

## **GLI ORGANISMI VIVENTI ed i loro caratteri generali**

### I CARATTERI della VITA

Il fisico Mario Ageno (1915-1992) definiva la vita “un sistema chimico coerente dotato di un programma”: un sistema che, date le sue dimensioni, si comporterebbe come caotico se non fosse dotato di un sistema di controllo (DNA, RNA, enzimi, ecc.).

Effettivamente, come “essere vivente” si può intendere qualunque sistema complesso<sup>1</sup> dotato di alcune proprietà particolari che cerchiamo di elencare in sintesi.

— **INDIVIDUALITÀ** : può essere sinonimo di “indivisibilità”. Un essere vivente cioè rappresenta qualcosa di unico, compiuto in se stesso, che non può perdere alcuna delle sue parti senza perdere le sue proprietà. Questo criterio, un po’ troppo astratto, va inteso con una certa elasticità: se un animale perde una zampa, ad es., è pur sempre riconoscibile come animale. Si può discutere su quali sono le parti “essenziali” senza le quali l’animale non è più tale, ma certamente l’essere vivente non è divisibile come il materiale non vivente.

Più imbarazzante è il caso di animali che formano colonie.

Quando si tratta di colonie di individui ben distinti (Insetti coloniali come le api, ad es.), viene già da pensare che l’individuo capace di riprodursi non sia più la singola ape, ma l’alveare (infatti, le operaie non si riproducono; la regina ed i fuchi si riproducono, ma solo se accuditi dalle operaie, ecc.); la sopravvivenza della specie non è affidata alla singola ape ma alla colonia, che può sopravvivere solo se esiste un adeguato coordinamento fra le api, cioè se la colonia si comporta come un organismo unitario, di cui le singole api sono paragonabili alle cellule di un organismo pluricellulare.

Ancora più scabroso è il caso di colonie originate per gemmazione da un organismo progenitore (polipi di Idrozoi ed Antozoi {millepore, coralli, madrepore}, ad es.; piante, come la fragola, che producono nuove piante da fusti striscianti); qui, i singoli individui nascono come propaggini, come “gemme”, da un individuo iniziale e rimangono tutti collegati fra loro da cordoni di tessuto vivente (“stoloni”); qui è impossibile trovare anche i confini strutturali fra un organismo e l’altro. In certi casi, si hanno colonie in cui i singoli individui assumono forme diverse e svolgono funzioni diverse: vi è un “differenziamento” fra gli organismi in relazione ad una divisione dei compiti. La colonia si comporta allora proprio come un organismo unitario e non può sopravvivere se qualcuna delle parti non svolge la funzione che gli è propria: vedi le velelle o “barchette di S. Pietro” (Sifonofori, Idrozoi marini, Celenterati).

Con significato più ristretto, l’individualità è la proprietà di ogni essere vivente di possedere caratteristiche che lo distinguono da tutti gli altri: in altre parole, tutti gli esseri viventi sono diversi fra loro, sono riconoscibili per queste loro caratteristiche individuali, e non esistono due esseri uguali. Gli individui debbono essere **INDIVIDUABILI**, distinguibili da tutti gli altri, anche della loro stessa specie.

---

<sup>1</sup> Come “sistema complesso” s’intende un insieme correlato di parti, che possiede proprietà “emergenti”, ben diverse dalle proprietà delle singole parti; questa diversità o unicità del sistema deriva dai rapporti funzionali esistenti fra le parti, i quali consentono al sistema di comportarsi secondo modalità impossibili alle singole parti. Ad es., una macchina può svolgere compiti che non sarebbero consentiti a nessuna delle sue parti, e ciò in virtù del fatto che le parti sono fra loro correlate e le loro proprietà vengono modificate da questa correlazione. Proprio la correlazione fra le parti rende il sistema “complesso”, non semplicemente “complicato”, cioè costituito da molte parti. Un essere vivente è sempre “complesso”; se muore, diviene solo “complicato”

— SPECIFICITÀ: tutti gli esseri viventi si possono raggruppare in entità di ordine superiore, cioè in “specie”, all’interno delle quali esistono forti somiglianze, tali da consentire in genere di assegnare un singolo essere vivente ad una data specie ed a nessun’altra. Queste somiglianze all’interno della specie non escludono le differenze individuali appena citate. Nel caso di animali e piante, gli individui della stessa specie possono incrociarsi e lasciare prole feconda, quindi riprodursi per tempi potenzialmente illimitati.

— METABOLISMO SPECIFICO: molte proprietà degli esseri viventi sono “specifiche”, cioè caratteristiche della specie cui l’essere vivente appartiene, e diverse dalle proprietà di tutte le altre specie. Fra di esse, una delle proprietà più importanti è certamente il “metabolismo”, con cui si indicano tutte le trasformazioni chimiche, energetiche e fisiche che si svolgono in un organismo. Data la sua complessità, il metabolismo assume facilmente caratteri distinti in singoli individui ed in singole specie.

Il metabolismo è anch’esso, comunque, una proprietà fondamentale degli esseri viventi: consiste in uno scambio di materia e di energia con l’esterno ed in una serie SPECIFICA di trasformazioni cui quella materia e quell’energia vengono sottoposte.

— AUTOREGOLAZIONE ed OMEOSTASI: col primo termine si intende la capacità di un sistema di modificare il proprio comportamento e le proprie funzioni interne in modo da controbilanciare le variazioni dell’ambiente esterno. Questo contro-bilanciamento tende alla stabilità delle condizioni interne del sistema, e questa è la OMEOSTASI. Un chiaro esempio è quello di un sistema automatico semplice, come un frigorifero: esso è dotato di sensori (termocoppie o simili) e di “effettori” (il compressore) coordinati in modo tale che, al variare della temperatura esterna, rimanga costante la temperatura all’interno della cella frigorifera. Con meccanismo analogo viene stabilizzata la composizione del sangue, la sua pressione, ecc.

Una conseguenza o almeno un aspetto parallelo dell’autoregolazione è la IRRITABILITÀ: un essere vivente reagisce in maniera specifica a determinati stimoli modificando in qualche modo le sue funzioni; vi è un rapporto relativamente costante (S/R) fra stimolo e reazione (o risposta).

— ACCRESCIMENTO e CICLO BIOLOGICO: dal momento della sua nascita a quello della sua morte, ogni essere vivente aumenta le sue dimensioni e la sua massa (“accrescimento” in senso stretto) nonché la varietà e la complessità delle sue strutture e funzioni (“sviluppo”, con “differenziazione” di strutture particolari a partire da materia “indifferenziata”). Oltre all’accrescimento ed alla differenziazione, si osservano in molti casi delle vere e proprie METAMORFOSI, cioè delle trasformazioni dell’individuo da una forma ad un’altra, anche molto diverse fra loro; a volte queste trasformazioni sono assai brusche. Si pensi al passaggio «bruco - crisalide - adulto» nelle farfalle e nei Coleotteri. In altri casi, anche le forme adulte non sono uniche: si possono alternare, più o meno regolarmente, generazioni di struttura assai diversa; così avviene in certi parassiti, che cambiano regolarmente di ospite, ed in ogni ospite assumono aspetto diverso; oppure si pensi a certe meduse, che si alternano regolarmente con una forma di polipo. A questo punto, con l’alternanza di forme adulte diverse, si parla di “generazione alternante” o, più genericamente, di “ciclo biologico”, il quale rappresenta tutta la successione di forme che, da un uovo o una spora, riportano prima o poi alla forma iniziale.

Metamorfosi e cicli biologici, come pure i semplici processi dello sviluppo individuale (ontogenesi), sono anch’essi altamente specifici, caratteristici di ogni data specie.

— RIPRODUZIONE: prima o poi, per cause esterne od interne, ogni essere vivente va incontro alla morte. Pertanto, se esistono tuttora tante specie viventi, significa che gli individui di ognuna di esse hanno potuto “riprodursi”, ovvero generare altri esseri simili a sé, capaci di compensare le perdite e ricominciare il “ciclo” caratteristico della specie.

Vedremo quale utilità presenta questa continua successione di generazioni, ma occorre precisare che, accanto alla riproduzione, deve verificarsi un aumento numerico degli individui, una MOLTIPLICAZIONE. Se il numero degli individui nelle successive generazioni non tende ad

aumentare, prima o poi la specie va incontro ovviamente all'estinzione<sup>2</sup>.

## LA CELLULA

Nel parlare di INDIVIDUO, l'abbiamo definito come un essere vivente più o meno indivisibile, cioè come una entità dotata di certe proprietà fondamentali, e tali proprietà non possono esistere in nessuna delle sue parti presa singolarmente.

Nell'accennare alle forme coloniali, abbiamo però adombrato la possibilità che una colonia possa comportarsi come un unico individuo ed i singoli individui che la compongono diventino parti di un individuo più generale.

Dobbiamo allora chiederci quale è l'"atomo" vivente, cioè la struttura più semplice e più piccola che possa mostrare ancora i caratteri del "vivente".

Ebbene, come una colonia può essere considerata come un aggregato di individui potenzialmente capaci di vita indipendente, così la maggioranza delle piante e degli animali si può suddividere in unità piuttosto piccole, che possiedono ancora le strutture essenziali alla vita, chiamate "**cellule**". Secondo la "teoria cellulare" (Schleiden e Schwann, 1838), la cellula è l'unità, l'individualità morfologica<sup>3</sup> e funzionale<sup>4</sup> della materia vivente; ogni essere vivente è formato da una o più cellule<sup>5</sup>; tutte queste cellule derivano da una cellula iniziale (uovo, spora<sup>6</sup>, e simili) per divisioni successive; ogni cellula deriva dalla divisione di una cellula preesistente. Le sue dimensioni vanno in genere da qualche millesimo a qualche centesimo di mm, ma vi sono eccezioni, specie fra le cellule trasformate in "fibre" (legno, tessuto muscolare e nervoso, ecc.) che possono raggiungere molti cm.

La struttura e le funzioni della cellula sono generalmente caratteristiche e riconoscibili; in molti casi però la cellula si "differenzia", cioè si trasforma in vista di particolari funzioni, in modo da essere difficilmente riconoscibile; basti pensare ad una fibra nervosa o legnosa.

Per ora consideriamo due parti fondamentali della cellula: la parte centrale ("nucleo"), che presiede ai processi della divisione (riproduzione) cellulare, e la parte periferica ("citoplasma"), che presiede al metabolismo in genere.

Data la validità generale della teoria cellulare, possiamo pensare che le caratteristiche sopra elencate, valide in generale per la materia vivente, siano applicabili ad ogni cellula. Ciò si verifica effettivamente, specie riguardo all'individualità.

In particolare, intendiamo analizzare i fenomeni della riproduzione.

## LA TRASMISSIONE EREDITARIA

Come vedremo, ogni specie può sopravvivere nel suo ambiente abituale solo perché è in grado di risolvere tutta una serie di problemi, di svolgere determinate funzioni; dunque, ogni specie è "adattata" per un dato ambiente. Basti pensare ad un pesce o ad un uccello. Ritorneremo su questo punto, ma intanto risulta ovvio che, data la raffinatezza e la complessità di questi adattamenti, i figli avranno interesse ad assomigliare ai genitori in modo da usufruire degli stessi adattamenti. Occorre dunque che, per ogni fenomeno di riproduzione, si verifichi anche l'**eredità**, la trasmissione più o meno fedele di tutti i caratteri dei genitori, e quindi degli

---

<sup>2</sup> Questo elenco di proprietà fondamentali dell'essere vivente fa riferimento in particolare al mondo biologico, ma quasi tutte tali proprietà possono essere applicate anche a sistemi "viventi" che non siano animali e piante. Infatti si riconoscono le caratteristiche di metabolismo, crescita, auto-regolazione, ecc.; anche in molte istituzioni umane (sistemi commerciali, comunità scientifiche, sistemi politici, ecc.) nonché in sistemi astratti (teorie, lingue od anche semplici parole). Tutte queste entità hanno un ciclo di crescita e decadimento, scambi con l'esterno, evoluzione, ecc.

<sup>3</sup> che riguarda cioè la forma e la struttura.

<sup>4</sup> che riguarda le funzioni necessarie alla conservazione della vita.

<sup>5</sup> talvolta in numero enorme, miliardi e miliardi.

<sup>6</sup> Mentre l'uovo, per svilupparsi, ha bisogno in genere di essere fecondato da uno spermatozoo, la spora è un elemento germinale che può riprodurre un individuo senza fecondazione. Il primo processo riproduttivo si considera perciò sessuato, il secondo asessuato o "agamo".

adattamenti.

Sappiamo anche che, molto spesso, ogni individuo si origina da un elemento iniziale piuttosto piccolo (uovo, spora o simili) e che tale elemento è costituito da una sola cellula. Dunque la trasmissione ereditaria dei caratteri da una generazione all'altra avviene per mezzo di qualche struttura contenuta in quell'unica cellula. E ancora: poiché, come si è detto, ogni essere vivente va incontro ad un certo periodo di sviluppo, e questo sviluppo inizia in genere da una cellula sola, nella quale non sono riconoscibili le strutture e le funzioni dell'adulto, è anche ovvio che in quell'unica cellula iniziale deve esistere qualche "dispositivo" in grado di dirigere lo sviluppo successivo, cioè organizzare la materia (già presente nell'uovo o assunta dagli alimenti) fino a creare tutte le strutture specifiche dell'organismo sviluppato.

Abbiamo quindi due serie di fenomeni da spiegare: la trasmissione ereditaria dei caratteri e l'organizzazione delle strutture e delle funzioni dell'adulto a partire da un elemento germinale non differenziato (sviluppo embrionale o "ontogenesi"). La spiegazione è unica.

Come è ovvio, la comprensione di questo meccanismo assai delicato e complesso, di dimensioni sub-microscopiche, in grado di provocare la manifestazione di tutti i caratteri che definiscono un individuo, ha richiesto decenni di lavoro; ma ora si sa che, almeno in linea generale, tutta la trasmissione dei caratteri da una generazione alla successiva e la manifestazione di tali caratteri, cioè la costruzione di un individuo adulto, sono causati, o almeno "diretti", da alcune grandi molecole organiche di forma filamentosa, molecole di natura chimica complicata (il famoso "acido desossi-ribo-nucleico" o "DNA") che costituiscono da sole o in coppia quelle strutture, visibili anche al microscopio ottico, dette "**cromosomi**"<sup>7</sup>. Lungo le molecole filamentose del DNA sono state riconosciute, fra l'altro, delle regioni molto piccole dette "**geni**". Ogni gene può dirigere, durante tutta la vita della cellula e quindi anche durante lo sviluppo dell'uovo, l'andamento di una o più reazioni biochimiche che portano alla sintesi di particolari sostanze (proteine od altro); tali sostanze rappresentano il mezzo per realizzare particolari strutture e consentire particolari funzioni, cioè il mezzo per cui ogni cellula o tessuto<sup>8</sup> raggiunge la sua funzione specifica nell'organismo.

Abbiamo detto che, attraverso la sintesi di una o più sostanze, ogni gene può controllare la manifestazione esterna ("fenotipica") di UNO O PIÙ caratteri; se tali caratteri sono più di uno, si parla di geni **pleiotropici**. Ma avviene anche che un dato carattere ("**poligenico**" o "polifattoriale") sia controllato da più di un gene. Il rapporto fra struttura dei geni e caratteri esterni (**fenotipo**) dell'individuo adulto è dunque molto complesso.

Da questo discorso si potrebbe dedurre che tutti i caratteri dell'adulto dipendano dai geni contenuti nel suo uovo o nella sua spora. Ma vi sono eccezioni:

– alcuni caratteri vengono acquisiti da un individuo nel corso della sua vita per influenze ambientali, alimentari, ecc.; si tratta delle **somazioni** (la pelle si scurisce stando molto esposti al sole, ad es.); tali acquisizioni però non influenzano i geni e non vengono trasmesse alla generazione successiva;

– alcuni caratteri, legati soprattutto al comportamento, vengono acquisiti per apprendimento, per imitazione di altri animali, ecc. ma anche questi non sono ereditabili attraverso i geni;

– vi sono altri casi in cui anche il citoplasma della cellula sembra possa trasmettere qualche carattere ai discendenti, senza intervento dei geni. Anche questi sono dunque caratteri ereditabili ("eredità citoplasmatica"). In caso di riproduzione sessuale, l'eredità citoplasmatica avviene spesso per via materna (solo l'uovo possiede un abbondante citoplasma) ad opera di frazioni di DNA contenuto nei mitocondri (organuli cellulari che presiedono al metabolismo);

– si parla sempre più spesso di "**epigenetica**" per indicare una serie di modificazioni del genoma (l'insieme dei cromosomi) dovute all'ambiente, che risultano trasmissibili.

Da certi esperimenti, poi, risulta che cellule "differenziate", cioè modificate in vista di particolari funzioni, come si trovano in tutti gli organismi pluri-cellulari, possano in determinate

---

<sup>7</sup> dal greco = corpi colorati, in quanto assorbono facilmente certi coloranti usati nello studio delle cellule (o "citologia"). In realtà, nei cromosomi non vi è solo DNA, ma anche una grande quantità di proteine particolari.

<sup>8</sup> Un tessuto è un insieme di cellule simili che svolgono la stessa funzione.

circostanze “sdifferenziarsi” e produrre cellule di altro tipo; del resto, in molti organi degli animali e dei vegetali esistono cellule (“staminali” o “**totipotenti**”) o interi tessuti che non si differenziano mai, come i “meristemi” (cambio e fellogeno) nei vegetali. In altre parole, da questi dati sembra che in molte cellule di un organismo anche complesso rimanga la possibilità di sviluppare i caratteri che normalmente si manifestano in altre categorie di cellule. Questa “totipotenza” delle cellule si verifica facilmente negli embrioni, specialmente se molto giovani: una cellula od un pezzetto di tessuto prelevato da un embrione può essere capace di svilupparsi producendo un adulto normale, completo di tutte le strutture normali. Da questi ed altri fatti (il caso della pecora clonata “Dolly”) si è dedotto che in ogni cellula di un organismo pluricellulare può esistere la possibilità di esprimere in date circostanze tutti i caratteri di qualunque altra cellula dell’individuo adulto, quindi debbono essere presenti tutti i geni della cellula-uovo. A maggior ragione questo discorso è valido per gli uni-cellulari (microrganismi e simili) in cui la cellula o individuo figlio porta con sé direttamente tutti i caratteri dell’individuo che l’ha generato e non si divide in cellule differenti.

Pensiamo ora che tutti gli organi e tessuti di un organismo provengono dalla suddivisione ripetuta di un’unica cellula iniziale; se ne conclude che, nel corso di tutte le successive divisioni (riproduzione di un essere unicellulare o moltiplicazione delle cellule all’interno di un pluricellulare) si deve conservare lo stesso corredo di geni per duplicazioni successive: ogni divisione cellulare presuppone allora la duplicazione del **genoma** (cioè del complesso dei cromosomi e relativi geni).

### La CARIOCINESI<sup>9</sup> o MITOSI

È così chiamata la normale divisione di una cellula in due, come avviene nella maggioranza degli individui unicellulari (in questo caso essa funziona come normale processo di riproduzione e di moltiplicazione) e nella quasi totalità delle cellule degli organismi pluricellulari. Il processo è lungo e complesso, e si svolge con una successione regolare di “fasi”, essenzialmente quattro, ma quello che interessa a questo punto del nostro discorso è il risultato finale: prima dell’inizio della divisione, ogni cromosoma si è duplicato; il filamento è diventato doppio e le due metà sono identiche; nel corso della mitosi avviene la separazione delle due metà di ogni cromosoma, ordinatamente, in modo che, alla fine, si trovano ai due poli della cellula due gruppi di cromosomi, gruppi identici a quello di partenza della cellula di origine. A questo punto la cellula si divide in due ed ognuna delle cellule figlie possiede un genoma identico a quello della madre.

In questo processo di duplicazione possono però avvenire delle anomalie, anche se raramente: alterazioni della struttura dei cromosomi, frammentazioni, duplicazioni parziali, ecc.<sup>10</sup> Quando ciò avviene, la cellula che eredita il genoma alterato generalmente non sopravvive; se l’alterazione è compatibile colla sopravvivenza, la cellula o l’individuo che ne derivano saranno portatori di qualche anomalia; si parla di “malattie” o alterazioni genetiche.

Ma le alterazioni possibili non sono solo a carico dei cromosomi; si possono avere, per influenze ambientali o per casuali errori di duplicazione, cioè per cause fisico-chimiche, delle alterazioni di singoli geni; sono queste le “**mutazioni geniche**”. La mutazione generalmente porta un brusco e radicale cambiamento nel genoma, e quindi un’alterazione di qualche carattere; ciò significa spesso un effetto letale o comunque difficilmente utile alla sopravvivenza. Nei rari casi in cui una mutazione comporti un nuovo carattere utile o una modificazione utile di un carattere preesistente, allora ciò può comportare bruscamente un miglioramento nelle capacità di sopravvivenza dell’individuo che porta quella mutazione. Su questo ritorneremo.

---

<sup>9</sup> Dal greco: “carion” = nucleo, e “kinesis” = movimento.

<sup>10</sup> Sono queste le “**mutazioni cromosomiche**”.

## La RIPRODUZIONE VEGETATIVA

Abbiamo citato sopra la necessità per qualunque essere vivente di provvedere alla propria riproduzione ed in particolare alla moltiplicazione per consentire alla specie di porre rimedio alle inevitabili perdite di individui.

Nel caso degli unicellulari, la mitosi consente ad ogni individuo (cioè ad ogni cellula) di duplicarsi ed assicurare la produzione di due individui simili; mitosi, riproduzione e moltiplicazione si identificano. Ogni cellula, da sola, produce altri individui senza bisogno di fecondazione, cioè di sessualità. Si parla di riproduzione “asessuale” o “vegetativa” o “**àgama**”. Nulla di più semplice.

Nei pluricellulari<sup>11</sup>, le cose sono più complicate. A volte la riproduzione agama è assicurata da organi complessi, definibili come gemme<sup>12</sup> (“gemmazione”) o “propàguli”, specie fra le piante; a volte da singole cellule o **spore**, anche qui molto diffuse fra le piante inferiori; altre volte da porzioni del corpo originate da segmentazioni ripetute, ecc. Il quadro è assai complesso, nel senso che vi sono modalità assai diverse in molti gruppi animali e vegetali; ma si tratta sempre di eccezioni. Intendiamo dire che la riproduzione vegetativa, da sola, presenta degli inconvenienti, che stiamo per esaminare, che le impediscono di essere universalmente diffusa.

Ecco in sostanza il problema. In ogni tipo di riproduzione agama, la cellula o le cellule che danno origine al nuovo individuo possiedono tutte lo stesso genoma poiché provengono per successive mitosi da un'unica cellula iniziale. Gli individui figli saranno quindi tutti simili, portatori degli stessi caratteri: è questo, genericamente parlando, un **clone**.

Vi sono alcuni fatti che intaccano la semplicità di questa affermazione: – durante la mitosi, si è visto, si possono verificare mutazioni cromosomiche o geniche; non tutte le cellule o le spore formate da una lunga serie di mitosi saranno necessariamente identiche; – quando la riproduzione agama è attuata con un organo pluricellulare (gemma o simili), le varie cellule della gemma, in base alle citate anomalie nelle successive mitosi, non sono necessariamente identiche; la gemma è costituita da un “mosaico” di cellule che possono essere leggermente diverse fra loro e l'individuo che ne deriva porterà con sé questo mosaico di genomi simili.

Ma, sostanzialmente, la riproduzione vegetativa porta ad una grande uniformità di caratteri nelle generazioni successive. Il suo grande vantaggio è che, senza fecondazione, ricerca dell'altro sesso, ecc. un solo individuo può produrre rapidamente un numero anche enorme di discendenti (basta pensare alle spore dei funghi !). La moltiplicazione numerica è facile e rapida. **Ma l'inconveniente dell'uniformità genetica è predominante.** Ecco perché.

Abbiamo già accennato alla necessità, per qualunque forma<sup>13</sup> vivente, di fronteggiare le innumerevoli difficoltà legate alla sopravvivenza in ogni dato ambiente. Le forme che non riescono a superare questo esame soccombono. Quelle che sopravvivono per un tempo più o meno lungo devono essere “adattate”, e cioè devono avere acquisito, nel corso del tempo, delle strutture e delle funzioni tali da assicurare la sopravvivenza nel loro particolare ambiente. Considerando quindi una qualunque specie vivente (magari vivente solo per un dato periodo geologico del passato), è chiaro che essa, per il solo fatto di essere arrivata fino a quel momento, si è trovata in stato di adattamento rispetto ad ogni ambiente in cui, volta per volta, si è trovata a vivere, od in cui è attivamente migrata.

Ma l'ambiente è definito da numerosi fattori: fisici (clima, struttura ed orientamento del terreno, disposizione geografica, presenza di ripari); chimici, (composizione del terreno, dell'acqua, dell'atmosfera); biologici (presenza od assenza di vegetazione, di cibo, di prede, di predatori, di parassiti, di malattie, di specie concorrenti, ecc.). E questi fattori non sono costanti

---

<sup>11</sup> si parla di **Metazòì** fra gli animali e di **Metàfiti** fra le piante.

<sup>12</sup> Le “gemme” negli animali hanno struttura, origine e funzione non identica a quella delle gemme vegetali.

<sup>13</sup> In questo testo, come in tutti gli altri di questa serie, il termine **forma** o “forma vivente” indica una specie, una varietà, un genere, ecc., cioè un insieme di individui molto simili. Il termine “forma” non ha dunque un significato definito nella classificazione. Naturalmente non si escludono i significati usuali della stessa parola.

nel tempo, specialmente quelli climatici e biologici. È sufficiente la comparsa di un nuovo parassita o la riduzione di una specie-preda per mettere in crisi la sopravvivenza di una specie.

Ebbene, se una popolazione originata per via agamica, e quindi omogenea, è ben adattata ad un certo ambiente e sopravviene in questo ambiente un cambiamento, la crisi è probabile: l'adattamento è andato perduto.

Supponiamo ora una specie dotata di “**variabilità**”, come è la condizione normale: non tutti gli individui sono uguali; la maggioranza di essi sono ben adattati ma vi sono minoranze, anche piccole, di individui “varianti”, meno adattati, ma capaci di sopravvivere. Quando si verifica un cambiamento ambientale, magari brusco, la maggioranza degli individui, che prima del cambiamento erano adattati, soccomberanno, ma nelle minoranze varianti vi può essere qualche gruppetto che si trova in condizioni migliori e può assicurare la sopravvivenza della specie. Ma con un ulteriore vantaggio: essendo scomparsa la maggioranza degli individui della stessa specie, i pochi sopravvissuti troveranno minore concorrenza per il cibo, i ripari, i territori di nidificazione, ecc. E presto si riformerà una popolazione numerosa, abbastanza adattata, diversa dalla precedente. Il “gioco” delle minoranze varianti sta in questo: esse portano alcuni caratteri “diversi”, magari inutili o dannosi nell'ambiente prima del cambiamento; ma dopo il cambiamento qualcuno dei varianti può trovarsi casualmente “pre-adattato” e vince la partita.

Alla generazione successiva, la nuova popolazione sarà composta in maggioranza dagli individui varianti pre-adattati e quindi avrà forti probabilità di successo.

Se si ripete il ragionamento per una serie di generazioni successive, è ovvio che, ad ogni generazione, aumenterà la percentuale degli individui meglio adattati e si ridurrà quella dei meno adattati, dei meno variati; ed ogni generazione porterà un miglioramento nell'adattamento della specie in generale. Ecco l'utilità della morte e della successione delle generazioni<sup>14</sup>.

Senza volere, abbiamo enunciato uno dei meccanismi fondamentali dell'evoluzione; ma tutto il discorso si basava sull'ipotesi della presenza, in ogni popolazione, di individui varianti, più diversificati e più numerosi di quelli consentiti dalle rare mutazioni utili conseguenti alla mitosi. La natura ha ottenuto questo con la “invenzione” della sessualità.

## La RIPRODUZIONE SESSUATA

Supponiamo ora che l'elemento generativo, la cellula iniziale da cui deriva ogni individuo per una serie di mitosi successive, non sia prodotto autonomamente da un solo individuo, ma venga dalla fusione (“fecondazione” o “**zigosi**”) di due cellule, provenienti da linee germinali diverse, cioè da due organi diversi. Di solito, fra i vegetali come fra gli animali, le due cellule (**gameti**) sono assai diverse: l'una, piccola e mobile, di solito dotata di un flagello<sup>15</sup>, è considerata maschile (spermatozoo, fra gli animali, anterozoo per le piante); l'altra, grande ed immobile, ricca di materiale nutritivo di riserva, è considerata femminile (uovo, ovocellula, oosfera e simili).

I gameti dei due sessi possono essere portati da due individui diversi, maschio e femmina (specie **dioiche**<sup>16</sup>, se vegetali, “a sessi separati”, se animali), oppure da uno stesso individuo. Se l'individuo produttore di gameti dei due sessi è unico, esso è detto, fra gli animali, **ermafrodita** o ermafrodito (da Hermes = Mercurio ed Afrodite = Venere); per le piante, l'individuo portatore dei due sessi è detto **monoico** se produce fiori maschili e femminili separati, **ermafrodita** se produce fiori produttori ognuno di gameti dei due sessi.

---

<sup>14</sup> Casi ben noti di questa sopravvivenza delle minoranze si sono visti in tempi storici dopo l'introduzione improvvisa di nuovi insetticidi, antibiotici, ecc.: dopo una prima riduzione di quella data specie di parassita, di micròbio, ecc., si sono formate delle popolazioni “resistenti” al sopravvenuto cambiamento e, col tempo, la specie si è di nuovo moltiplicata, fino a richiedere l'introduzione di sempre nuovi insetticidi, antibiotici, ecc. Ed il processo non ha fine.

<sup>15</sup> Il flagello è un lungo filamento che si muove come la coda di un'anguilla e consente nell'acqua il movimento della cellula che lo possiede. Vi sono cellule con due o più flagelli. Sono flagellati molti microrganismi unicellulari, spore, gameti, cellule e tessuti di organismi pluricellulari.

<sup>16</sup> Dal greco “oikos” = casa.

I vantaggi della zigosi, la fusione di due cellule, sono due, uno più ovvio, l'altro più complesso.

1) L'uovo fecondato, cioè dopo la fusione collo spermatozoo, si chiama **zigote**; la prima conseguenza della zigosi è l'**anfimissi**, cioè il mescolarsi nello zigote di due genomi, di due corredi genici che, per quanto appartenenti alla stessa specie, saranno certamente un po' diversi; affermazione tanto più valida quanto più i due partner provengono da popolazioni diverse o razze diverse<sup>17</sup>. Tutto ciò produce un aumento della variabilità della specie.

2) L'altro vantaggio è assai più indiretto. Occorre qualche premessa.

Da quanto detto sopra sui cromosomi, si può intuire che, essendo costante il numero di cromosomi prima e dopo la mitosi, ogni cellula od ogni individuo di una data specie contiene un corredo costante di cromosomi, in numero fisso. Se questo discorso fosse valido anche per i gameti sarebbe il caos: la zigosi raddoppierebbe il numero di cromosomi rispetto a quello dei genitori; nella generazione successiva si avrebbe un numero quadruplo e via di seguito. Deve assolutamente esistere un meccanismo che consenta, durante la maturazione dei gameti, di dimezzare il numero dei cromosomi per poi recuperare nello zigote il numero normale. È la cosiddetta **meiosi** o "divisione riduzionale".

Cominciamo col dire che i gameti dei due sessi possiedono lo stesso genoma, o almeno lo stesso corredo cromosomico. Lo zigote possiede dunque un duplice corredo, divisibile in due metà uguali: un corredo di origine materna ed un uguale<sup>18</sup> corredo paterno. I suoi cromosomi si possono quindi riunire in coppie **omologhe**: ogni coppia con un componente materno ed uno paterno. Questo duplice corredo dello zigote è detto **diploide**<sup>19</sup>. Se questo deve rimanere il corredo di tutte le cellule dell'individuo che si origina da quello zigote, bisogna per forza che, durante la formazione dei gameti, il corredo venga dimezzato (corredo **aploide**<sup>20</sup>). Questo dimezzamento del corredo nei gameti avviene con una particolare divisione cellulare, che è diversa dalla mitosi, e che almeno negli animali precede immediatamente la maturazione dei gameti: la già citata meiosi.

Anche questa divisione è lunga e complessa, e consiste anzi di due divisioni successive; ma il risultato finale è la formazione di gameti (maschili e femminili) aploidi: durante l'ultima divisione di maturazione, viene a mancare il normale raddoppio, ed il corredo si dimezza. Ma ...

Durante la meiosi, il corredo diploide delle cellule progenitrici dei gameti (oociti e spermatociti, globalmente chiamati **gametociti**) non viene diviso in due metà nette (metà cromosomi, quelli materni, in un gamete; l'altra metà, i paterni, nell'altro): vi può essere un certo grado di rimescolamento. Ma non è tutto qui, ed ecco la sottigliezza. In un certo momento della meiosi, due cromosomi omologhi, cioè uno materno ed uno paterno nella stessa coppia, aderiscono fra loro per la lunghezza ed eventualmente si incrociano come se si incollassero in uno o più punti; quando i due omologhi si separano per la divisione del gametocita in due gameti aploidi, i due cromosomi originati dalla separazione possono risultare misti, cioè contenere parte del cromosoma materno e parte del paterno; è come se, nei punti di incrocio ("**chiasmi**" o "**crossing-over**"), i cromosomi si spezzassero, gli stessi pezzi per i due cromosomi della coppia e, dopo la divisione, i pezzi di un cromosoma si potessero riattaccare ai pezzi mancanti che provengono dall'altro cromosoma. Il numero di incroci (crossing-over) è naturalmente variabile; con un solo incrocio i due cromosomi si spezzano in due parti ognuno (fig. 1 a sinistra); con due incroci si hanno tre parti (fig. 1 a destra), ecc. Nella fig. 1 sono indicati in nero i cromosomi materni, in bianco quelli paterni e si mostrano i cromosomi prima e dopo la divisione.

<sup>17</sup> Tutti conoscono il "lussureggiamento" degli ibridi, cioè l'aumento di vitalità che si riscontra negli animali "bastardi", provenienti da incroci fra razze diverse. Le cause di questo fenomeno sono però assai più complesse di quanto non derivi dalla sola anfimissi. Negli animali superiori vi sono inoltre meccanismi genetici di autodistruzione degli incroci fra consanguinei (i figli da incesto sono spesso anomali).

<sup>18</sup> Uguale almeno rispetto al numero ed alla struttura generale dei cromosomi, ma con piccole possibilità di differenze nei singoli geni.

<sup>19</sup> Il numero corrispondente di cromosomi è indicato con l'espressione **2n**.

<sup>20</sup> Indicato con l'espressione **n**.



Fig. 1 – Schema di chiasma fra cromosomi nel corso della meiosi

È evidente che, dopo la divisione con crossingover, i cromosomi risultano composti da un mosaico di pezzi di diversa origine. Ma c'è di più: i singoli pezzi di cromosoma, nel ricomporsi dopo la divisione, non rispettano l'ordine e l'orientamento che avevano all'interno del cromosoma di origine; essi possono "ricucirsi" con ordine diverso o invertendo il proprio orientamento. Alla fine, la lista completa dei geni di ogni cromosoma viene ricostruita (ogni pezzo di cromosoma che si sposta viene sostituito dal pezzo corrispondente dell'altro cromosoma della coppia); quindi il genoma complessivo dei gameti è uguale a quello delle altre cellule del genitore, ma ogni nuovo cromosoma può essere costituito da un miscuglio di geni materni e paterni, DISPOSTI CON ORDINE DIVERSO DA QUELLO INIZIALE. Non vi è quindi solo un miscuglio di geni materni e paterni, ma ogni gene può trovarsi inserito in mezzo ad altri geni che nella disposizione originaria gli erano lontani all'interno del cromosoma non ancora incrociato. Questo è un fatto da non sottovalutare: i rapporti di contiguità fra un gene e quelli che gli sono a lato vengono casualmente alterati dopo il crossingover. Ed è qui il vantaggio della meiosi nei confronti della variabilità della specie: la manifestazione ("espressione") di un gene, cioè la sua capacità di influire sui caratteri esteriori dell'adulto (il "**fenotipo**"), può dipendere dalla contiguità di un gene con altri geni; se la meiosi, attraverso il meccanismo del crossingover, altera questi rapporti di contiguità, viene alterata anche la capacità dei geni di "esprimersi", di determinare il fenotipo. Ciò aumenta la probabilità di produrre individui con diversi caratteri esteriori, cioè aumenta la variabilità della specie.

Ecco qui in sintesi la catena delle cause e degli effetti: — la variabilità (nel tempo) dell'ambiente richiede una variabilità (differenze fra un individuo e l'altro) nella specie per facilitare il pre-adattamento e la sopravvivenza — le mutazioni spontanee all'atto della mitosi non sono sufficienti — occorre facilitare la variabilità della specie favorendo i "rimpasti", il rimescolamento di cromosomi e geni — è quindi utile la sessualità, consistente nel sovrapporsi, durante la zigosi, dei genomi di due individui diversi — la zigosi, per rispettare il numero normale o diploide dei cromosomi nello zigote, presuppone una divisione riduzionale, cioè la meiosi, nel corso della gametogenesi — durante la meiosi si può verificare il crossing-over, cioè un rimescolamento dei geni dei due cromosomi omologhi di ogni coppia, e quindi anche un'alterazione dei rapporti di contiguità fra i vari geni — questo altera le capacità espressive dei vari geni e quindi aumenta la varietà dei fenotipi prodotti sessualmente; dunque la variabilità della specie.

Schematizzando molto, questa è la ragione per cui la sessualità, con tutti i suoi inconvenienti (consumo di energie e di tempo nella ricerca del partner, possibilità di errore nell'accoppiamento, con produzione di ibridi sterili, ecc.), si è affermata in tutto il mondo animale e vegetale; sono poche (specialmente fra i microrganismi) le specie in cui non è ancora stata dimostrata la sessualità.

## GENOMA e SOMA

Negli organismi unicellulari l'individuo, da solo, costituisce il germe (gamete, spora, ecc.) e contiene il genoma. Quando esso si riproduce, o fondendosi con un altro individuo-gamete o dividendosi in spore, esso scompare per dar luogo allo zigote o alle spore; non vi è dunque un

“corpo vegetativo” o **soma**: tutto l’individuo partecipa alla riproduzione senza lasciare un soma morto, un cadavere. Nei pluricellulari, invece, si distinguono le cellule della linea germinale, quelle che abbiamo chiamato gametociti, che potenzialmente possono sopravvivere in eterno dando origine a zigoti ed a nuovi individui, e le cellule della linea somatica, il soma appunto, che costituiscono tutto il resto dell’organismo e che sono destinate a degenerare con la morte dell’individuo. Nei pluricellulari vi è dunque una linea cellulare germinale, potenzialmente immortale, portatrice del genoma riproduttivo, ed una linea somatica che si rinnova, una generazione dopo l’altra. La funzione del soma è appunto quella di favorire l’affermazione della linea germinale, consentire la gametogenesi, l’incontro dei sessi e la zigosi. Un biologo moderno ha detto, in modo realistico, che “la gallina è un oggetto inventato da un uovo per facilitarli il lavoro di fabbricare altre uova”, in sostanza, assicurare la continuità della linea germinale, del genoma, quindi della specie, a spese del soma.

## METAGENESI

Si intende con questo termine l’alternanza più o meno regolare, nel corso del ciclo biologico di una specie, di una fase (generazione) sessuata con una o più generazioni agame. Questa alternanza si può svolgere con modalità assai diverse, ma lo schema di base è riconoscibile in tutto il mondo vivente.

Infatti, supponendo la sessualità come il meccanismo riproduttivo prevalente nel mondo vivente, risulta da quanto detto finora che tutti gli organismi sessuati possiedono un ciclo biologico formato almeno da due fasi: 1) l’individuo adulto (unicellulare o pluricellulare) formato da cellule diploidi; è questo il “diplonte” o “diplobionte”; 2) i gameti che, in seguito alla meiosi, sono divenuti aploidi; è questo l’ “aplonte” o “aplobionte”. Il diplonte produce i gameti per via asessuata, per semplice divisione cellulare; i gameti producono lo zigote per via sessuata, per la fusione (fecondazione) di due gameti di sesso diverso.

Negli animali, il diplonte o fase diploide rappresenta l’intero sviluppo dell’individuo, che inizia con lo zigote (uovo fecondato) e termina con la gametogenesi e relativa meiosi; l’aplonte, o fase aploide, dura finché dura il gamete, ed in genere è limitato alla sola cellula gametica. Qui, il ciclo della metagenesi è ridotto alla fase diploide, concedendo all’aplonte solo la breve esistenza del gamete.

● In alcune specie animali, appartenenti a gruppi assai diversi, Insetti (come Afidi, Imenotteri, ecc.), Rotiferi ed altri, si ha la **eterogonia** (“generazione alternante”), cioè l’alternanza più o meno regolare di normali generazioni sessuate con generazioni “partenogenetiche”, in cui le uova si sviluppano senza fecondazione. Ma si tratta di casi isolati, frutto di adattamenti particolari, che si svolgono con meccanismi molto vari, in cui le uova possono essere diploidi o aploidi. Comunque, la partenogenesi è ancora da considerare una riproduzione sessuata, visto che si svolge a mezzo di cellule specializzate come le uova; manca però la fecondazione. Per contrapposizione, quando vi è fecondazione, si parla di **anfigonia**. ●

Invece, nelle piante inferiori o Crittogame (dalle alghe alle felci), la fase aploide non si limita ai gameti: l’aplonte può essere un vero e proprio individuo, che mena vita autonoma e produce a tempo debito i gameti (senza meiosi, poiché è esso stesso aploide) e si chiama quindi **gametòfito**<sup>21</sup>. Dalla fecondazione dei gameti si genera lo zigote, ovviamente diploide, che si sviluppa in un nuovo individuo, diploide. In questo caso il diplonte è una pianta assai diversa dall’aplonte, e produce cellule germinali non sessuate (“spore”, da cui il nome di “**sporòfito**<sup>22</sup>”); la meiosi ha luogo durante la maturazione delle spore (“sporogenesi”), e perciò si parla di meiosi “sporica” e di “meiospore”; le spore sono di conseguenza aploidi<sup>23</sup>. È questa una metagenesi

<sup>21</sup> Si pronuncia con l’accento tonico sulla prima “o”; si può dire anche “gametòfita” per gli esseri femminili.

<sup>22</sup> Si può dire anche “sporòfita” se riferito ad esseri femminili. Dato che si origina per zigosi o anfigonia, si chiama anche “anfionte”.

<sup>23</sup> In realtà, in molte piante inferiori si osservano durante il ciclo biologico anche altre generazioni soprannumerarie produttrici di spore che non derivano da meiosi (sono queste i conidi o conidiospore).

tipica.

Mentre nel caso degli animali, in maggioranza, la meiosi è “terminale”, poiché avviene durante la gametogenesi ed è subito seguita dalla zigosi e dalla fase diploide, nelle piante citate sopra la meiosi avviene al termine della vita dello sporofito, e la fase aploide può essere più vistosa e più duratura della fase diploide.

Solo in rari casi (certe alghe, ad es.) avviene l'opposto che negli animali: il diplonte si riduce fino a scomparire poiché la meiosi è “zigotica” (o “iniziale”), cioè avviene subito dopo la fecondazione e l'individuo “normale” è aploide e naturalmente produce gameti aploidi senza ulteriore meiosi. Il diplonte si limita allo zigote.

Nelle piante superiori (Fanerogame o piante con semi e fiori), si ha una meiosi terminale, durante la gametogenesi, per cui l'individuo adulto è diploide ed il gametofita si riduce ad una o poche cellule che accompagnano il gamete (parti dell'ovulo e del granulo pollinico).

In questa sede non è possibile approfondire questo argomento, che permette di stabilire interessanti rapporti fra piante ed animali o fra gruppi diversi, e consente di interpretare correttamente le varie forme che si succedono durante il ciclo biologico della maggioranza dei viventi. Si noti però che la sessualità, da sola, non produce moltiplicazione, aumento numerico degli individui (due gameti producono un solo zigote); la moltiplicazione si ha solo durante la gametogenesi (un solo individuo produce molti gameti e, potenzialmente, molti zigoti) o durante la produzione di spore agame, come nelle piante inferiori.

## L'EVOLUZIONE ORGANICA

Abbiamo già accennato sopra al rapporto esistente fra adattamento, selezione, variabilità della specie, successione delle generazioni. Si tratta di una serie di fenomeni collegati, in cui non è possibile dire se sia “nato prima l'uovo o la gallina”. Ma cerchiamo di chiarire, analizzando prima alcuni concetti di base.

- Adattamento: come è intuitivo, è la corrispondenza fra uno o più caratteri (fenotipici) di una data specie e le esigenze della relativa nicchia ecologica (vedi sotto); esso indica quindi la capacità di una data specie di sopravvivere in quella nicchia, relativamente a quel carattere. Per es. se un erbivoro vive in un ambiente assieme a predatori veloci, esso sarà adattato rispetto a quest'aspetto dell'ambiente se la sua velocità di fuga sarà mediamente non inferiore a quella del predatore<sup>24</sup>.

- Fitness - E' un sinonimo di “adattamento” se riferito al complesso degli adattamenti di un organismo nei confronti del suo ambiente. Indica globalmente la capacità di un organismo di sopravvivere, di sfruttare le possibilità dell'ambiente, di reagire con successo ai fattori negativi ed ai pericoli, di riprodursi.

- Nicchia ecologica - Non indica un “ambiente” topograficamente definito, ma un dato modo di vivere in quell'ambiente, un rapporto complessivo fra l'organismo e l'ambiente. Ad es., nello stesso metro quadrato di prato c'è posto per il grande vegetariano (capriolo, lepre, ecc.), il piccolo vegetariano (insetti, ecc.), il granivoro (insetti, uccelli), lo scavatore (insetti, roditori), i parassiti per tutti i precedenti, i “saprofiti” che vivono di resti morti (insetti, muffe), ecc. Dunque, nello stesso ambiente possono coesistere numerosissime “nicchie” diverse; ognuna legata a particolari adattamenti che ogni specie presenta, cioè al suo modo di stare in rapporto

---

<sup>24</sup> Il fenomeno dell'adattamento non è così semplice. Per es., si è visto che un gene pleiotropico controlla più di un carattere; avviene anche che diversi geni tendano a rimanere legati fra loro nel corso delle mitosi o delle meiosi (“link”); può quindi accadere che un carattere altamente adattativo, cioè utile alla sopravvivenza in un dato ambiente, sia collegato in qualche modo con uno od altri caratteri inutili o dannosi; la “pressione” selettiva favorisce il carattere utile ma così favorisce anche quello dannoso. Può anche accadere che un carattere dannoso risulti tollerabile quando una popolazione invade una nicchia nuova con poca competizione: la mancata competizione può portare ad una mancata selezione nei confronti di quel carattere. Ciò spiega la presenza in tante specie di caratteri di cui non si comprende l'utilità e che appaiono non-adattativi.

con quell'ambiente. Le differenti nicchie di solito non interferiscono l'una con l'altra.

La nicchia è quindi un particolare modo di vivere in un dato ambiente.

Se, nella stessa nicchia ecologica, vengono a trovarsi due specie, anche non simili, immediatamente esse entrano in competizione (appunto perché hanno gli stessi bisogni, lo stesso nutrimento, ecc.). Prima o poi una delle due soccombe. Infatti, qualche piccola differenza nella loro fitness salta fuori su qualche dettaglio, ed allora la specie meglio adattata, col succedersi delle generazioni, finisce per prevalere sull'altra, in quanto più abile nella ricerca del cibo, nello sfuggire ai predatori, ecc.

•• Tasso riproduttivo: è il rapporto fra i nati vitali ed i morti che una certa popolazione presenta in un certo tempo. Il suo valore è legato ad un'infinità di fattori, riassumibili come capacità di sopravvivenza, dipendente ovviamente dalla "fitness". Affinché una specie sopravviva per un numero elevato di generazioni, occorre che il suo tasso riproduttivo rimanga superiore o uguale ad uno per tutto quel tempo. Basta fare un semplice esempio: se una data popolazione ha un tasso riproduttivo di 0,99 (per 100 morti vi sono 99 nati capaci di crescere e riprodursi), la specie si riduce numericamente con rapidità: dopo una generazione, una popolazione di 1.000 individui diventerà di 990; in seconda generazione diventerà di 980 circa, poi di 970, di 961, 951, 941 ecc. Prima o poi si arriva all'estinzione. D'altra parte, anche un tasso riproduttivo superiore ad 1 non è sostenibile a lungo poiché l'incremento numerico della specie porta rapidamente all'esaurimento delle fonti di alimento, all'accumulo dei rifiuti, alla mancanza di spazio per la nidificazione, al diffondersi di malattie contagiose, ecc. Dunque, in tempi lunghi, il tasso riproduttivo deve oscillare intorno al valore 1 e, se avviene una variazione forte<sup>25</sup>, essa non può protrarsi a lungo.

•• Selezione: è l'azione di filtro dell'ambiente nei confronti delle popolazioni che lo occupano; il filtro consiste in fattori positivi (disponibilità di cibo, di acqua, di ripari, ecc.) e negativi (predatori, parassiti, malattie, siccità, temperatura, ecc.). La specie, con tutte le sue varietà, risponde direttamente ed indirettamente a questo "filtro" attraverso i vari adattamenti che consentono alle singole varietà di sfruttare più o meno i fattori positivi e difendersi da quelli negativi. Se il risultato di questa interazione porta ad un tasso riproduttivo almeno uguale ad 1, la specie, o qualche sua varietà, sopravvive; altrimenti, prima o poi, si estingue. Poiché la selezione opera complessivamente su tutta la flora e la fauna presenti in ogni dato ambiente, il discorso si ripete per ogni specie o varietà. Finché le specie non sono in competizione fra loro, cioè occupano nicchie diverse, hanno storie indipendenti; ma al minimo accenno di competizione si verifica la selezione fra specie, nel senso che una specie o varietà può aumentare numericamente a spese di un'altra, dotata di minore "fitness". In altre parole, la selezione opera selettivamente su diverse forme o varietà di una stessa specie ma anche su tutte le specie che, in qualche modo, si trovano a confrontarsi con quell'ambiente.

Ecco che possediamo tutti i concetti - base per comprendere il meccanismo dell'evoluzione. Sappiamo già che per vari fattori (mutazioni utili, anfibiosi conseguente alla riproduzione sessuata, rimescolamento del genoma durante la meiosi) ogni specie presenta una certa "variabilità", cioè una gamma di differenze fra ogni individuo e tutti gli altri, il che significa: 1) possibilità di preadattamenti, preziosi nel caso di brusche variazioni dell'ambiente, come già accennato sopra, o di emigrazione in ambienti nuovi; 2) possibilità dell'ambiente di selezionare, cioè favorire (si parla di "premio" selettivo) certi individui, meglio adattati, rispetto agli altri. Se l'ambiente e la variabilità fossero stabili, finirebbero per prevalere gli individui meglio adattati e la variabilità della specie si restringerebbe ad un unico modello di individui tutti uguali, tutti adattati allo stesso modo. Ma la variabilità si rinnova continuamente, poiché i meccanismi che la sostengono si ripetono ad ogni generazione, e l'ambiente, per cause geografiche, astronomiche, biologiche, ecc. cambia pure. Per cui la selezione è sempre operante e, di conseguenza, vengono sempre a prevalere le forme più adattate.

---

<sup>25</sup> Si parla di "fluttuazioni".

Ma, a questo punto, l'evoluzione potrebbe consistere semplicemente in un succedersi di forme sempre adattate che "inseguono" l'ambiente, nel senso che ne seguono le variazioni e vengono da questo "filtrate" o selezionate. Infatti, è questo uno dei modi di procedere dell'evoluzione: da ogni forma vivente, col tempo, si origina una nuova forma in relazione alle nuove esigenze dell'ambiente, poi un'altra e così via, in una successione senza fine (finché un abbassamento della fitness non provochi un'estinzione). Questa modalità evolutiva, intesa come graduale trasformazione di una forma in un'altra, come successione di forme sempre più lontane da quella di origine, è chiamata **ortogenesi** (soprattutto se riferita a singole specie) o **anagenesi** (se riferita a grandi gruppi). Ma può anche avvenire un frazionamento di una specie in più specie diverse (**speciazione**) o di un grande gruppo in gruppi minori (**cladogenesi**).

Quest'ultima modalità evolutiva è meno facile da spiegare. Per i grandi gruppi (cladogenesi)<sup>26</sup>, si può pensare che in una certa specie (o piccolo gruppo di specie simili) si sia affermato qualche carattere molto innovativo (per mutazione, ricombinazione meiotica, ecc.); può accadere che questo nuovo carattere consenta alla nuova specie di invadere una nuova nicchia od un nuovo territorio, poco popolato perché le altre specie non vi si sono ancora adattate. La specie invadente che si trova casualmente ad essere pre-adattata in virtù del carattere innovativo, vi si può affermare e per giunta lo fa in una situazione di scarsa competitività, appunto perché la nuova nicchia è poco popolata. A questo punto si verifica una "esplosione radiativa": quella specie si espande in fretta, aumenta di numero, aumenta la probabilità di altre mutazioni o variazioni, ed il processo si può ripetere fino a creare nuove specie e nuovi gruppi.

Si potrebbe anche pensare ad una origine "polifiletica"<sup>27</sup> dei grandi gruppi o dell'intero mondo vivente, per cui i differenti "tipi" o grandi gruppi sarebbero stati divisi e presenti simultaneamente fin dall'inizio. Ma questa ipotesi non è molto accreditata.

Per la ramificazione di una singola specie, cioè per la "speciazione"<sup>28</sup>, le cose sono più chiare, anche perché si tratta di fenomeni che avvengono in una scala di tempi più breve (per l'origine di una nuova specie possono bastare 10.000 o 20.000 generazioni, quindi 10 o 20 millenni, molto meno per le specie che mostrano più di una generazione l'anno).

Il meccanismo fondamentale non differisce sostanzialmente da quello appena descritto per i grandi gruppi. Si parta da una popolazione assestata, di grandi dimensioni, ben adattata in un territorio circoscritto, nel quale vive da molto tempo. In questa situazione di stabilità, una eventuale mutazione o variazione apparirà difficilmente più vantaggiosa, appunto perché la popolazione è stabilizzata e ben adattata. Comunque, l'individuo variante si incrocierà rapidamente con individui "normali" ed i suoi geni verranno a "diluirsì" in un "pool genico" assai ampio<sup>29</sup>.

Supponiamo ora che, in quella popolazione stabile ed omogenea, compaia un piccolo gruppo di varianti e che questa loro variazione li spinga ad allontanarsi dal territorio fino allora occupato dalla popolazione cui appartengono. Probabilmente questo loro tentativo fallirà, difficilmente potranno sopravvivere in un territorio nuovo. Ma può anche accadere che questa loro variazione li abbia pre-adattati a vivere in un territorio diverso, con diverse esigenze. Come detto sopra, questo nuovo territorio sarà probabilmente meno "comodo", quindi meno popolato, la competizione sarà minore ed il piccolo gruppo di fuggiaschi potrà espandersi senza troppa difficoltà. Sono questi fuggiaschi i gruppi capostipite di nuove specie, quelli che E. Mayr chiama "gruppi periferici isolati"; essi si allontanano dalla popolazione di origine ed i loro caratteri nuovi non rischiano quindi di diluirsi nel grande pool genico da cui provengono. Ecco dunque che il fattore decisivo per l'origine di una o più nuove specie non è tanto l'insorgenza di forme varianti nuove, quanto il fortuito incontro fra queste forme nuove ed un ambiente meno popolato, per il quale i nuovi caratteri possano funzionare da pre-adattamenti; conta anche l'isolamento in cui i varianti si debbono trovare per conservare questa nuova situazione fortuita ed espandersi.

---

<sup>26</sup> L'evoluzione in genere dei grandi gruppi animali o vegetali si indica anche come "macro-evoluzione".

<sup>27</sup> cioè per sviluppo simultaneo di diverse linee evolutive, avviate da differenti progenitori.

<sup>28</sup> Si parla anche di "micro-evoluzione".

<sup>29</sup> Si chiama "pool" genico il complesso dei genomi di tutti gli individui di una data popolazione.

L'importanza dell'isolamento geografico risulta anche in un altro caso di speciazione: la graduale conquista dell'isolamento genetico o **amissia**, inteso come impossibilità di incrocio fra popolazioni della stessa specie<sup>30</sup>. Due o più popolazioni possono incrociarsi più o meno frequentemente e costituire quindi un unico pool genico. I loro geni (ed i loro caratteri) si mescolano di continuo ed è difficile che nascano nuove specie. Ma le due popolazioni, più o meno gradualmente, possono vedere nascere qualche difficoltà all'incrocio, cioè qualche forma di **amissia**: può trattarsi di causa anatomiche (differenza di dimensioni o di forma degli organi genitali, come avviene in certe razze di cani), di cause fisiologiche (difficoltà di fusione fra spermatozoo ed uovo, ed es.), di cause psicologiche (ripugnanza fra i due sessi delle due popolazioni), ma più spesso si tratterà di isolamento geografico, dovuto a qualche ostacolo fisico (una nuova zona desertica, la deviazione di un fiume ecc.) o alla migrazione di una popolazione lontano dalle altre. Le due o più popolazioni isolate, non potendo rimescolare i loro pool, andranno incontro a linee evolutive differenti che, prima o poi, divergeranno; quando la "distanza" fra i vari pool diventerà eccessiva, allora si arriverà alla totale amissia, all'impossibilità di incrocio; a questo punto siamo in presenza di specie diverse.

Gli oppositori dell'evoluzionismo fanno notare a ragione che questi supposti meccanismi evolutivi dovrebbero essere rivelabili nello studio dei fossili, fra i quali si dovrebbero trovare tutti gli "anelli intermedi", cioè le forme di transizione dalla specie originaria alla nuova. Ma, purtroppo, i fossili sono sempre scarsi o addirittura mancanti ed il dubbio rimane. Comunque, questa obiezione perde di valore se si riflette sui seguenti fatti:

- i "gruppi periferici isolati" sono costituiti da pochi individui, che hanno perciò poca probabilità di lasciare fossili.

- la loro evoluzione è assai veloce, in quanto le loro variazioni rimangono contenute all'interno di un piccolo gruppo e, se favorevoli, non vengono diluite nel grande pool della specie di origine; questo diminuisce ancora la probabilità di lasciare fossili.

- questi fenomeni avvengono in zone ristrette ed i fossili relativi non sono quindi distribuiti su grandi aree.

Come conclusione, possiamo illustrare i diversi modi di rappresentare l'evoluzione dei grandi gruppi con uno schema di classificazione.

Lo schema più riduttivo, quello **tipologico**, si limita ad elencare i gruppi (tipi), accostando quelli che appaiono più simili, ed indicando eventualmente il momento della loro comparsa nella storia della terra. Il criterio **evoluzionistico** dispone i tipi in una successione evolutiva sequenziale, supponendo che l'uno derivi dall'altro in serie unica (anagenesi). Il criterio più completo è probabilmente quello **filogenetico**, che dispone i tipi secondo le loro supposte derivazioni reciproche e parentele, ammettendo anche la ramificazione di ogni singolo tipo, secondo lo schema della cladogenesi. Nella figura 2, si mostra un esempio di albero filogenetico-cladistico, basato su alcuni caratteri assai generali della struttura dell'organismo. In altri casi, fra gli animali si distinguono innanzitutto i grandi gruppi dei "Diploblasti" e dei "Triploblasti": si tratta di gruppi di "tipi" nel cui sviluppo embrionale (a volte anche nell'adulto) compare una forma semplice costituita da due oppure tre "foglietti" (o strati cellulari). In altre classificazioni d'insieme compaiono i rami "Celomati" e "Acelomati", che indicano quei triploblasti in cui lo strato cellulare intermedio ("mesoderma") presenta o non una cavità detta "celoma". Il ramo "Proterostomi" si riferisce alla posizione della bocca che deriva dal blastoporo della gastrula (stadio embrionale in cui il corpo ha la forma di sacco con la parete formata da due strati di cellule – ectoderma ed endoderma; il blastoporo è l'apertura di questo sacco). Nei "Deuterostomi" invece la bocca si forma dalla parte opposta al blastoporo, che diviene l'ano.

---

<sup>30</sup> Una specie è l'insieme di tutti gli individui **potenzialmente** interfecondi, cioè capaci di produrre prole illimitatamente feconda quando vengono incrociati; una **popolazione** è invece l'insieme di tutti gli individui della stessa specie, **attualmente** interfecondi, cioè che di fatto si incrociano di continuo. Se una specie occupa un territorio molto grande, diviso in due da una barriera geografica (ad es. fiume, catena montuosa, ecc.) o di altro genere, gli individui di una parte possono di fatto non incontrare mai quelli dell'altra parte, anche se il loro incrocio sarebbe fertile. Si hanno così due popolazioni di fatto non incrociabili.

Ogni specialista propone uno schema diverso, dando più importanza a certi caratteri che ad altri. Assolutamente normale.

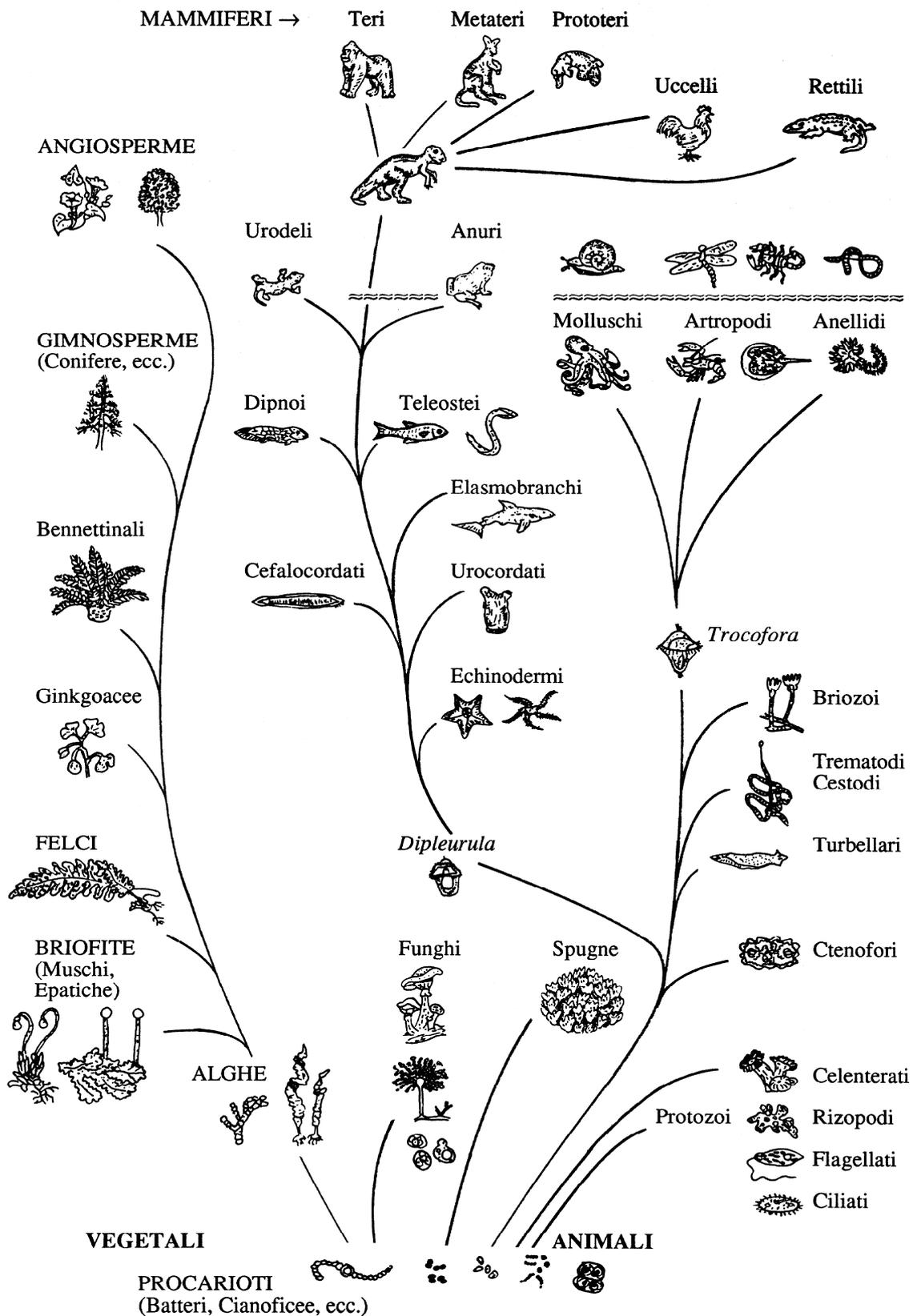


Fig. 2 – Ipotesi di un albero genealogico di tutti i viventi.

NB: alcuni gruppi sono riuniti sulla base della forma larvale comune (*Dipleurula* per Echinodermi e tutti i Cordati, *Trocofora* per Anellidi, Molluschi ed Artropodi). La doppia linea ondulata in alto separa le forme animali terrestri (sopra la linea) da quelle acquatiche (sotto).