

La replicazione del DNA: meiosi (parte 1)

Il significato genetico della meiosi

La meiosi è un processo di divisione mediante il quale una cellula eucariotica con corredo cromosomico diploide dà origine a quattro cellule con corredo cromosomico aploide. Ovvero da una cellula madre si formano quattro cellule figlie, tutte diverse fra loro. Potrebbe sembrare molto simile alla mitosi ma, al contrario di questa, si ha la riduzione da corredo in doppia copia a corredo a semplice copia, e tramite il cosiddetto crossing-over (incrocio esterno), si ha lo scambio e la ricombinazione genetica, che poi sta alla base dell'evoluzione. La meiosi è fondamentale nella riproduzione sessuale, la ricombinazione dell'informazione genetica proveniente dalle cellule di due organismi differenti (uomo e donna) produce risultati ogni volta diversi, e naturalmente diversi anche dai due genitori. Ogni genitore fornisce un corredo cromosomico aploide (detto anche dimezzato), cellula uovo nella femmina e spermatozoo nel maschio; la fusione (fecondazione) dei due corredi dimezzati (materno e paterno) e rimescolati ricostituisce il corredo intero e dà origine ad una singola nuova cellula, detta zigote, che diverrà il nuovo individuo. Ad una duplicazione del materiale genetico, che avviene nella fase pre-meiotica S, corrispondono due divisioni nucleari:

- Fase riduzionale: prima divisione meiotica o meiosi I.
 - Fase equazionale: seconda divisione meiotica o meiosi II.
-
- ❖ Fase meiotica S o interfase I: avviene la duplicazione del materiale genetico: da ogni cromosoma risultano due cromatidi fratelli identici, attaccati in corrispondenza dei centromeri mediante molecole di coesina.
 - ❖ Meiosi I: prima fase della meiosi.
 - ❖ Profase I: la meiosi I si apre con la profase, un processo più lungo e complicato della profase mitotica. Si suddivide in 5 stadi:
 - leptotene, in cui il materiale genetico si condensa a formare strutture bastoncellari in forma di filamenti sottili, allungati, non scissi longitudinalmente;
 - zigotene, durante il quale avviene la sinapsi dei cromosomi omologhi a formare una struttura denominata bivalente (o tetrade o duplex). L'appaiamento dei cromosomi

omologhi avviene grazie ad una struttura submicroscopica proteica, il complesso sinaptonemale;

- pachitene: precoce, in cui si completa l'appaiamento degli omologhi, avanzato, in cui i cromosomi si accorciano, si inspessiscono e avviene il crossing-over, che però ancora non si nota;
- diplotene: in questo stadio i cromosomi omologhi di ciascun bivalente cominciano a separarsi (desinapsi), soprattutto a livello del centromero, per la progressiva scomparsa del complesso sinaptonemale. Tuttavia i due cromatidi di ciascuna coppia di omologhi restano in contatto grazie a connessioni chiamate chiasmi, segni visibili dell'avvenuto crossing-over;
- diacinesi, nel corso del quale i cromosomi completano la loro condensazione e sono chiaramente visibili. Ormai è ben formata la tetrade o bivalente e avviene la dissoluzione della membrana nucleare e del nucleolo.

Durante la profase I, inoltre, si sviluppa il fuso, costituito da due coppie di centrioli, situate ai poli opposti della cellula, da cui fuoriescono fibre di microtubuli. Tali fibre agganciano i cromosomi mediante il cinetocore, una piastra proteica situata a livello del centromero. La profase I può durare per giorni o anche più a lungo e occupa il 90% del tempo richiesto per quasi tutta la divisione meiotica.

- ❖ Metafase I: le fibre del fuso si collegano ai cromosomi: ogni cromosoma, diviso in 2 cromatidi tenuti insieme dal centromero, è legato tramite gli aster alle fibre del fuso.
- ❖ Anafase I: a differenza dell'anafase mitotica, durante questa fase i cromatidi fratelli restano attaccati per mezzo dei centromeri, mentre i cromosomi omologhi si staccano e migrano ai poli opposti della cellula. In questo modo si ha un corredo cromosomico aploide proprio perché sono gli omologhi parentali a separarsi.
- ❖ Telofase I: la telofase I può variare a seconda della specie. In seguito alla migrazione dei cromosomi omologhi verso i poli opposti della cellula, si può verificare la formazione della membrana nucleare e la citodieresi con la conseguente scissione cellulare, come avveniva nella mitosi; oppure vi è la semplice migrazione dei cromosomi senza scissione.
- ❖ Interfase: in alcuni casi, terminata la meiosi I, può avvenire l'interfase (o intercinesi) in cui i cromosomi si despiralizzano; in molte specie si passa invece direttamente dalla telofase I alla profase II.

- ❖ Meiosi II: la seconda divisione meiotica è quasi identica alla mitosi, infatti genera due cellule aploidi, invece che diploidi, perché non è preceduta da un ciclo cellulare adeguatamente fornito di fase S, e quindi avviene in presenza di un corredo cromosomico n invece che $2n$.
- ❖ Profase II: compaiono nuovamente le fibre del fuso che agganciano i cinetocori dei cromosomi. Nel caso si sia verificata una scissione durante la telofase I, la membrana nucleare si dissolve affinché i microtubuli del fuso possano attaccarsi ai cromosomi.
- ❖ Metafase II: i cromosomi si toccano sulla piastra equatoriale; ogni cromosoma è costituito da due cromatidi fratelli.
- ❖ Anafase II: i centromeri dei cromosomi dei cromatidi fratelli si staccano e i cromatidi si dividono, migrando ai poli della cellula.
- ❖ Telofase II: ai poli opposti della cellula si cominciano a formare i nuclei e avviene la citodieresi, con la conseguente scissione cellulare e i microtubuli del fuso scompaiono. I quattro nuclei contengono un numero aploide di cromosomi.

Ricapitolando: nella meiosi si passa da una cellula immatura con patrimonio genetico (corredo cromosomico) diploide $2n$ con contenuto di cromatina $4C$ a quattro cellule mature aploidi n con contenuto di cromatina $1C$.

- ❖ Sinapsi e crossing-over: la sinapsi è quel processo mediante il quale i cromosomi omologhi si mettono in coppia durante la profase I. Ciascun cromosoma è formato da due cromatidi, e quindi quattro cromatidi formano una tetrad. In seguito alla sinapsi degli omologhi può avvenire il crossing-over, un processo mediante il quale i cromosomi omologhi si scambiano parti equivalenti, determinando nuove combinazioni di geni. Il risultato visibile del crossing over è una struttura a croce chiamata chiasma. In ciascun chiasma i cromosomi omologhi possono scambiarsi segmenti di cromatidi.

Meiosi umana

Nell'essere umano, come negli altri organismi aventi una riproduzione sessuata, i gameti prima di giungere a maturazione completa, e quindi pronti per la fecondazione, subiscono le due divisioni meiotiche al fine di dimezzare il corredo diploide e renderlo aploide.

- Nell'uomo avviene la spermatogenesi, al termine della quale giunge a piena maturazione lo spermatozoo, il gamete maschile:

spermatogonio → spermatocita I → spermatocita II → spermatidi → spermatozoo

- Nelle donne avviene l'ovogenesi, al termine della quale giunge a piena maturazione l'ovulo, il gamete femminile:

ovogonio → ovocita I → ovocita II → corpuscolo polare → ovulo + 3 corpuscoli polari (che verranno poi degenerati).

Ovviamente nelle cellule somatiche (si intendono per somatiche le normali cellule del soma (corpo) con corredo diploide e non coinvolte quindi nella produzione dei gameti) questi processi non avvengono. La loro riproduzione segue infatti un sistema di duplicazione semplice detto mitosi.