

## Meiosi

### Corredo cromosomico

La meiosi interessa gli eucarioti che si riproducono per via sessuata. È un processo di divisione a carico di cellule che sono sempre diploidi in partenza e che quando si riproducono formano cellule figlie il cui corredo cromosomico è dimezzato. Quindi partendo da un corredo cromosomico  $2n$  si ottiene un corredo  $n$ .  $2n$  significa che all'interno della cellula si hanno due rappresentanti per ogni tipo di cromosoma. In metafase sono osservabili i cromatidi fratelli, cioè il cromosoma che ha duplicato il proprio materiale genetico. La coppia di cromosomi formati da due cromatidi fratelli che contengono l'informazione per lo stesso gene prende il nome di cromosomi omologhi. Sono detti omologhi poiché presentano sequenze nucleotidiche quasi uguali nello stesso locus genico, anche se possono essere versioni leggermente diverse. Quindi il prodotto finale di entrambi, proteina o rna, svolgerà la stessa funzione. Se variano le sequenze nucleotidiche tra le due coppie cromosomiche avrò prodotti funzionali diversi, ad esempio un enzima che è funzionalmente migliore o meno.

Una cellula è aploide quando ha un solo rappresentante per cromosoma, quindi i geni sono presenti una volta sola all'interno dell'organismo cellulare. Il numero totale dei cromosomi all'interno di un individuo è detto corredo cromosomico. L'assetto genetico, che corrisponde all'insieme degli alleli presenti per ogni gene e presiede all'espressione dei caratteri somatici, prende il nome di genotipo. Le forme alternative di uno stesso gene sono dette alleli. Il concetto di forma alternativa significa che le sequenze geniche possono differire anche per pochi nucleotidi, ottenendo prodotti funzionali diversi che comunque regolano lo stesso tipo di gene. Se nella coppia dei cromosomi omologhi l'allele di un gene è lo stesso ripetuto due volte l'assetto genotipico è detto omozigote, se invece la coppia allelica è diversa l'assetto genotipico è detto eterozigote. Non tutti i geni seguono le leggi mendeliane di dominanza e recessività, che riguardano tratti genetici dipendenti da un solo gene. Secondo la teoria della eredità mendeliana un bambino che riceve un allele dominante da uno dei due genitori, avrà la forma dominante del tratto stesso; soltanto quelli che hanno ricevuto l'allele recessivo da entrambi i genitori si presentano con il fenotipo recessivo. Questi tratti puramente mendeliani sono una piccola minoranza di tutti i tratti, dato che la maggior parte dei tratti fenotipici mostra dominanza incompleta, codominanza e contributi da molti geni. Infatti il fenotipo recessivo può teoricamente saltare qualsiasi numero di generazioni, restando latente nell'eterozigote degli individui "portanti" fino a quando essi non hanno figli con qualcuno che possiede anche l'allele recessivo ed entrambi li trasmettono ai loro figli.

## Mitosi e meiosi

Nell'assetto diploide un cromosoma è ereditato dalla madre e uno dal padre. Quindi nei gameti viene distribuito un solo rappresentante di ogni cromosoma.

Per mitosi nel nostro organismo si creano cellule figlie che hanno lo stesso assetto cromosomico della cellula madre. Nel caso dell'essere umano quindi con la replicazione del materiale genetico si passa da 46 cromosomi a 92, che vengono ridistribuiti equamente tra le due cellule figlie. La mitosi è la modalità riproduttiva delle cellule somatiche negli organismi eucarioti a riproduzione sessuata. Invece la meiosi, modalità riproduttiva delle cellule germinali, ha lo scopo di creare cellule con un corredo cromosomico aploide, dette gameti. Queste, unendosi, danno origine ad un nuovo individuo diploide. Quindi si passa da 46 cromosomi a 23, separando le coppie dei cromosomi omologhi in cellule che quindi diventano aploidi; ciò è un processo di differenziamento cellulare. Tramite l'unione dei due gameti si torna ad un organismo con 46 cromosomi, lo zigote.

## Meiosi

La meiosi, come la mitosi, presenta una fase g1 in cui la cellula sintetizza tutto il materiale necessario per la replicazione, come ad esempio gli organelli, fino ad entrare in fase s, dove si ritrovano tutti i 46 cromosomi formati da una sola molecola di dna. Quindi in questa fase la dna polimerasi replica tutto il materiale genetico, ottenendo così una doppia copia di ogni cromosoma. La struttura è visibile in metafase e prende il nome di cromosoma metafasico, elemento costituito da due cromatidi fratelli uniti dal centromero, che presenta una placca proteica del cinetocore per ogni cromatidio.

La meiosi ha una sola fase s di replicazione del dna, che è seguita da due consecutive divisioni cellulari senza un'ulteriore replicazione.

Una cellula che si sta per riprodurre per meiosi è almeno una cellula diploide. Una cellula aploide non andrà mai incontro a meiosi, perché non avrebbe materiale genetico sufficiente per dimezzare il proprio corredo cromosomico. Inoltre non si può mai parlare di ciclo meiotico, poiché la cellula si differenzia quando si divide per meiosi, formando il gamete. Quest'ultimo non andrà mai incontro a meiosi poiché aploide. Il gamete è quindi il prodotto finale della divisione meiotica di una cellula germinale.

## Cariotipo

Il cariotipo è l'analisi del corredo cromosomico di un individuo, svolta nel momento in cui le cellule sono in metafase. Ad esempio in villocentesi o amniocentesi le cellule prelevate vengono messe in coltura e bloccate in metafase; poi se ne estraggono i cromosomi, colorati con varie colorazioni e

manipolati così da sistemarli a coppie di omologhi. Gli omologhi possono essere riconosciuti poiché reagiscono al colorante presentando bandeggi uguali. Una coppia di cromosomi omologhi è metà di derivazione materna e metà paterna; quindi ciascuno dei genitori contribuisce con un cromosoma. Risultano 22 coppie di cromosomi omologhi, detti autosomi, più la 23esima coppia, che è quella dei cromosomi sessuali, detti così perché contengono le informazioni per la determinazione e lo sviluppo del sesso dell'individuo. Per ogni tipo di gene ci sono due alleli, che quando sono nello stesso locus di due cromosomi ne determinano l'omologia.

### Meiosi degli eucarioti animali

Gli eucarioti animali sono caratterizzati da cellule somatiche che si riproducono per mitosi; soltanto le cellule della linea germinale vanno incontro a meiosi, al fine di produrre gameti con corredo cromosomico dimezzato. Il destino dei gameti di due individui di sesso diverso è di formare un nuovo individuo attraverso la fusione del materiale genetico di entrambi; questo nuovo organismo viene detto zigote e si sviluppa tramite divisioni mitotiche. La meiosi si presenta nel nuovo individuo solamente al momento della pubertà (maturità sessuale), quando le cellule germinali cominciano a dividersi sotto stimolo ormonale.

Con la meiosi I (divisione riduttiva) vengono separati i cromosomi omologhi. Infatti il fuso mitotico non separa i cromatidi come nella mitosi, ma i cromosomi omologhi. La meiosi 2 invece è una mitosi vera e propria, quindi prevede la divisione dei cromatidi, che diventeranno i cromosomi delle cellule figlie.

### Profase I

Oltre a dimezzare il corredo cromosomico la meiosi crea cellule riproduttive diverse a livello di sequenze nucleotidiche, portando variabilità genetica; quindi il genotipo risulta modificato. Questa modificazione è a carico di un evento che si realizza durante la profase I della prima divisione meiotica. Nella profase I il dna comincia a compattarsi, per poi andarsi a posizionare ai poli opposti della cellula. Viene suddivisa in cinque fasi: leptotene, zigotene, pachitene, diplotene, diacinesi; termini didattici per scandire i singoli eventi.

### Complesso sinaptonemale e crossing over

Oltre alla compattazione del dna si ha la formazione di un complesso proteico (sinaptonemale) che ha il compito di creare un contatto fisico, detto sinapsi, tra le coppie di cromosomi omologhi, cosa che non accade nella mitosi. È come una cerniera che si estende per tutta la lunghezza dei cromosomi, formando una struttura detta bivalente o tetrade, poiché per ogni coppia di omologhi uniti si hanno 4 molecole di dna. Il processo allinea i

locus genici che presentano tratti di dna complementari. Questi tratti, dopo la formazione di legami ad idrogeno, vengono riconosciuti da endonucleasi dette ricombinasi che tagliano il dna in questi punti e scambiano i segmenti delle due molecole di dna omologhe, ricombinandole. Così facendo il genotipo cambia. Questo evento di ricombinazione viene detto crossing over. Uno dei cromatidi fratelli di ciascun cromosoma non viene coinvolto e quindi rimane inalterato, così come è stato ereditato dalla madre o dal padre. Quindi alla fine si ottengono due molecole di dna, una identica a quella del padre e una a quella della madre per assetto genetico, e due modificate per ricombinazione. Pertanto si avranno due genotipi parentali e due ricombinanti. Dopo il crossing over il complesso sinaptonemale viene degradato e i due cromosomi rimangono fisicamente uniti solamente nei tratti dove è avvenuta la ricombinazione. Il punto di unione è detto chiasma. Più chiasmi ci sono più sono stati gli eventi di crossing over che hanno interessato i cromosomi. È il primo evento che crea variabilità genetica nel gamete. Nei chiasmi sono presenti proteine che mantengono unito il dna dei due cromosomi omologhi fino all'ingresso in metafase; è proprio questa unione che regola la modalità di separazione dei cromosomi. Il crossing over è stato osservato anche nei cromosomi sessuali, ma solamente nella coppia xx.

### Metafase I/meiosi II

Quindi in metafase si disgrega il nucleo cellulare e si forma il fuso mitotico con la stessa modalità della mitosi, tranne per il fatto che quando la cellula dispone i cromosomi lungo la piastra metafasica essi vengono trascinati in coppia per la presenza dei chiasmi. Infatti la struttura della tetrade impedisce alle fibre dei microtubuli del cinetocore di prendere contatto con il cinetocore interno di ciascun cromosoma omologo. In questo modo si ha la separazione dei cromosomi omologhi e non dei cromatidi fratelli. Inoltre le coesine centromeriche non vengono degradate nell'anafase della meiosi I, perdurando fino alla seconda divisione meiotica. Così tramite una prima citocinesi si formano due cellule figlie con un assetto cromosomico aploide. Esse possiedono 46 molecole di dna che però sono identiche a coppie (escluse le regioni in cui si è verificato il crossing over); quindi vi sono 23 cromosomi e 46 cromatidi fratelli, perciò l'assetto è già aploide dalla prima divisione meiotica. Non ci sono tratti sufficientemente complementari dati dal crossing over affinché rientrino in gioco le endonucleasi, così che si verifichi nuovamente un processo di ricombinazione. Perciò la cellula entra direttamente nella profase II della seconda divisione meiotica, consecutivamente alla prima. Quindi si ha un'altra divisione cellulare senza replicazione, perciò il dna non si despiralizza, rimanendo in forma compatta. A questo punto si riforma il fuso mitotico e i microtubuli del cinetocore prendono contatto con ciascuno dei cinetocori dei cromatidi fratelli, separandoli. Tramite un'altra citocinesi si formano quindi due cellule figlie

con corredo cromosomico aploide. Il processo di differenziamento a cui vanno incontro queste cellule, ad esempio nel caso dell'uomo, è detto gametogenesi. Quindi nella meiosi si ha solamente una replicazione e due divisioni, mentre nella mitosi una divisione è sempre preceduta da una replicazione.

### Assortimento indipendente

Un altro modo per creare variabilità genetica è l'assortimento indipendente, cioè la ridistribuzione casuale degli alleli posizionati su cromosomi non omologhi. È la disposizione degli omologhi lungo la piastra metafase che determina il modo in cui i cromosomi verranno spartiti nelle cellule figlie. Ad esempio per due coppie di omologhi si può avere una disposizione che presenta tutti e due i cromosomi paterni rivolti verso un polo della cellula e quelli materni verso l'altro, oppure entrambi rivolti verso lo stesso polo. Ciò ovviamente senza considerare l'evento di crossing over, e quindi presentando solo le coppie paterne e materne e non gli elementi ricombinati che introducono altre combinazioni. Quindi con l'assortimento indipendente si ottengono assetti genotipici diversi per i gameti. L'assortimento non è indipendente se i geni considerati sono associati, cioè localizzati sullo stesso cromosoma; questi ultimi non dovrebbero segregare indipendentemente ma "viaggiare" insieme a formare l'assetto cromosomico dei gameti. Nonostante ciò la ricombinazione tra cromatidi non fratelli (crossing over) durante la profase I agisce rimescolando fra loro loci di origine materna e di origine paterna garantendo una segregazione indipendente di alleli sufficientemente distanti tra loro all'interno del cromosoma da essere interessati dalla ricombinazione. I sette caratteri di *Pisum sativum* utilizzati negli esperimenti di Mendel effettivamente segregavano indipendentemente, ma esperimenti successivi condotti su un altro organismo modello, la *Drosophila melanogaster*, hanno dimostrato che sebbene la maggior parte dei caratteri segregano indipendentemente, alcuni sono tra loro in linkage, cioè legati, perché si trovano sufficientemente vicini sullo stesso cromosoma da non essere separati per effetto della ricombinazione.

L'assortimento indipendente va considerato per tutte le coppie di cromosomi omologhi del nostro organismo. Quindi ci sono due tipi di disposizioni per 23 coppie di cromosomi omologhi; perciò si ottengono  $2^{23}=8.388.608$  gameti diversi, escluso il crossing over, che incrementa ulteriormente la variabilità genetica. La fecondazione, cioè la fusione dei gameti di due individui diversi, offre un numero di zigoti diversi dal punto di vista genetico praticamente infinito:  $8.388.608 \times 8.388.608 =$  oltre 70.369 miliardi

### Mutazioni genomiche

La meiosi può andare incontro ad errori. Anche se è regolata da meccanismi di controllo, quando questi non funzionano si possono creare cellule mutate,

sia per errori del crossing over sia per la distribuzione di cromosomi nell'anafase I e II, che portano ad un malfunzionamento del fuso mitotico; un esempio è la non disgiunzione dei cromosomi.

Ciò può causare una variazione dell'assetto cromosomico dei gameti, che possono essere monosomici o diploidi per un cromosoma; si ha pertanto un modificazione del numero (guadagno o perdita) di alcuni cromosomi nei gameti. Questo si ripercuote sullo zigote, poiché quando un gamete mutato si fonde con un altro, la cellula neocostituita risulta avere un cromosoma in più o in meno per una delle 23 coppie. Perciò si presenta una situazione di trisomia o monosomia per un determinato cromosoma. Queste variazioni sono dette aneuploidie, per cui un cromosoma ha assetto aploide o triploide. Considerando due coppie di cromosomi omologhi, se l'errore occorre in meiosi I e una coppia di omologhi non si separa, si avrà una cellula figlia con due cromosomi mentre l'altra con sei; si otterranno quindi due gameti che con assetto diploide per un cromosoma, che negli altri due sarà assente. Invece se l'errore avviene in meiosi II si ottengono due dei quattro gameti regolarmente aploidi; uno dei due rimanenti presenterà diploidia per un cromosoma, che nell'altro sarà assente. Quindi fondendo un gamete  $n+1$  per un cromosoma assieme ad un altro si forma uno zigote diploide per tutti i cromosomi tranne che per uno, che presenterà una trisomia. Al contrario, un gamete  $n-1$  porterà alla formazione di uno zigote diploide per tutti i cromosomi tranne che per uno, che presenterà una monosomia. La trisomia 21 presenta tre molecole di dna sul cromosoma 21, quindi il cariotipo dell'individuo è 47.

Gli errori che avvengono in suddivisione meiotica, soprattutto durante la I, aumentano con l'avanzare dell'età. Ciò accade perché le cellule rimangono per molto tempo nell'apparato riproduttivo, e possono quindi subire danni. Aborti per distacco dello zigote dall'utero sono solitamente causati dalle trisomie. Nel caso della 18 è consigliato l'aborto terapeutico se ciò non accade perché i bambini non raggiungono l'anno di vita. La 13 prospetta un'aspettativa di vita ridotta, anche se nella maggior parte dei casi l'aborto è spontaneo.

Ci sono anche trisomie compatibili con la vita, in cui gli individui ad esempio sono di grande statura, e sono state riscontrate nei giocatori di basket o di pallavolo.

La monosomia del cromosoma x, che interessa le donne, è associata alla sindrome di Turner, che causa problemi a livello dell'apparato riproduttivo. Gli affetti sono individui sterili con gonadi abbozzate e caratteri sessuali secondari non sviluppati. Nascono raramente perché solitamente le madri vanno incontro ad aborto. In questo caso l'errore è di origine paterna, e risale alla formazione degli spermatozoi, che presenta un ritardo del fuso in meiosi II nel separare i cromosomi tra loro. Questo fenomeno è detto lag anafasico. I microtubuli si accorciano troppo lentamente e un cromosoma rimane nel citoplasma venendo degradato; risulta quindi mancante in uno dei due gameti.

## Gametogenesi

La gametogenesi consiste in una divisione meiosi unita ad un processo di differenziamento. La meiosi presenta delle differenze tra sesso maschile e femminile. Nel maschio si parte da cellule germinali diploidi presenti nei testicoli che si dividono per meiosi; si ottengono quindi 4 cellule aploidi che vanno incontro a spermiogenesi, trasformandosi in spermatozoi.

Nella donna invece si parte da una cellula diploide che si divide per meiosi, ma le due cellule figlie ottenute sono diverse poiché la citodieresi è asimmetrica. Quella piccola è detta globulo polare; tende ad essere distrutta subito o dopo un'altra divisione, per cui è abortiva. Invece la cellula più grande va incontro alla seconda divisione meiotica e ad un'altra citodieresi asimmetrica. Quindi nel caso della donna si parte da una cellula diploide per ottenere una cellula sola aploide funzionante.

Nel maschio le cellule germinali si formano in fase embrionale nei tubuli seminiferi, trasformandosi poi in cellule staminali spermatogoniche. Il processo di formazione degli spermatozoi è detto spermatogenesi. Queste cellule staminali si dividono in fase puberale sotto stimolo ormonale; da una cellula staminale se ne ottengono un'altra staminale e una indirizzata alla formazione degli spermatozoi (spermatogonio). Questa, dividendosi per mitosi, darà origine a due cellule dette spermatociti primari che cominceranno il processo di divisione meiotica, seguito da quello di differenziamento (spermiogenesi). Per la presenza delle staminali l'uomo è quindi fertile per tutta la vita, esclusi problemi ormonali.

La spermiogenesi consiste nel trasformare gli spermatidi ottenuti dalla divisione meiotica degli spermatociti (primari e secondari) in una cellula altamente specializzata, lo spermatozoo, espellendo tutti gli organuli inutili e formando l'appendice motoria che è il flagello. Il dna cellulare inoltre viene ipercondensato grazie alla sostituzione di istoni con proteine più basiche dette protammine; la parte basica della testa viene circondata da una struttura neosintetizzata detta acrosoma, vescicola derivante dall'apparato di Golgi che contiene enzimi lisosomiali, i quali andranno a creare delle aperture nella cellula uovo per potervi riversare il materiale genetico (durante la fecondazione, anche il corpo basale dello spermatozoo viene trascinato all'interno del citoplasma della cellula uovo). Nel tratto intermedio dello spermatozoo c'è un unico mitocondrio specializzato, avvolto a spirale attorno alla cellula, necessario per soddisfare il fabbisogno energetico richiesto dal movimento del gamete.

## Spermatogenesi

La spermatogenesi, negli eucarioti animali di sesso maschile, inizia con la pubertà, quando comincia ad esserci la produzione di ormoni specifici che vanno ad influenzare le gonadi maschili in maniera mirata. L'ormone

principale che stimola la spermatogenesi è il testosterone, presente quando nella pubertà si attiva l'ipotalamo, il quale a sua volta, secernendo GnRH (fattore di rilascio delle gonadotropine, cioè gli ormoni delle gonadi, induce l'ipofisi a produrre gli ormoni luteinizzanti (luteine) e follicolo stimolanti (i soliti degli individui di sesso femminile). A livello dei testicoli si stimola quindi la produzione di testosterone, che induce la spermatogenesi. Il processo è regolato tramite feedback negativo: se la concentrazione di testosterone è troppo alta viene segnalata all'asse ipotalamo-ipofisi. Se l'asse funziona nel modo corretto, l'uomo è fertile per tutta la vita poiché le staminali possono dividersi sotto stimolo ormonale senza problemi.

## Oogenesi

Nell'individuo di sesso femminile avviene l'oogenesi, cioè la produzione di oogoni diploidi dalle cellule germinali primordiali, che comincia con lo sviluppo embrionale come nel maschio. La differenza è che nella femmina si distingue una fase embrionale e una fase post-pubertà. Durante lo sviluppo embrionale si formano gli oogoni che vanno incontro a meiosi, processo che nel maschio accade con la pubertà. Quindi con lo sviluppo embrionale le femmine sviluppano gli oociti primari dalle loro cellule germinali; questi si fermano in profase I della mitosi. Quindi la femmina nasce con il corredo riproduttivo fermo in profase I, senza la presenza delle staminali. È questo il motivo per cui la donna non è fertile per tutta la vita. La fertilità è raggiunta con la pubertà, e quindi ogni 28 giorni le cellule finiscono la meiosi I, ed alcune entrano in meiosi II, processo completato solamente se avviene la fecondazione. Perciò dopo una fase di fertilità la donna va in menopausa, e non è più in grado di fare meiosi per mancanza di staminali. Ogni 28 giorni una o due cellule completano la meiosi I; una diventa quindi un oocita secondario e l'altra un globulo polare. L'oocita entra pertanto in meiosi II, e si verifica una nuova divisione asimmetrica che ha come risultato una sola cellula aploide. La formazione dell'oocita primario avviene a livello delle ovaie in fase embrionale, e viene poi conservato in strutture protettive dette follicoli. Questi sono riuniti in pool che, al momento della pubertà, verranno stimolati tramite ormoni; il follicolo dominante del pool maturerà fino ad aprirsi, rilasciando la cellula uovo matura. Questo processo è detto ovulazione, ed avviene ogni 28 giorni. Parallelamente all'oogenesi (ciclo ovarico) c'è anche un processo detto ciclo uterino, cioè l'influenza sul tessuto (endometrio) che può ospitare l'oocita fecondato. Quando la femmina nasce presenta gli oociti primari fermi in meiosi I nei follicoli, strutture specializzate in cui vi è un solo oocita primario circondato da cellule che, stimolate dagli ormoni, nutrono gli oociti. Questi completano la meiosi I, trasformandosi in oociti secondari che vanno incontro a meiosi II, processo che si arresta in metafase. Il follicolo viene quindi rotto da enzimi litici. Pertanto l'oocita secondario viene riversato nelle tube di falloppio, in cui finisce la metafase II entrando in anafase II e completando la meiosi II. Se

avviene la fecondazione si forma lo zigote, che dopo essersi diviso più volte ed aver assunto la forma di blastocisti, va ad annidarsi nell'endometrio. Il follicolo, ad ogni ciclo mestruale (in previsione di una possibile gravidanza), si riorganizza nel corpo luteo, struttura che funziona da ghiandola endocrina. Questo secreta estrogeni e progesterone, ormone che induce la vascolarizzazione dell'utero e il mantenimento dell'endometrio. Inoltre questi ormoni inibiscono l'asse ipofisi ipotalamo per evitare un nuovo ciclo ovarico. Se la fecondazione non avviene si verifica la degenerazione dell'endometrio con il fenomeno delle mestruazioni, tramite le quali viene espulso anche l'ovocita non fecondato, che compie lo stesso percorso (dalle tube fino all'utero) di quello fecondato.

Le aneuploidie sono spesso di origine materna, dovute a una non disgiunzione che può accadere sia nella meiosi I che nella II. Questo perché al contrario dell'uomo, in cui c'è un continuo ricambio di cellule riproduttive, la donna porta le stesse cellule riproduttive all'interno del corpo per tutta la vita finché non ha un figlio. Quindi più la donna invecchia più c'è probabilità che sulle cellule si accumulino errori causati da stimoli o condizioni ambientali sfavorevoli, errori che possono ripercuotersi sulla riproduzione.

## Fecondazione

La fecondazione consiste nel raggiungimento da parte di più spermatozoi dell'ovocita secondario fermo in metafase. Solitamente uno solo riesce a penetrare all'interno dell'ovocita, che completa la meiosi II. Così dall'unione del materiale genetico dei due gameti si forma una nuova cellula, detta zigote, che possiede un patrimonio genetico diploide. Lo zigote eredita tutto il patrimonio citoplasmatico dalla cellula uovo della madre, mentre dal padre solamente quello genetico. La cellula uovo è così grande perché altrimenti non avrebbe le risorse necessarie per andare incontro a meiosi. Le malattie mitocondriali sono sempre ereditate dalla madre per questo motivo, anche se in certi casi è stato riscontrato che possono essere trasmesse anche dagli spermatozoi.

Lo zigote neoformato va incontro a mitosi. Esso è considerato l'unica cellula staminale totipotente, poiché è in grado di differenziarsi in ogni tessuto embrionale ed extra embrionale. Una volta impiantato nell'utero perde la sua totipotenza e diventa pluripotente. Si formano quindi i tre foglietti embrionali, endoderma, mesoderma ed ectoderma, che si differenzieranno nei vari organi e tessuti. La perdita di staminalità totipotente dello zigote è dovuta ad un processo di variazione dell'espressione genica, che porta ad avere un individuo pluricellulare con cellule aventi lo stesso genoma ma che lo esprimono in maniera diversa.

## Riproduzione e cicli vitali degli organismi viventi

Per quanto riguarda la riproduzione sessuata le due cellule germinali di individui di sesso diverso non sono sempre distinguibili. Inoltre la meiosi non è sempre collocata nello stesso momento del ciclo vitale o ha sempre la stessa funzione. Ad esempio i funghi, che solitamente sono cellule aploidi che si dividono per mitosi, quindi asessualmente, in alcuni casi possono comportarsi in maniera sessualmente diversa variando l'espressione genica. Il metodo riproduttivo assume pertanto caratteristiche proprie di quello sessuale: due cellule aploidi si fondono portando alla formazione di uno zigote che va incontro a divisione meiotica, portando nuovamente a cellule aploidi. Ciò accade con l'intento di creare variabilità genetica.

Le piante invece esistono in due forme, diploidi e aploidi. Possono riprodursi per mitosi, ma possono anche dividersi per meiosi come i funghi. A differenza di questi ultimi, che rimangono per la maggior parte aploidi, le piante presentano sia un ciclo aploide che uno diploide.