

## La riproduzione e la moltiplicazione cellulare nelle specie animali

Ogni specie al fine della propria sopravvivenza e perpetuazione nel tempo, si riproduce. Questo aspetto fisiologico è estremamente vario e complesso poiché coinvolge tutti i viventi, animali e non, dai batteri (unicellulari) con lunghezza a partire da 0,5  $\mu$ m. (micron=millesima parte del mm.), fino al più grande specie animale al mondo, la balenottera azzurra *Balaenoptera musculus* Linnaeus, 1758 lunga fino a 33 m. e con un peso massimo di 180 t. .Ciò fa ben capire che l'evoluzione avrà dotato le differenti specie di metodiche riproduttive molto diverse tra loro, le quali rappresentano la chiave della loro sopravvivenza. Ampliando il discorso si può parlare di **moltiplicazione cellulare**, comprendendo all'interno di questo ampio concetto tutti quei processi che permettono di generare nuove cellule e/o nuovi individui completi in base alla complessità dell'organismo coinvolto. Non bisogna infatti pensare che la moltiplicazione cellulare sia solo riferita alla perpetuazione della specie (riproduzione), poiché tutte le cellule che compongono, ad esempio, i tessuti degli organismi, sono soggette ad un fisiologico turnover. Basti pensare a quelle che formano la cute che vengono periodicamente sostituite ed eliminate mediante esfoliazione e sostituite da nuove cellule giovani nate negli strati dermali più profondi. La moltiplicazione cellulare può essere didatticamente

suddivisa in:

1) **Moltiplicazione asessuale (agamica)** che comprende diversi processi tra i quali i principali

sono::

- **Scissione binaria**
- **Scissione multipla (schizogonia e sporogonia)**
- **Gemmazione**

**N.B. la Mitosi** non è una forma di riproduzione asessuata (se affrontiamo questo concetto dal punto di vista prettamente riproduttivo zoologico), bensì è una complessa via di moltiplicazione cellulare (ciclo cellulare), che viene percorsa al fine di aumentare il proprio numero ad esempio da parte delle cellule eucariote, ad esempio quelle somatiche (pensare alla capacità di rigenerazione dei diversi tessuti come visto a lezione).

## **2) Moltiplicazione sessuale (gamica)**

Può seguire diverse forme tra le quali il classico gonocorismo (presenza di sessi separati in una specie), ma dal punto di vista zoologico affronteremo anche:

- **Ermafroditismo**
- **Partenogenesi**
- **Metagenesi**

**N.B. la Meiosi** è un processo di divisione che porta alla formazione, durante la gametogenesi, di spermatozoi e cellule uovo (gameti o cellule sessuali), entrambe tipologie cellulari aploidi, a partire da cellule diploidi germinali. Quindi tale processo è comune alle diverse forme di riproduzioni sessuali, seppur con piccole differenze.

## **1) Moltiplicazione asessuale**

Le forme di scissione (binaria e multipla), la scissione multipla, la gemmazione e gemmulazione, sono vere e proprie forme riproduttive messe in atto da organismi completi, unicellulari o pluricellulari, per far sì che la propria specie possa perpetuare nel tempo con continue generazioni successive. Nella riproduzione asessuata vi è solo un genitore, non vi sono organi sessuali e di conseguenza non c'è produzione di gameti (cellule sessuali: cellule uovo e spermatozoi), ma l'organismo si riproduce in completa autonomia. Questo comporta sicuramente un minor dispendio in termini energetici (produzione di gameti, ricerca del partner, copula, gestazione etc), consentendo a un singolo soggetto di poter così popolare (in condizioni ideali) un habitat anche qualora si trovasse qui come unico esemplare della propria specie. È ben comprensibile che questa metodica riproduttiva è diffusa specialmente tra gli organismi sessili (fissi) e tra quelli che hanno minori capacità di spostamento. D'altra parte, però, gli individui che nascono da un processo di riproduzione asessuale sono teoricamente tutte copie identiche del proprio genitore (cloni). Questo significa che non vi è una variabilità genetica a meno che non intervengano mutazioni spontanee (positive) del codice genetico. Infatti, ogni individuo con mutazioni sarà poi messo alla prova dall'ambiente per saggiarne le capacità di sopravvivenza o farlo perire in breve tempo.

Una particolare forma di riproduzione asessuata (post-frammentazione) la ritroviamo anche in alcuni Metazoi in seguito a processi di rigenerazione (consultare dispense su "autotomia e rigenerazione delle stelle marine") a partire da organismi lesionatisi in seguito a danni traumatici o predazione.

## **A) Scissione**

La scissione è una forma di riproduzione asessuale comune tra i batteri e i protozoi; questa prevede la divisione della cellula genitrice in due o più parti seguendo un asse di rottura che la divide trasversalmente o longitudinalmente. Ognuna delle parti neoformate darà vita ad un nuovo esemplare autonomo. Le forme di scissione possono essere dunque: **binaria** tramite la quale a partire da un individuo se ne forma un secondo, oppure **multipla** (a frammentazione)(schizogonia e sporogonia) nella quale un individuo si “spezzetta”, in più parti da ognuna delle quali origineranno altrettanti esemplari autonomi. La scissione è presente anche in alcune specie pluricellulari come nei Turbellari (piccoli vermi piatti) d’acqua dolce, tra le quali le ben note planarie (es. video visto a lezione -planaria regeneration-). Alcune di queste possono riprodursi mediante scissione utilizzando come “punto di rottura”, una porzione posteriore alla faringe. Dividendosi caudalmente alla faringe si vengono a creare due individui autonomi, uno dei quali (quello derivato dal tratto posteriore alla faringe), continuerà ad accrescersi fino a raggiungere anch’esso la maturità completa in circa due mesi. Tagliando invece, sperimentalmente e trasversalmente in tre parti un individuo genitore, si ottengono altri due nuovi esemplari.

## **B) Schizogonia e Sporogonia (scissione multipla)**

Questa metodica è presente in numerosi protisti, come è facile intuire dalla parola stessa si basa sulla formazione di più strutture simili a spore che formeranno nuovi individui. La formazione di questi si ha poiché il nucleo dell’organismo genitore va incontro a diverse serie di divisioni mitotiche seguite dalla suddivisione del citoplasma. Si vengono così a creare tanti giovani individui autonomi (cellule mononucleate=spore) ognuno con un suo nucleo e citoplasma, che vengono progressivamente espulsi dal corpo dell’esemplare precursore. Esempi visti a lezione es. *Toxoplasma gondii* o i coccidi (es. di lezione visti negli uccelli, per chi volesse un reminder, basti cercare -coccidiosis-)

## **C) Gemmazione (divisione ineguale)**

La gemmazione (budding) è un processo di riproduzione asessuata che prende il nome dalla particolare conformazione dei nuovi organismi che si formano a partire da un organismo genitore e si distaccano da questo formando una o più piccole gemme che protrudono dal corpo originale fino a distaccarsi raggiunta la maturità e formare nuovi esemplari autonomi. Tale fenomeno è definito “divisione ineguale”, poiché solo piccole parte del corpo del genitore formano i nuovi nascituri, al contrario di quanto vedremo nella

scissione. In alcuni casi gli organismi figli possono rimanere a lungo uniti al genitore e formare vere e proprie colonie ramificate. La gemmazione è osservata sia in organismi unicellulari quali *Saccharomyces cerevisiae* (Regno dei Funghi) comunemente utilizzato per la lievitazione del pane, che in molti organismi pluricellulari. Tra questi: Cnidari (Celenterati)(Coralli e polipi delle meduse), e Tunicati (Subphylum dei Cordati). A lezione, tra i vari esempi abbiamo visto anche un *Malassezia pachydermatis*, che incontrerete nel corso degli studi come agente coinvolto in alcune forme di otite nei pet.

**N.B. Poliembrionia** La poliembrionia è la divisione in più parti dello zigote o dell'embrione nei primissimi stadi di sviluppo. La poliembrionia è alla base della nascita dei gemelli monozigotici nell'uomo e negli animali. I neonati originano da un unico uovo fecondato (quindi si parte da una riproduzione di tipo sessuale) e possiedono una placenta comune. Questa caratteristica riproduttiva è presente negli Imenotteri parassiti (Encirtidi, Platigastridi, Driinidi), nei quali da un solo uovo si producono centinaia d'individui, e in alcuni Mammiferi Sdentati, come nel caso tipico visto a lezione di due specie di Armadillo, nelle quali si assiste alla normale formazione di quattro a dodici gemelli da un solo uovo.

### **N.B. Mitosi**

Ogni cellula in un organismo si riproduce. Questo fenomeno è dovuto al continuo turnover cellulare, ossia un processo che prevede la nascita, lo sviluppo, l'esecuzione delle proprie funzioni

Si invitano gli studenti alla ricerca grafica online o su materiale cartaceo del ciclo mitotico al fine di poter poi unire quanto segue con la componente grafica. A fine didattico si invita, come esercizio, a ripetere le principali fasi del ciclo e relative peculiarità con e senza supporto grafico.

**L'INTERFASE** è quel lasso di tempo durante il quale all'interno della cellula progenitrice si può osservare un'intensa attività di replicazione cellulare. Questo momento si pone tra un ciclo mitotico e quello successivo. Cromosomi e mitocondri vanno incontro a un raddoppiamento del numero in vista della creazione della futura cellula; inoltre in questa fase i cromosomi diventano compatti per azione della cromatina. Contemporaneamente i centrosomi (ognuno composto da due centrioli e materiale aggregato cellulare) migrano alle due estremità cellulari.

Durante la **PROFASE** si ha un aumento del volume nucleare di volume, la cromatina va a formare cromosomi ben definiti. Ogni cromosoma contiene due cromatidi fratelli che a loro volta contengono "copie" del DNA di partenza. Esternamente al nucleo, i centrosomi continuano la loro migrazione verso i poli cellulari opposti.

Nella **prometafase/METAFASE** si apprezza la completa disgregazione della membrana nucleare con la conseguente relativa fuoriuscita dei cromosomi. Questi però non si disperdono casualmente all'interno della cellula, bensì le fibre del fuso mitotico che si sono formate tra i centrioli, penetrano nella zona centrale della cellula (regione nucleare). Su queste aderiscono ordinatamente i cromosomi mediante i cinetocori, piccoli tratti posti al centro dei cromosomi.

Durante l'**ANAFASE** il centromero dei diversi cromosomi si divide liberando i singoli cromatidi. Ognuno di questi viene trascinato verso il polo del fuso verso il quale è rivolto e inizia a migrare verso la propria estremità.

**TELOFASE e CITODIERESI.** I cromatidi raggiungono il proprio polo del fuso di appartenenza, il fuso si dissolve e si inizia a formare intorno ai cromatidi quella che sarà la nuova membrana nucleare. I cromatidi riacquistano la forma originale di cromatina e ricompaiono i nucleoli. La citodieresi invece consiste nella divisione del citoplasma che si ottiene mediante uno schiacciamento nella regione equatoriale della cellula con successivo strozzamento e divisione di tale zona e seguente formazione delle due cellule figlie.

## 2) Moltiplicazione sessuale (gamica)

La riproduzione sessuata, nella sua forma più classica (gonocorismo = specie a sessi separati) coinvolge un esemplare di sesso maschile e uno di sesso femminile ognuno dei quali produce, mediante un processo di meiosi, cellule sessuali specializzate (gameti aploidi), rappresentate da cellule uovo e spermatozoi. Dall'unione di queste cellule si forma uno zigote (diploide) che riceve materiale genetico da parte paterna e materna. Di conseguenza il patrimonio genetico sarà diverso da quello dei genitori e non identico come visto nella riproduzione asessuale (limite trovato nella riproduzione asessuale). Per tale motivo questa metodica riproduttiva garantisce l'aumento della variabilità genetica. La

riproduzione sessuale prevede l'unione dei gameti aploidi, ossia delle cellule sessuali specializzate rappresentate dagli spermatozoi (linea maschile) e dalle cellule uovo (linea femminile). La produzione di queste particolari cellule avviene mediante un processo fisiologico denominato **meiosi** che occorre all'interno degli organi genitali: testicoli nei soggetti maschi, ovaie nelle femmine.

Esercizio consigliato: unire le conoscenze di anatomia, fisiologia e zoologia e provare a unire strutture e funzioni degli organi che compongono l'apparato riproduttore femminile e maschile

## **MEIOSI**

La formazione dei gameti maschili (spermatozoi) e di quelli femminili (cellule uovo), prende il nome di gametogenesi. Seppur con notevoli differenze in termini di quantità di gameti prodotti, tempistica di produzione e maturazione, tra soggetti di sesso femminile e soggetti di sesso maschile, per entrambi i sessi è presente una caratteristica che accomuna le proprie cellule sessuali, ossia l'aploidia ( $1n$ ). Questa caratteristica consiste nel possedere metà del corredo cromosomico genetico necessario per la formazione dello zigote (ossia del futuro embrione), poiché la condizione di diploidia ( $2n$ ), con quindi un corredo cromosomiale completo, si ha solo quando spermatozoo ( $1n$ ) e cellula uovo ( $1n$ ), si fondono portando alla fecondazione e allo sviluppo dello zigote ( $2n$ ). perciò ricapitolando:

A) Cellula aploide. Sono esclusivamente le cellule germinali (spermatozoi e cellule uovo) e contengono 1 rappresentante per ciascuna coppia di cromosomi.

B) Cellula diploide. sono tutte le altre cellule, ad esempio quelle tessutali che abbiamo visto poco a coinvolte nella mitosi del continuo turnover cellulare dell'organismo. Queste cellule possiedono coppie di cromosomi omologhi ( $2n$ ). Ad esempio, l'uomo possiede 46 cromosomi, questi nelle cellule somatiche saranno presenti con 23 coppie di omologhi (a loro volta 22 coppie di autosomi e una coppia di cromosomi sessuali XY o XX). Nei gameti (spermatozoi e cellule uovo) umani saranno presenti invece 23 cromosomi (non coppie di cromosomi) dei quali 22 autosomi + un cromosoma X o Y sessuale.

## **Spermatogenesi e oogenesi**

**La spermatogenesi** è un processo che avviene a livello dei tubuli seminiferi testicolari e consente la produzione di milioni di spermatozoi a partire dall'età puberale dell'animale.

Questi verranno espulsi durante la copula spesso insieme ad altri liquidi organici prodotti da ghiandole accessorie laddove presenti. Il processo che porta alla nascita di gameti aploidi (1N), prende il nome di Meiosi che consiste in due divisioni cellulari successive (meiosi I e meiosi II) che producono 4 cellule aploidi (spermatozoi) a partire da una diploide (cellula germinale). La prima cellula in ordine cronologico di formazione è una cellula germinale diploide (2n) posta negli strati tubulari profondi, questa fungerà da inizio della linea seminifera. E' da notare che nei soggetti di sesso maschile la produzione degli spermatozoi, in condizioni fisiologiche, perdura a partire dalla pubertà per tutta la vita poiché persistono cellule germinali negli strati profondi. Da queste si forma uno spermatocita primario che è ben presto soggetto a un periodo definito Profase (Meiosi I) o divisione riduzionale che porta alla formazione di 2 spermatociti secondari aploidi (1N). In questo periodo la cellula ha ancora una forma ben lontana dal classico spermatozoo, in quanto si presenta ancora rotondeggiante. Gli spermatociti secondari vanno incontro a un fase di Meiosi II o divisione equazionale durante la quale si vengono a formare 2 cellule ogni spermatocita secondario, per un totale di 4 elementi derivanti dalla cellula diploide originale (vedere disegno sopra). Da una cellula germinale si ottengono dunque 4 spermatozoi che maturando acquisiscono la tipica forma con una testa (dotata di acrosoma) contenente le informazioni genetiche (è un nucleo modificato), un corpo e una coda necessaria per la locomozione.

Si consiglia la ricerca tramite motore di ricerca della rappresentazione grafica del processo mediante l'utilizzo di termini quali "spermatogenesis". Come ricordato, gli spermatozoi variano da specie a specie, a seguire una lettura per coloro che volessero alcune informazioni sulla diversità dei gameti maschili nel mondo animale

<https://www.cam.ac.uk/research/discussion/opinion-the-biggest-sperm-come-in-the-smallest-packages-and-other-odd-facts-about-male-sex-cells>

## **Oogenesi**

Nelle ovaie femminili sono presenti gli oogoni, cellule sessuali progenitrici il cui numero, a differenza di quanto avviene per le cellule sessuali maschili, è geneticamente prestabilito. Si stima che in una donna, ad esempio, al momento della pubertà vi siano mezzo milione di oogoni. Parte di questo stock di cellule andrà man mano incontro a maturazione durante la vita a partire dal periodo della pubertà producendo si stima un totale tra 300 - 500 cellule uovo mature. A seguire questo processo si arresta e fisiologicamente si andrà incontro a

quel fenomeno fisiologico che va sotto il nome di menopausa. Tale fase è presente in alcune specie animali e non in tutte. Nelle ovaie femminile si segue un processo simile a quello visto a livello testicolare nel maschio. Fin dalla vita fetale si ha lo sviluppo ovarico delle cellule progenitrici dette oogoni. Perciò alcune delle cellule progenitrici gli oogoni (2N) vanno incontro, fin dalla giovane età dell'esemplare, a una prima divisione mitotica che non ne intacca il corredo genetico e che porta alla nascita di oociti primari (2N) molti dei quali andranno incontro a lisi nel tempo. Così come abbiamo visto per gli spermatociti primari, queste cellule sono ora pronte ad affrontare il processo di meiosi che le trasformerà da diploidi (2N) in aploidi (1N). Con l'arrivo della pubertà l'oocita primario va incontro ad una prima divisione meiotica (Meiosi I) che porta alla formazione di un oocita secondario e di un secondo tipo di cellula chiamata globulo polare che generalmente va incontro a degenerazione. La divisione meiotica successiva si avrà solo dopo la fecondazione da parte dello spermatozoo. Perciò da un oocita primario si sviluppa solo una cellula uovo, ma non in tutte le specie si ha la maturazione di un oocita ogni ciclo estrale. Molti animali maturano più di un oocita e possono dare al mondo anche centinaia di esemplari dopo un singolo accoppiamento. La meiosi è dunque un processo che coinvolge la produzione di cellule sessuali, ma la riproduzione sessuata non segue solamente il gonocorismo (sessualità a sessi separata), bensì, seppur con differenze a volte notevoli, esistono altre forme di riproduzione sessuata molto diffuse nel Regno animale. Tra queste ricordiamo l'ermafroditismo, la partenogenesi e la metagenesi.

Possibile esercizio multidisciplinare: cercare su portali divulgativi video es. youtube mediante keyword "spermatogenesis" e "oogenesis", selezionate video facendo una selezione in relazione alla fonte selezionando profili di enti scientifici e selezionando video scientifici in inglese al fine di esercitare anche la comprensione della lingua. Provare a unire le conoscenze di anatomia e fisiologia (in relazione al corso di Laurea e al semestre).