, PACHITENE, DIPLLOTENE e DIACINESI.



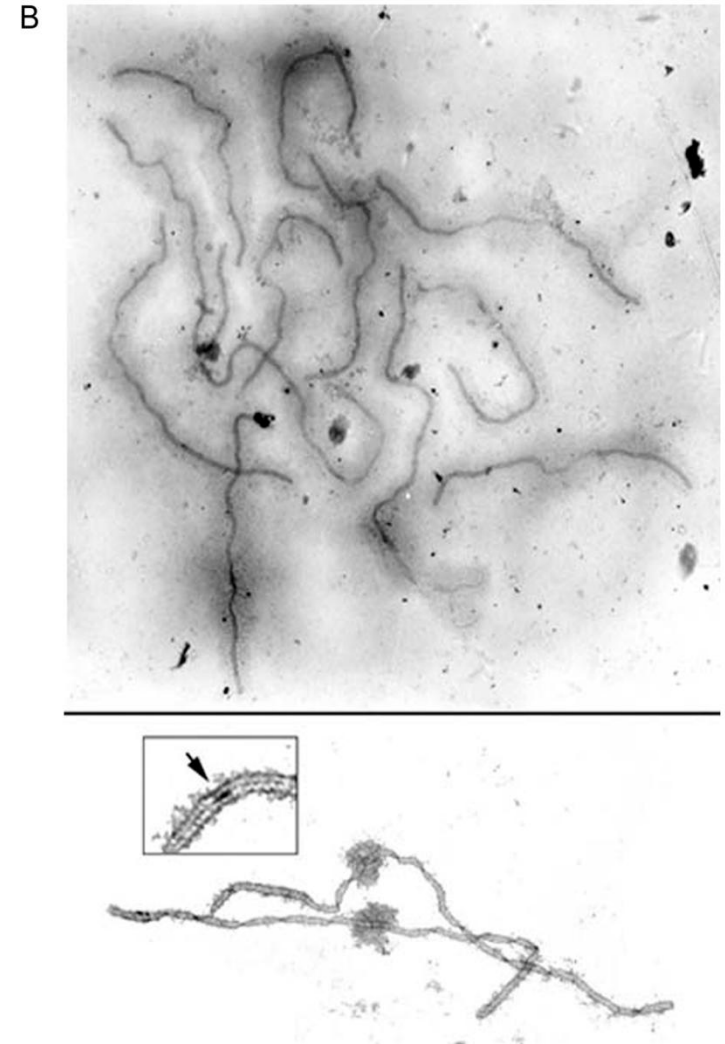
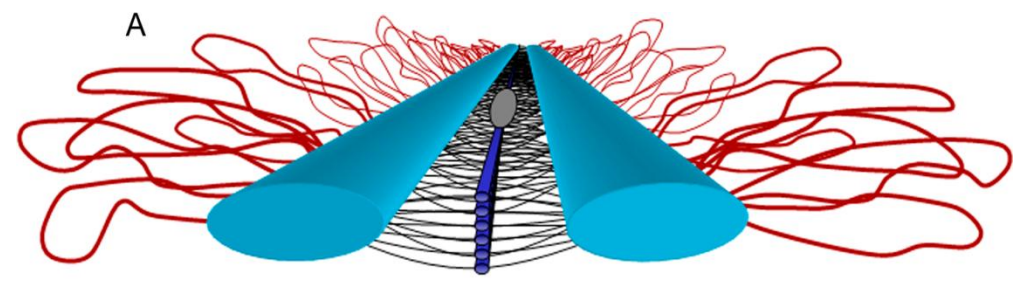
Leptotene i cromosomi si contraggono e diventano visibili;

Zigotene i cromosomi continuano a condensarsi; i cromosomi omologhi si appaiano e ha inizio la sinapsi, cioè la formazione di un legame molto stretto tra le coppie. Ogni coppia di cromosomi omologhi sinaptici è costituita da quattro cromatidi chiamati bivalente o tetrate.

Pachitene i cromosomi si accorciano e si addensano e fra i cromosomi omologhi si sviluppa un complesso sinaptonemale tripartito.



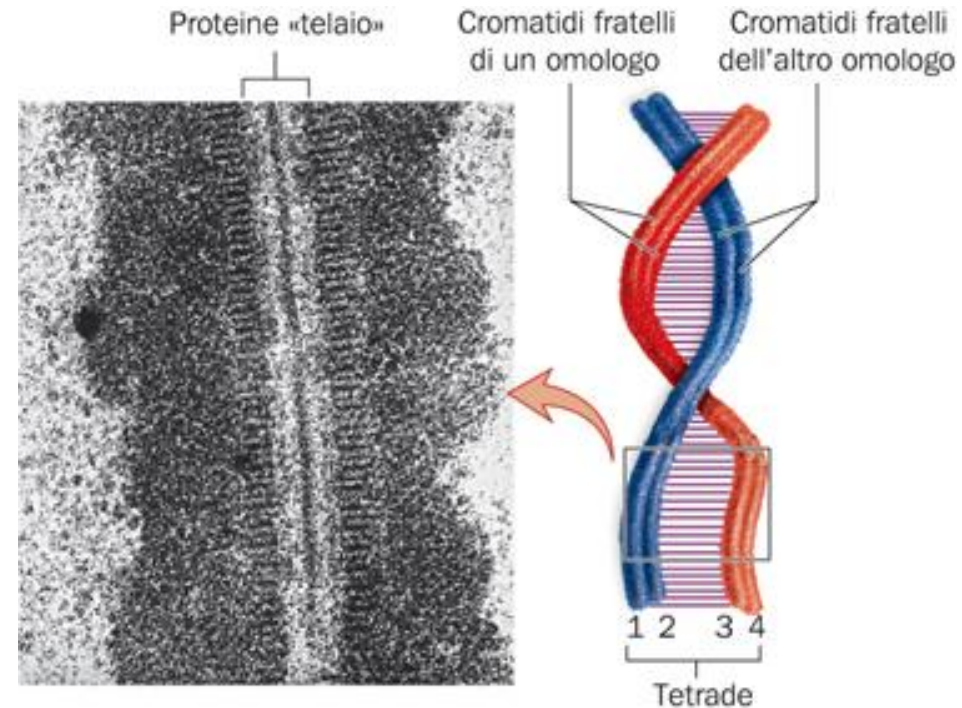
Il complesso sinaptonemale è una struttura proteica che si forma tra cromosomi omologhi (due coppie di cromatidi fratelli) che media l'accoppiamento cromosomico, la sinapsi e la ricombinazione. Si ritiene che il complesso sinaptonemale funzioni principalmente come impalcatura per consentire ai cromatidi interagenti di completare le loro attività di crossover. Il complesso sinaptonemale è una struttura tripartita costituita da due regioni laterali parallele e un elemento centrale.



Durante la meiosi I si verificano le sinapsi e il crossing-over

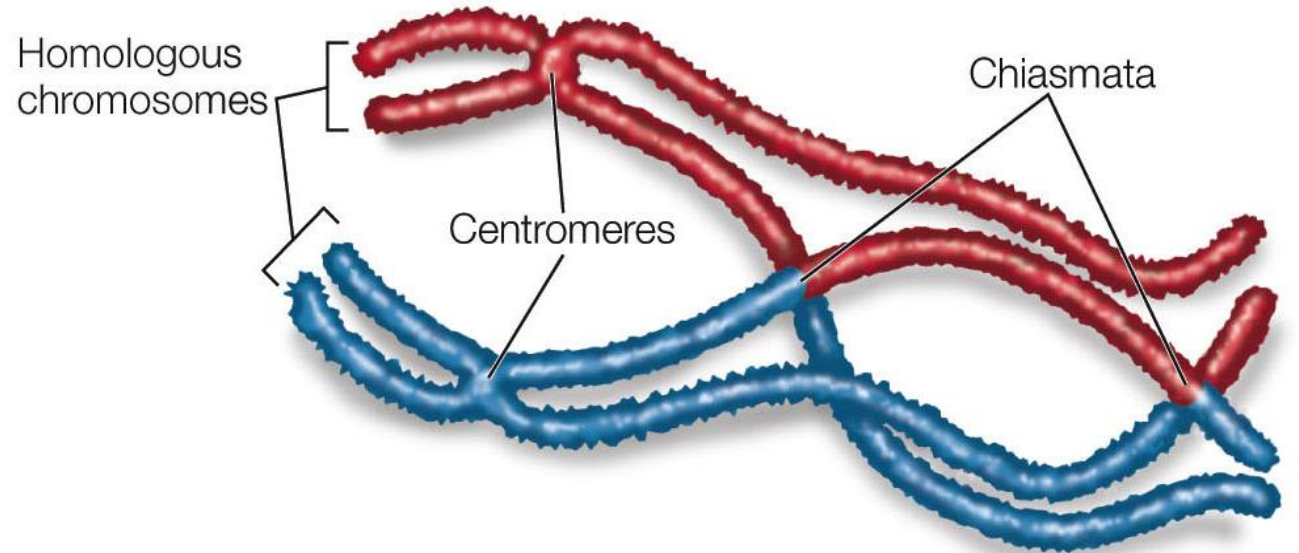
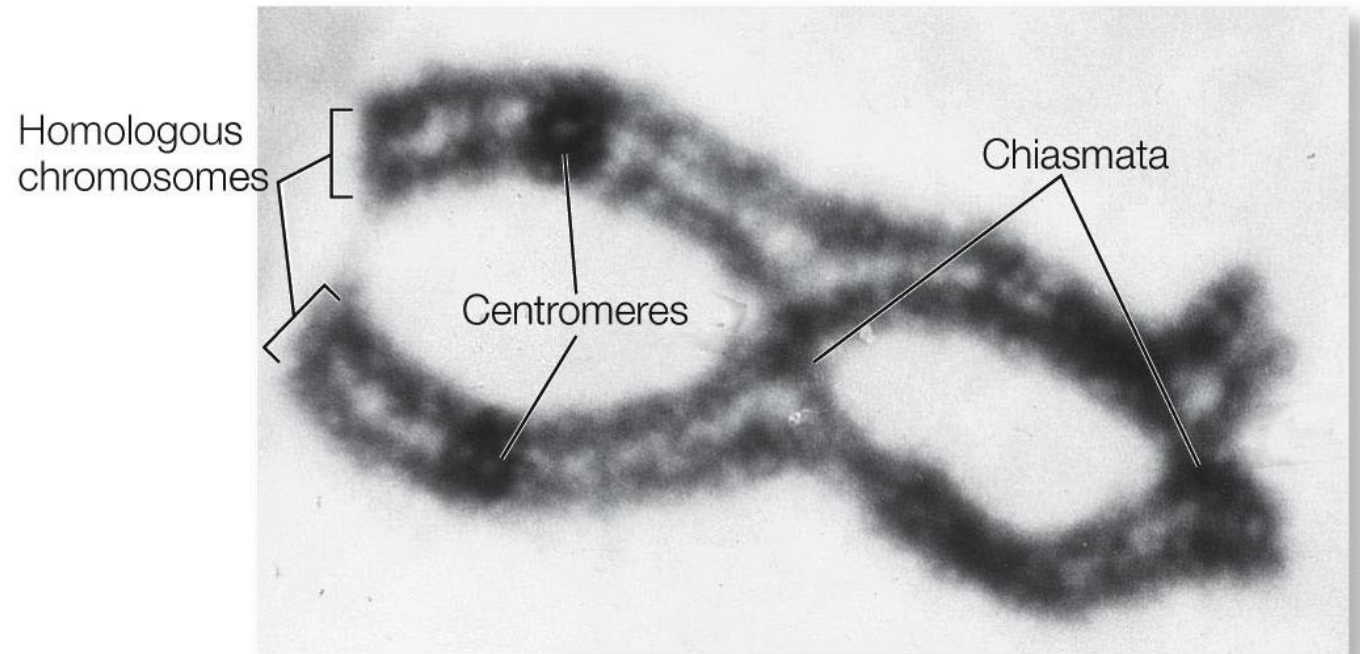
I cromosomi omologhi si avvicinano e si allineano lateralmente: essi sono in **sinapsi**, che significa «uniti insieme».

Poiché ciascun omologo ha due cromosomi fratelli, nella sinapsi quattro cromosomi si trovano a stretto contatto; tale gruppo si chiama *tetrade*.

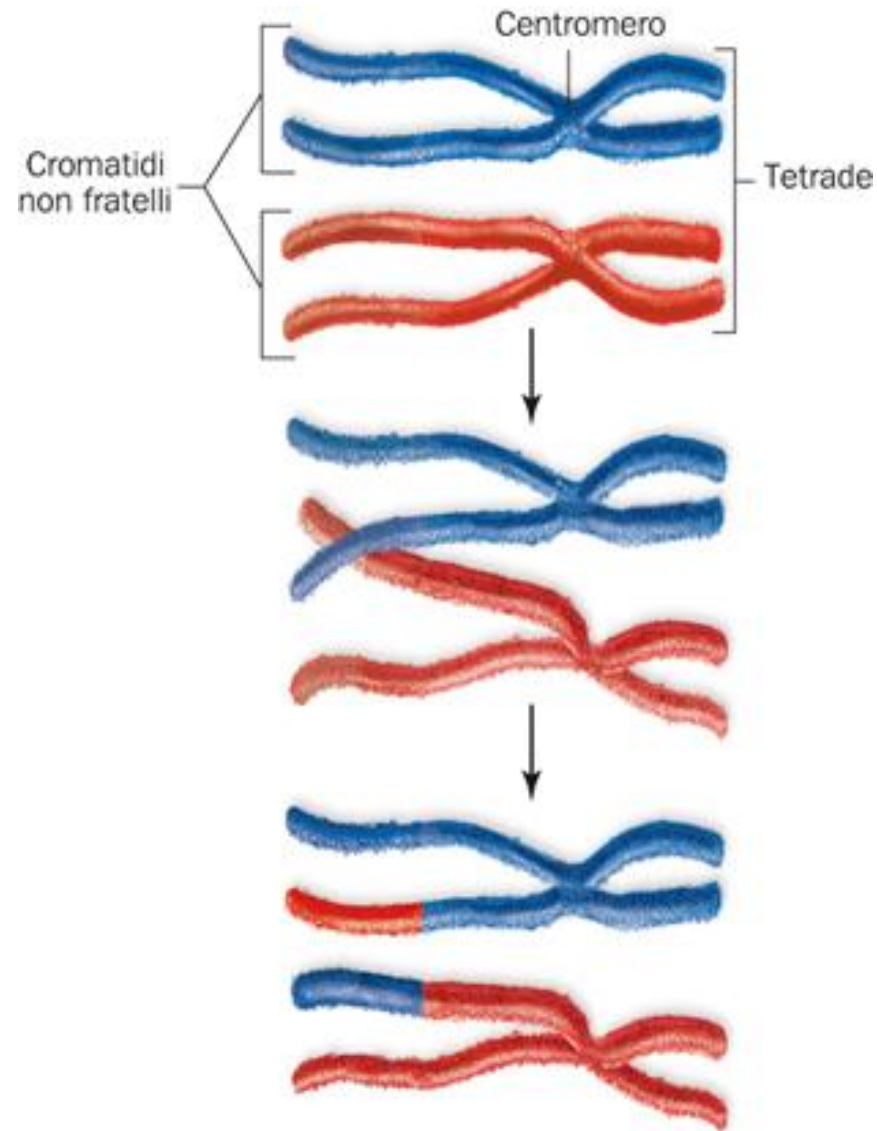


Nella profase I si verifica il crossing-over, nel corso del quale i cromosomi omologhi si scambiano informazioni genetiche.

Il crossing-over produce variabilità genetica ed è essenziale per il corretto allineamento e la separazione dei cromosomi omologhi.



Durante la meiosi I si verificano le sinapsi e il crossing-over



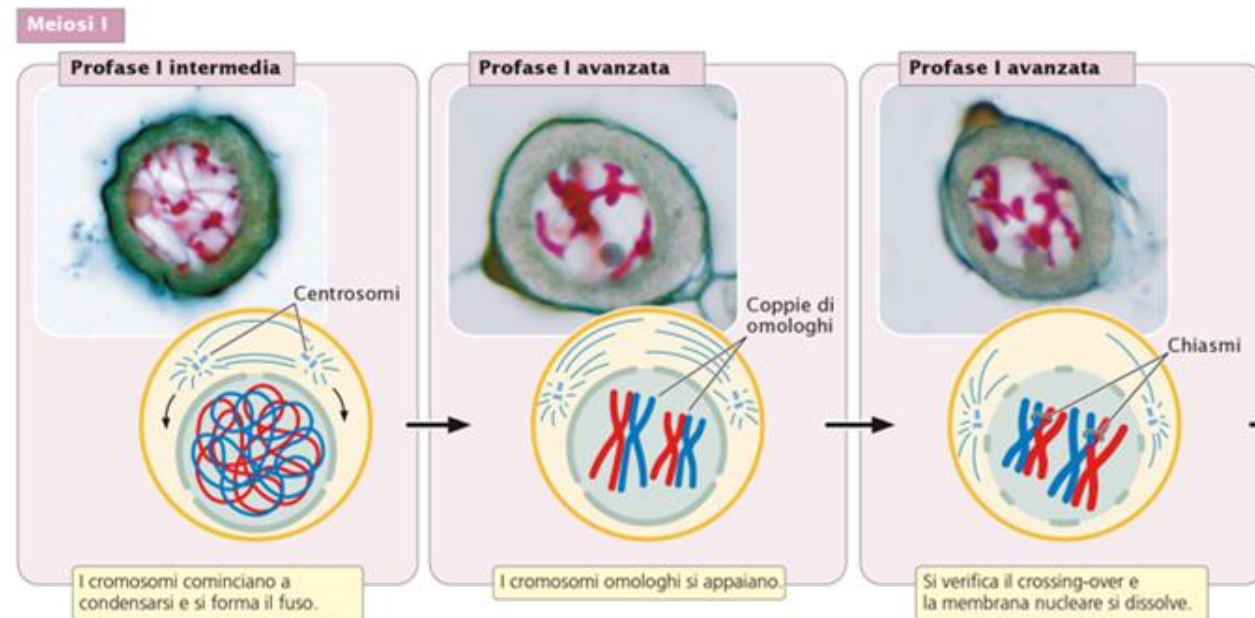
Durante la sinapsi i cromatidi non fratelli della tetrade talvolta si scambiano materiale genetico, un evento chiamato **crossing-over**.

Grazie a questo scambio, i cromatidi fratelli portano delle informazioni genetiche non più uguali.

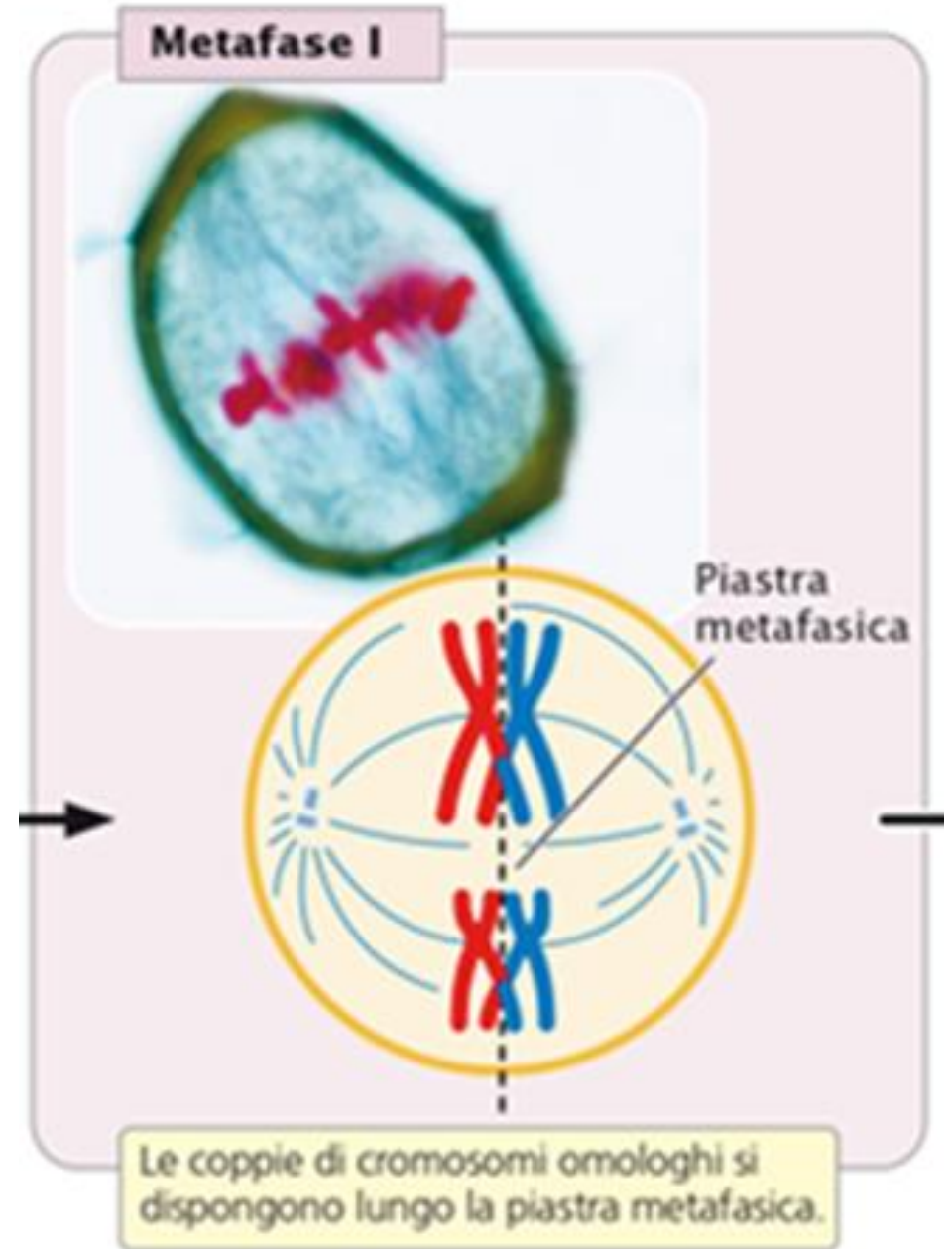
Diplotene i centromeri dei cromosomi appaiati si separano; i due omologhi rimangono uniti al livello del chiasma che è il risultato del crossing-over.

Verso la conclusione della profase I la membrana nucleare si dissolve e si forma il fuso, preparandolo stadio della metafase I.

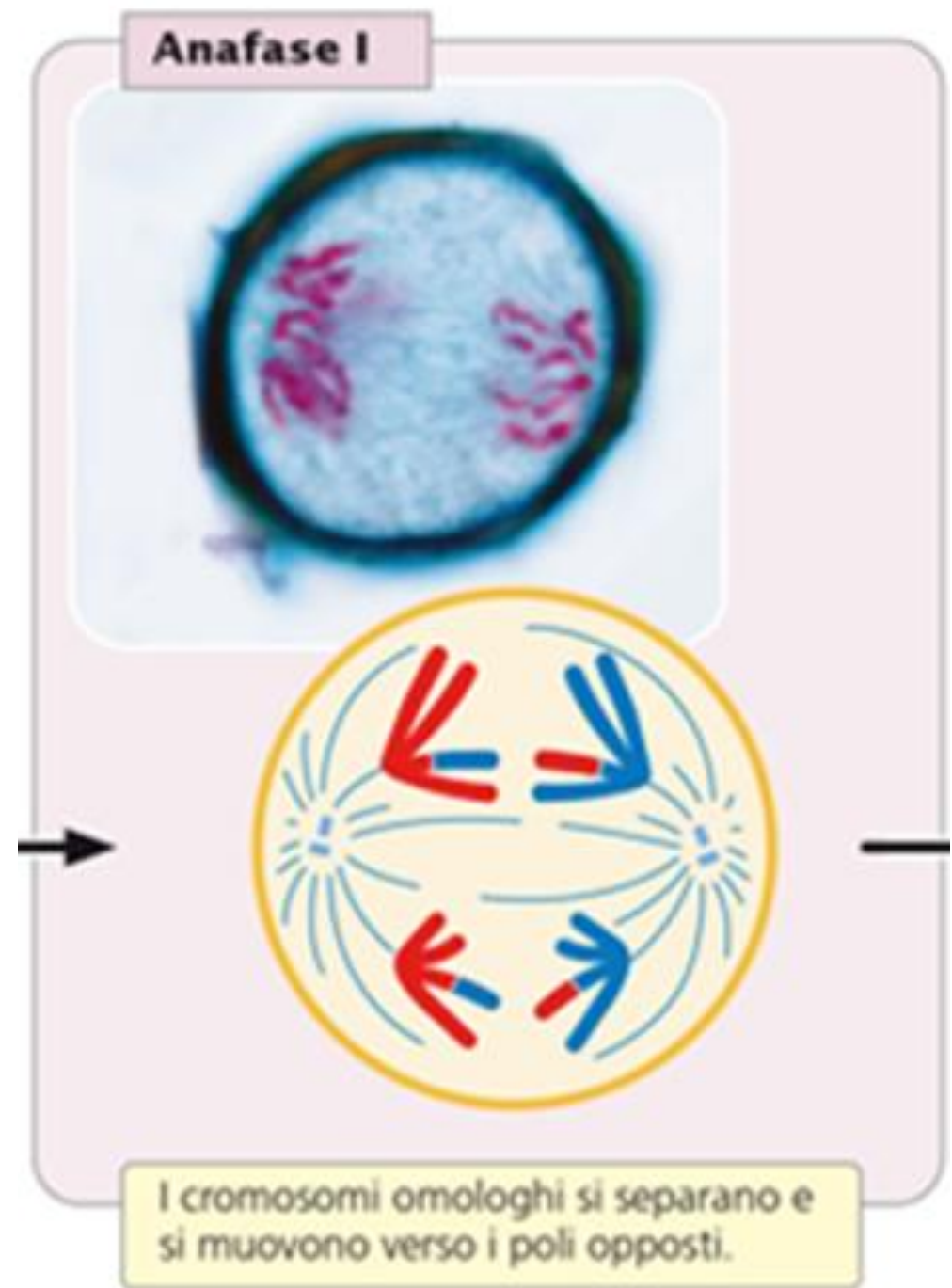
Diacinesi In questa fase si ha la contrazione dei cromosomi con scomparsa del nucleolo e della membrana nucleare e formazione delle fibre del fuso.



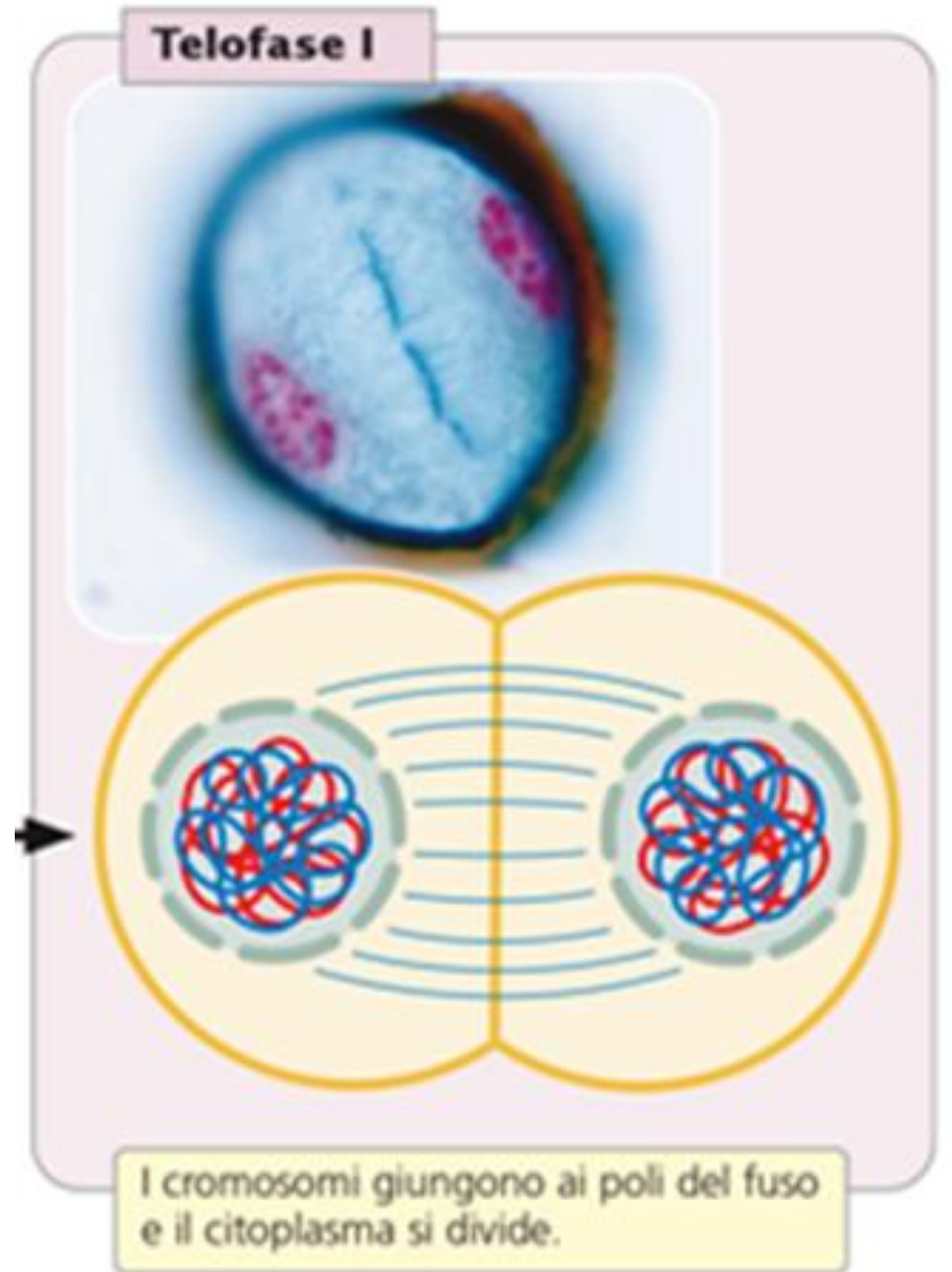
La metafase meiotica I ha inizio quando le coppie di cromosomi omologhi si dispongono lungo la piastra metafasica. Un microtubulo proveniente da un polo si lega a un cromosoma di una coppia omologa e un microtubulo proveniente dall'altro polo si lega all'altro membro della coppia.



L'anafase I è contraddistinta dalla **separazione dei cromosomi omologhi**. Nonostante i due cromosomi di una coppia omologa si separino, i cromatidi fratelli restano attaccati e si spostano insieme.



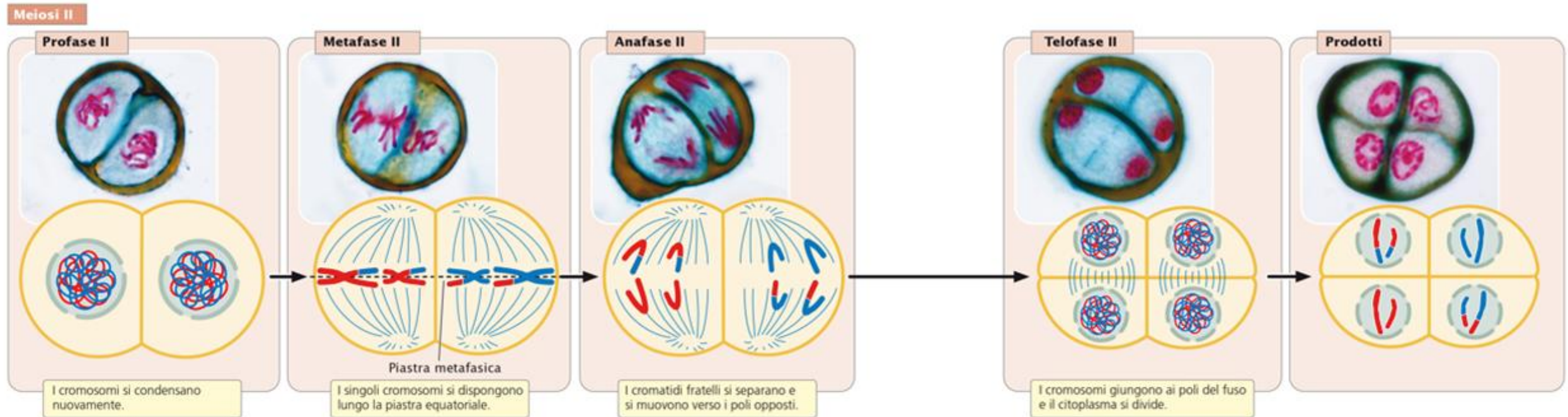
Nella telofase I i cromosomi arrivano ai poli del fuso e il citoplasma si divide.



La meiosi II

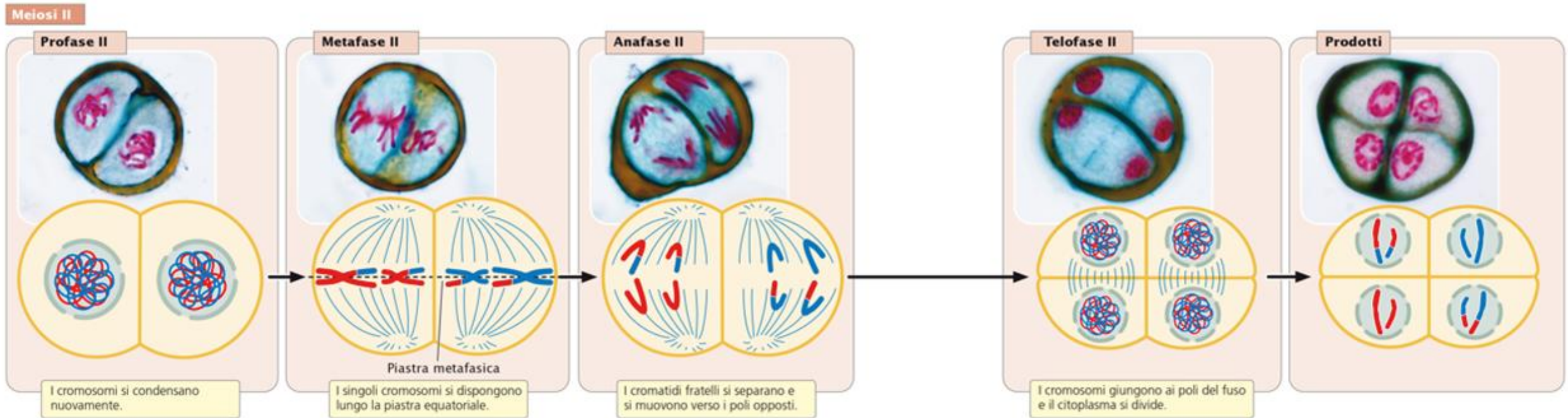
Chiamiamo intercinesi il periodo che intercorre fra la meiosi I e la meiosi II, nel quale la membrana nucleare si riforma intorno ai cromosomi raggruppati intorno a ciascun polo, il fuso si disgrega e i cromosomi si distendono.

Le cellule adesso passano alla profase II, nella quale si assiste all'inversione degli eventi dell'intercinesi: i cromosomi si condensano di nuovo, si forma nuovamente il fuso e la membrana nucleare si disgrega ancora una volta. I cromosomi si rilassano e non sono più visibili.

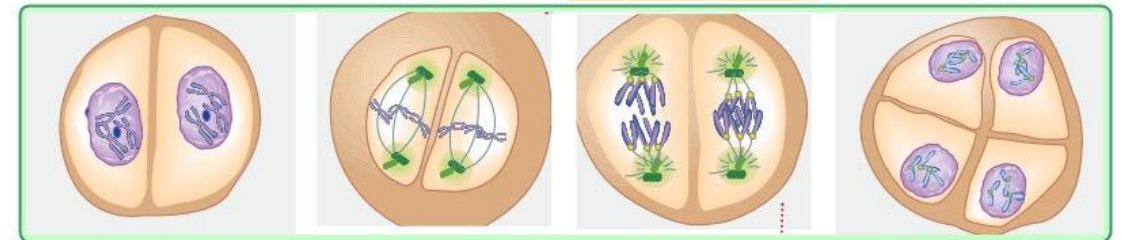
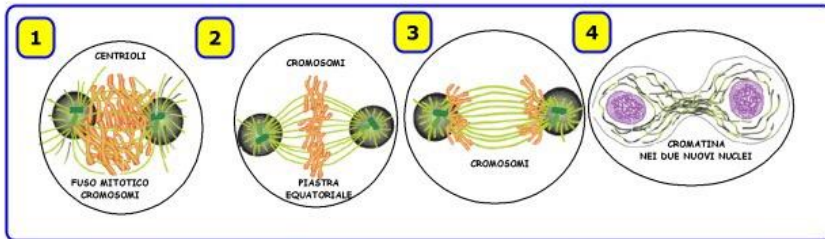
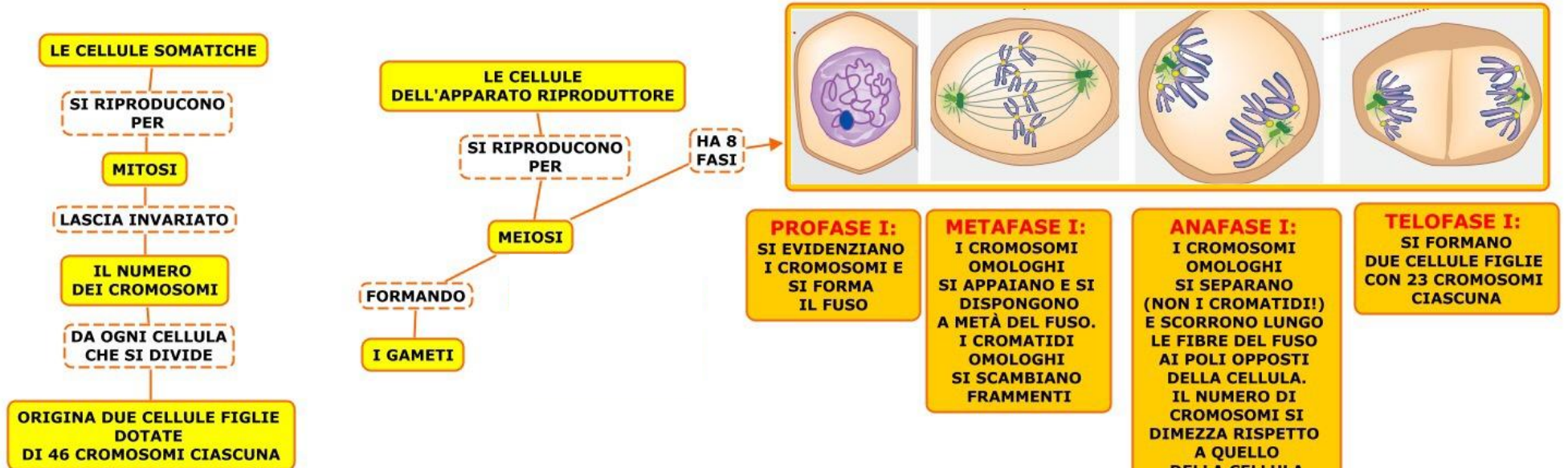


La meiosi II

La metafase II è simile alla metafase della mitosi: i singoli cromosomi si allineano lungo la piastra metafasica, con i cromatidi fratelli rivolti verso i poli opposti. Nell'anafase II, i cinetocori dei cromatidi fratelli si separano e i singoli cromatidi sono tirati ai poli opposti: a questo punto ciascun cromatidio è un cromosoma distinto. Nella telofase II, questi cromosomi giungono ai poli del fuso, vengono avvolti nuovamente dalla membrana nucleare e il citoplasma si divide. I cromosomi si rilassano e non sono più visibili.



LA MITOSI E LA MEIOSI



VARIABILITA' GENETICA

Gli organismi che si riproducono per via sessuale sono geneticamente unici grazie alla variabilità genetica, per cui i figli ereditano dai genitori nuove combinazioni di geni e si determinano differenze genetiche tra gli organismi.

La variabilità genetica è il prodotto di mutazioni, crossing-over, assortimento indipendente e fecondazione.

Le mutazioni sono errori nella duplicazione del DNA che provocano una variazione nei nucleotidi del DNA o un cambiamento nella disposizione dei geni sui cromosomi.

FONTI DELLA VARIAZIONE GENETICA NELLA MEIOSI

Le conseguenze della meiosi:

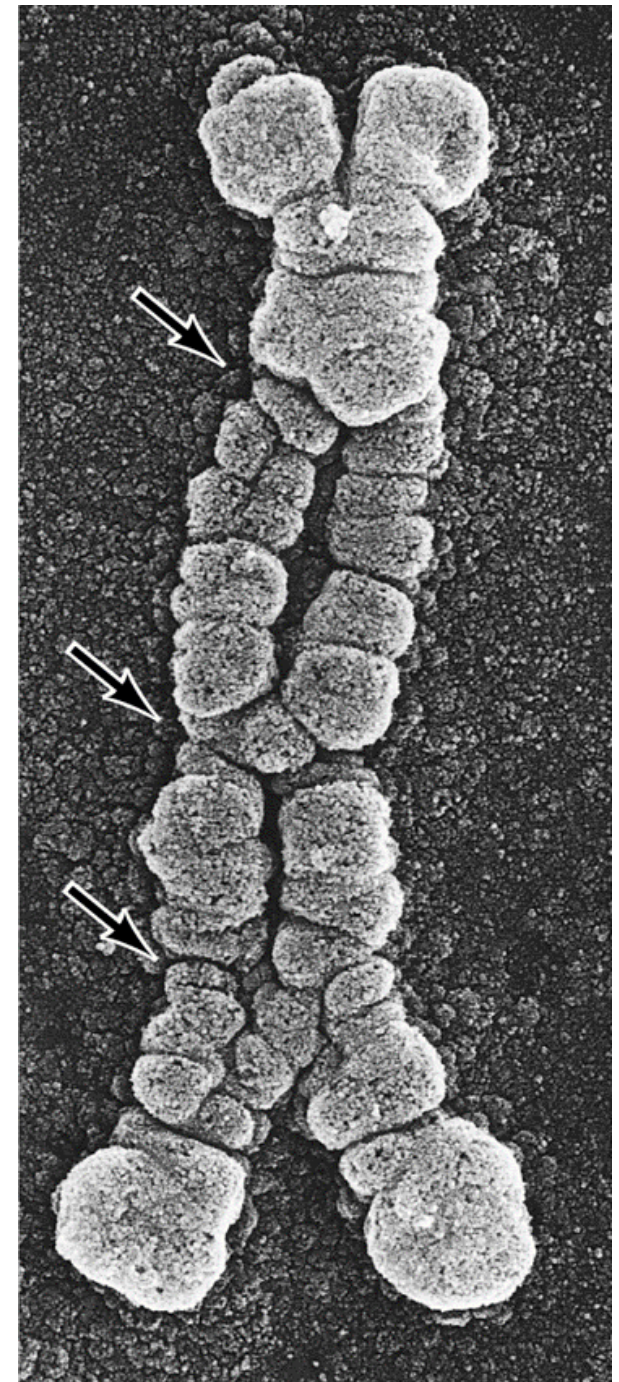
- 1) la meiosi comprende due divisioni, così ogni cellula originale produce quattro cellule figlie;
- 2) il numero dei cromosomi si dimezza: perciò le cellule prodotte per meiosi sono aploidi;
- 3) queste cellule sono geneticamente diverse una dall'altra e dalla cellula parentale.

Le differenze genetiche fra le cellule sono il risultato di due processi esclusivi della meiosi: il **crossing-over** e la **separazione casuale dei cromosomi omologhi (assortimento indipendente)**.

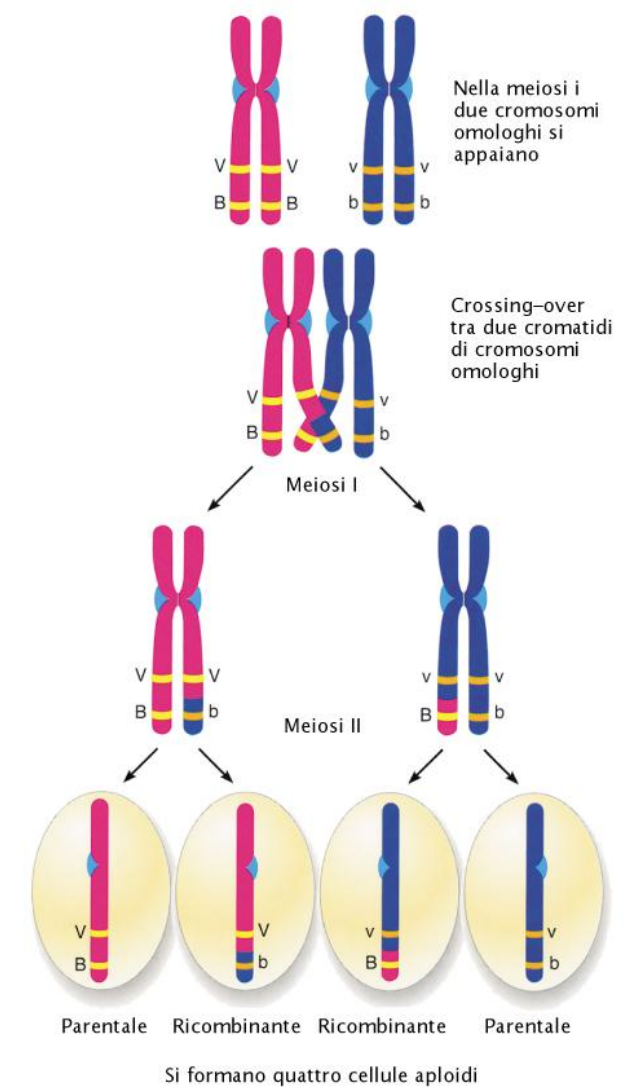
Il crossing-over

Il crossing-over, che ha luogo nella profase I, è lo scambio di materiale genetico fra cromatidi non fratelli, cioè derivanti da cromosomi omologhi diversi. Il crossing-over può avvenire in un punto qualsiasi del cromosoma e più fenomeni di crossing-over si possono verificare contemporaneamente in diversi punti dello stesso cromosoma. Le variazioni possibili sono moltissime.

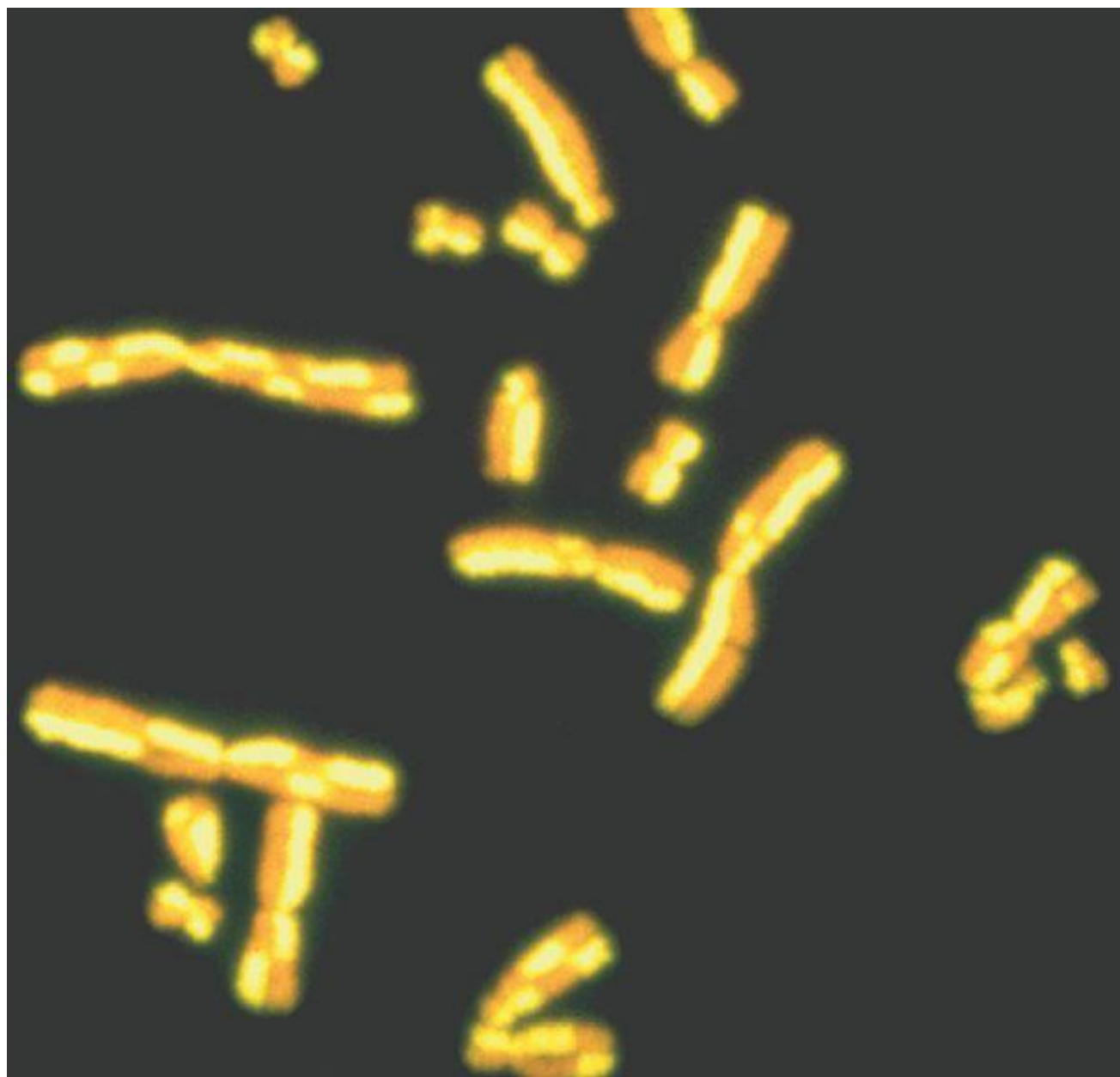
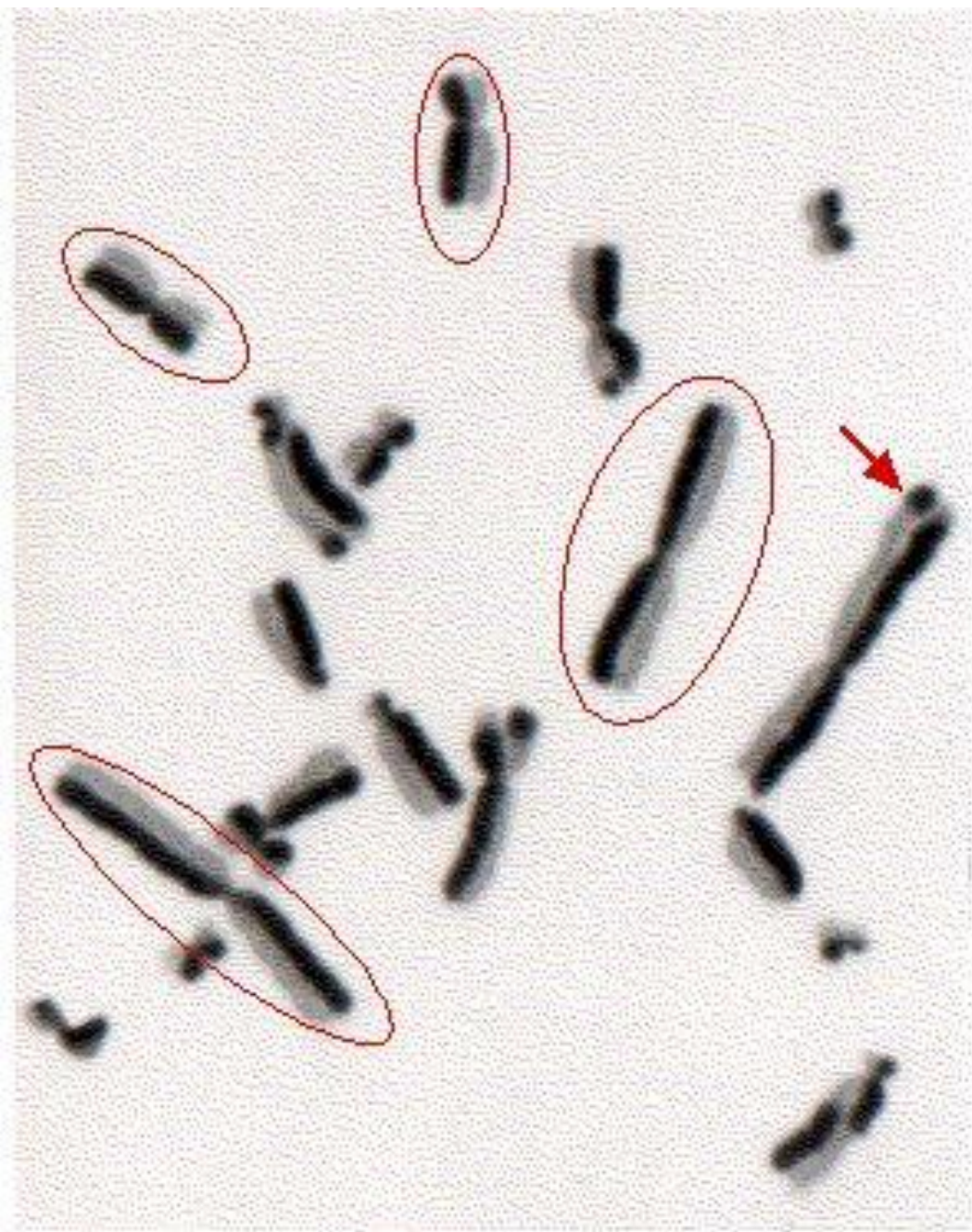
Dopo il crossing-over i cromatidi fratelli non sono più identici. Questo processo è infatti alla base della ricombinazione intracromosomica che realizza nuove combinazioni di alleli su un cromatidio.



Per comprendere come il crossing-over sia all'origine della variazione genetica, prendiamo in considerazione due coppie di alleli che chiameremo per brevità Vv e Bb. Immaginiamo che un cromosoma possieda gli alleli V e B e che il suo omologo possieda gli alleli v e b. Quando il DNA si replica nella fase S, ogni cromosoma si duplica e i cromatidi fratelli risultanti sono identici. Durante il processo di crossing-over, nei filamenti del DNA si verificano rotture che sono riparate in modo che vengono scambiati segmenti dei cromatidi non fratelli.



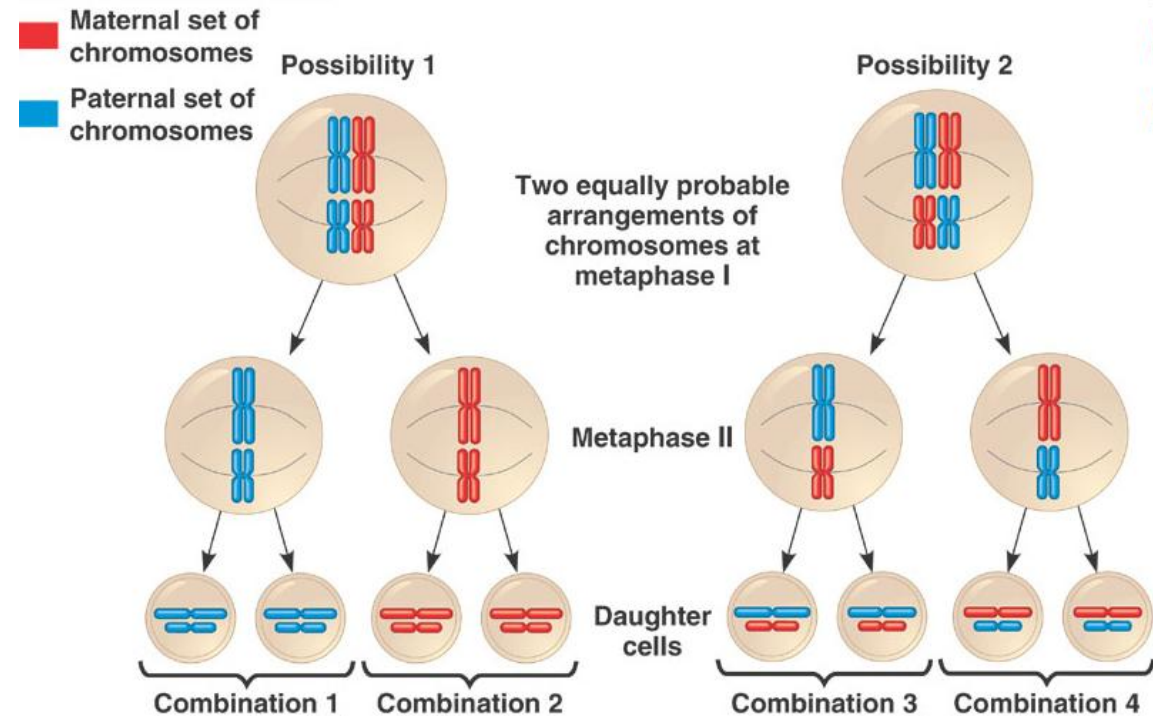
Ciascuno dei quattro cromatidi ora porta una combinazione di alleli esclusiva: V B , v B , V b e v b . Alla fine, i due cromosomi omologhi si separano e ciascuno finisce in una cellula diversa. Durante la meiosi II i due cromatidi di ogni cromosoma si separano (segregano) e perciò ciascuna delle quattro cellule che risultano dalla meiosi, porta una diversa combinazione di alleli.



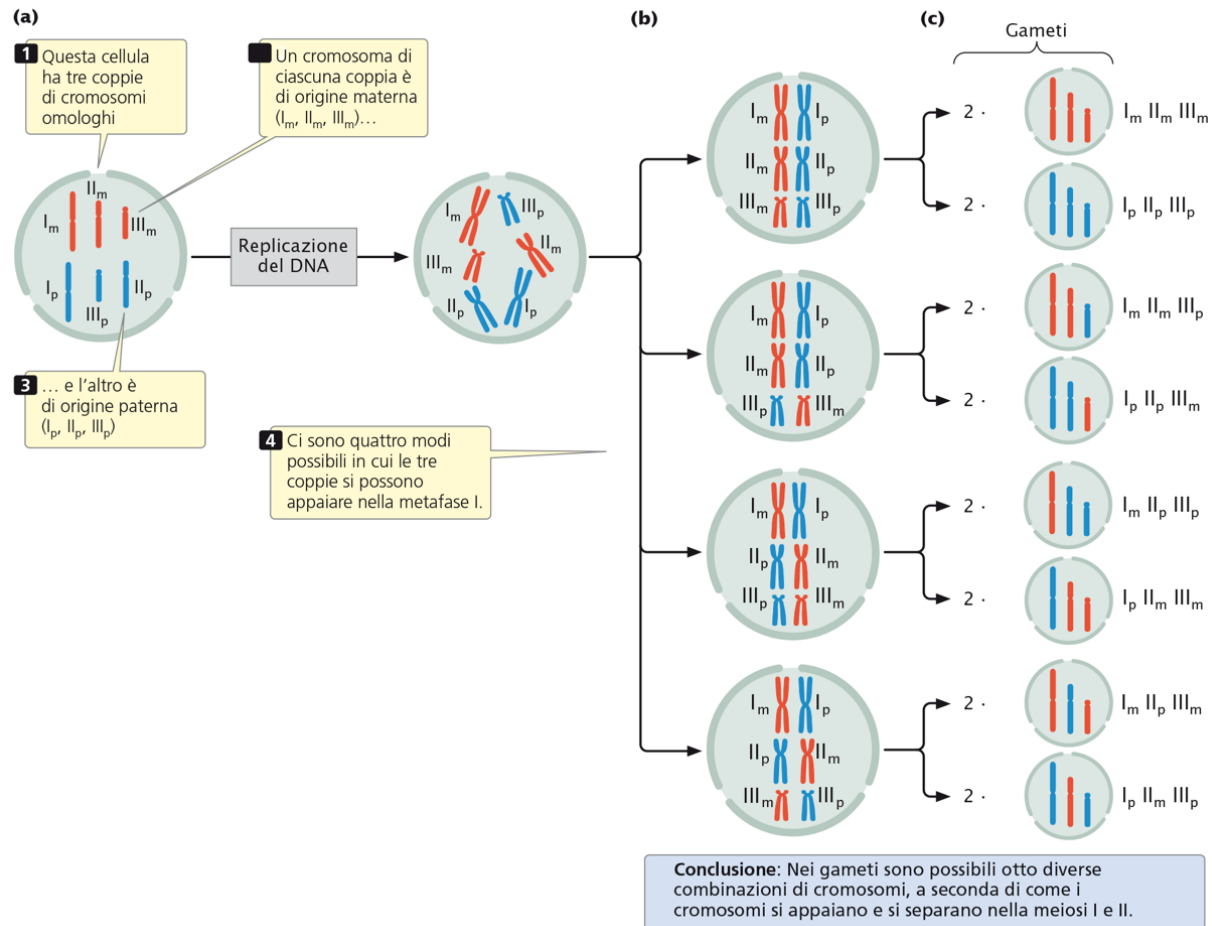
MEIOSI – ASSORTIMENTO INDIPENDENTE

Il secondo processo della meiosi che contribuisce alla variazione genetica è la distribuzione casuale di cromosomi che si verifica in anafase I, in seguito al loro allineamento casuale in metafase I.

Per spiegare questo processo, consideriamo una cellula con due coppie di cromosomi, I e II. Un cromosoma di ogni coppia è di origine materna (Im e IIm); gli altri derivano dal padre (Ip e IIp). Durante la metafase I le coppie di cromosomi si dispongono al centro della cellula e, in anafase I, i cromosomi di ogni coppia omologa si separano. Le modalità con cui ogni coppia di omologhi si allinea e si separa sono casuali e del tutto indipendenti da quelle delle altre coppie di cromosomi.

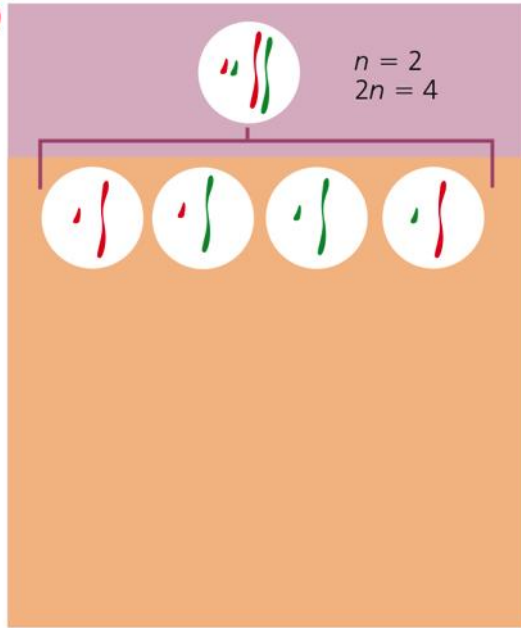


- Si hanno così $2^2 = 4$ possibili combinazioni cromosomiche e di tipi di gameti che possono essere prodotti a partire da una specifica cellula

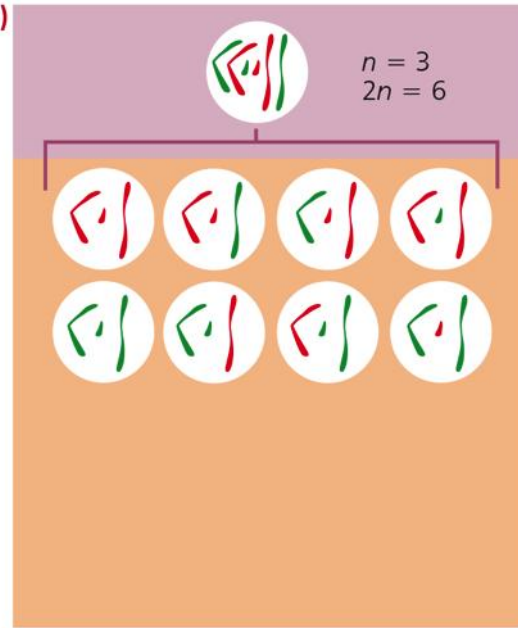


Si hanno così $2^3 = 8$ possibili combinazioni cromosomiche e di tipi di gameti che possono essere prodotti a partire da una specifica cellula

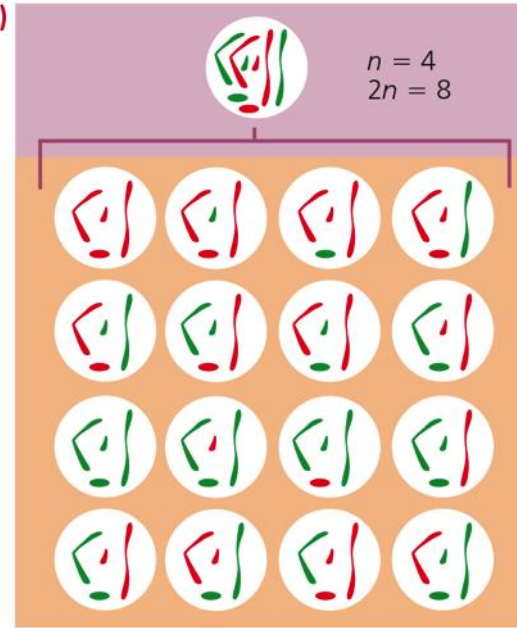
(a)



(b)



(c)



Aumentando il numero di coppie di cromosomi, cresce rapidamente anche il numero di combinazioni possibili. Nell'uomo, che ha un corredo di 23 coppie di cromosomi, grazie alla separazione casuale dei cromosomi omologhi.

- Si hanno così $2^N = 2^{23} \rightarrow 8,4$ milioni di possibili combinazioni cromosomiche e di tipi di gameti che possono essere prodotti a partire da una specifica cellula
- Crossing over + assortimento indipendente \rightarrow Variabilità genetica

LE RAGIONI DELLA VARIABILITA' GENETICA

LA RIPRODUZIONE SESSUATA GENERA VARIABILITA' GENETICA

- CROSSING OVER

 - cromosomi ricombinanti

- ASSORTIMENTO INDIPENDENTE DEI CROMOSOMI NEI GAMETI

 - 8 milioni di possibili gameti diversi a partire da una singola cellula progenitrice

- FECONDAZIONE CASUALE

 - 8 milioni x 8 milioni = 70 miliardi di combinazioni !

Riproduzione asexuata e riproduzione sessuale

La riproduzione asexuata è un processo nel quale non intervengono delle cellule sessualmente specializzate (i gameti).

È molto frequente nelle piante e perciò viene detta anche riproduzione vegetativa.

La riproduzione asexuata è basata sulla mitosi, che produce copie delle cellule originali.

Pertanto, la prole generata per via asexuata risulta geneticamente identica ai genitori ed è quindi costituita da cloni. Tale riproduzione permette agli organismi isolati o che vivono fissati a un substrato di riprodursi senza dover incontrare un altro organismo della stessa specie.

Riproduzione asexuata e riproduzione sessuata

La riproduzione asexuata si verifica quando una parte dell'organismo si distacca per dare origine a un nuovo organismo indipendente. Questo può avvenire in tre modi differenti.

- 1) La riproduzione per scissione si ha quando un organismo si divide e origina due o più parti di dimensioni simili. La scissione è tipica di molti organismi unicellulari e di diversi invertebrati acquatici come gli cnidari (per esempio gli anemoni di mare).



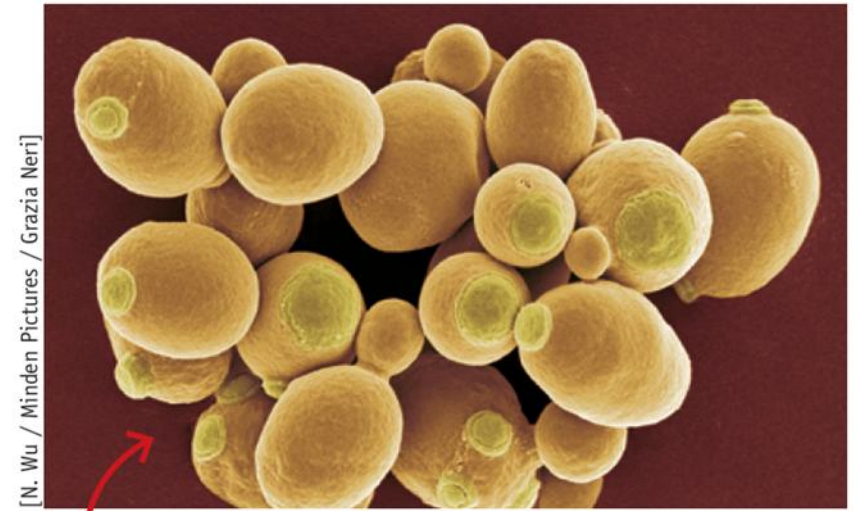
[Dr. J. Brackebury / SPL / Contrasto]

Questi ~~due~~ anemoni di mare si stanno separando per **scissione**. Gli individui sono identici e non è possibile riconoscere figlio e genitore.

Riproduzione asexuata e riproduzione sessuata

La riproduzione asexuata si verifica quando una parte dell'organismo si distacca per dare origine a un nuovo organismo indipendente. Questo può avvenire in tre modi differenti.

- 2) Nella gemmazione, invece, il nuovo individuo si sviluppa sul corpo del genitore e si stacca solo dopo essersi completamente formato. La gemmazione è tipica degli organismi unicellulari quali alghe, protozoi e lieviti.



[N. Wu / Minden Pictures / Grazia Neri]

Cellule di lievito sulla cui superficie stanno crescendo per **gemmazione** delle cellule figlie.

Riproduzione asexuata e riproduzione sessuata

La riproduzione asexuata si verifica quando una parte dell'organismo si distacca per dare origine a un nuovo organismo indipendente. Questo può avvenire in tre modi differenti.

- 3) La frammentazione avviene qualora un individuo si divida in numerose parti ciascuna delle quali dà origine ad un nuovo organismo. Questo tipo di riproduzione è caratteristico di alcuni gruppi di animali dotati di notevoli capacità di rigenerazione, come i poriferi e gli echinodermi.



[Dr. J. Brackebury / SPL / Contrasto]

Questa stella marina si sta riproducendo per **frammentazione**: è cioè in grado di generare un individuo completo a partire da un braccio che si è staccato dal corpo di un altro individuo.

Un vantaggio della riproduzione asexuata è rappresentato dal fatto che, attraverso il processo di mitosi, è possibile riprodurre il patrimonio genetico con rapidità e precisione. Ciò permette di generare un gran numero di nuovi individui con un notevole risparmio di tempo ed energia rispetto alla riproduzione sessuata.

Il principale svantaggio della riproduzione asexuata è rappresentato dal fatto che essa origina popolazioni costituite da individui geneticamente uniformi.

Una popolazione con queste caratteristiche potrebbe, in caso di cambiamenti ambientali sfavorevoli, presentare delle difficoltà a sopravvivere e a riprodursi e quindi rischiare l'estinzione.

LA RIPRODUZIONE SESSUATA: VANTAGGI E SVANTAGGI

I **vantaggi della riproduzione sessuale** sono relativi al maggiore scambio genetico tra individui diversi. Nella [riproduzione asexuata](#), la variabilità genetica è minima poiché questo tipo di riproduzione prevede la modifica a livello del DNA soltanto attraverso episodi casuali. La riproduzione sessuata, invece, aumenta lo scambio genetico poiché, durante la maturazione dei gameti, nella fase del crossing-over avviene uno scambio di piccoli frammenti di informazione genetica tra i cromosomi materni e i cromosomi paterni.

In sintesi, la riproduzione sessuata permette alle nuove generazioni la evoluzione, giacché - attraverso il rimescolamento genetico - i nuovi individui possono acquisire delle variabilità genetiche che risultano utili per la "selezione naturale".

LA RIPRODUZIONE SESSUATA: VANTAGGI E SVANTAGGI

Svantaggi della riproduzione sessuata

Gli svantaggi principali consistono nel fatto che il genitore che si riproduce sessualmente fornisce metà del patrimonio genetico, al contrario di quanto avviene per le specie asessuali in cui ciascun genitore trasmette il 100% del proprio genoma.

Inoltre, esiste la concreta possibilità che durante la formazione del gamete possano avvenire degli errori di natura strutturale, ad esempio rottura del DNA, o di natura cromosomica, ad esempio formazione di gameti con un assetto cromosomico aberrante (diandria, digenia).

non tutti gli individui possono produrre la propria progenie (solo le femmine) e questo abbassa il tasso di crescita della popolazione.

Infine, non tutti gli individui possono produrre la propria progenie (solo le femmine) e questo abbassa il tasso di crescita della popolazione.

Cosa dunque ha favorito in diversi organismi una modalità riproduttiva più costosa e svantaggiosa?

IL PERCHÉ:

la possibilità di prevenire l'accumulo di mutazioni leggermente deleterie all'interno del genoma: nelle specie asessuate, infatti, una mutazione che avviene in un genitore si trasmette identica nella prole. Questo processo, prolungato nel tempo, potrebbe condurre alla presenza nelle sequenze di DNA di numerose mutazioni deleterie e compromettere la sopravvivenza. D'altro canto, la riproduzione sessuale porterebbe alla ricombinazione di questi genotipi: in questo modo, verrebbero a crearsi individui portatori di numerose mutazioni leggermente deleterie che sarebbero fortemente svantaggiati, quindi eliminati dalla popolazione, e altri con poche o nessuna mutazione. In sostanza, il sesso avrebbe come effetto la diluizione delle mutazioni all'interno della popolazione e la controselezione dei portatori di più mutazioni leggermente deleterie.

Cosa dunque ha favorito in diversi organismi una modalità riproduttiva più costosa e svantaggiosa?

IL COME (?):

i ricercatori hanno analizzando le origini della meiosi, le sue fasi e il modo in cui queste variano in natura, investigando l'idea che alcune fasi si conservino con variazioni minime in tutti gli eucarioti, in quanto fondamentali per la loro sopravvivenza e fertilità, mentre l'espressione di altre funzioni sia facoltativa e dipendente dal contesto.

Nel normale ciclo di vita delle cellule eucariote, il DNA viene quasi inevitabilmente danneggiato; tra le cause di questi danni vi sono forme reattive dell'ossigeno che si vengono a creare durante la respirazione cellulare ad opera dei mitocondri, tipica degli eucarioti. Queste molecole reattive producono lesioni da stress ossidativo, come rotture del doppio filamento e altri danni fisici; perciò, per le cellule eucariote è essenziale dotarsi di uno o più meccanismi di riparazione. Si pensa che la pressione selettiva che ha favorito la diffusione della meiosi sia proprio quella di sfruttare l'appaiamento con una molecola omologa di DNA per permettere la riparazione di danni e rotture alla doppia elica usando la molecola omologa come "stampo". È stato osservato che questo processo migliora di molto la qualità del DNA nei discendenti.