

I due compiti della sistematica: distinguere e riunire.

Quella di *classificare* è un'esigenza naturale nell'uomo ed è anche il modo con cui nella tradizione occidentale si studia la varietà del mondo naturale. Classificare significa fare ordine all'interno di un insieme eterogeneo, raggruppando gli elementi in categorie più o meno omogenee al loro interno. Così procediamo anche quando facciamo ordine in una stanza, o organizziamo i libri in una libreria.

1 - distinguere in base alle differenze

Il primo passo nell'ordinare un insieme caotico è quello di individuare l'unità elementare (il singolo oggetto). In botanica e in zoologia questa unità è tuttora la *specie*.

Tuttavia, l'approccio evolucionistico che è alla base della biologia attuale ha messo in crisi il concetto di specie come entità fissa, dal momento che ogni gruppo di viventi non è più considerato un'entità fissa e immutabile, ma c'è la consapevolezza che è soggetto a continuo mutamento e viene osservato in una fase della sua evoluzione. Nel mondo delle piante si aggiungono altri aspetti che rendono difficile dare una definizione di specie valida per tutti i vegetali, tanto che c'è stato chi ha affermato provocatoriamente che in botanica la specie non è altro che

- ciò che un sistematico competente considera specie.

Una definizione classica di specie basata sui caratteri morfologici è:

- insieme di individui morfologicamente simili fra loro più di quanto non siano simili ad altri individui, per caratteri geneticamente fissati e trasmissibili alla discendenza.

Una specie definita in questo modo viene da alcuni chiamata *morfospecie* o specie morfologica, per distinguerla da altri concetti di specie. In biologia evolucionistica, ad esempio, si usa piuttosto il concetto di *specie biologica*:

- insieme di popolazioni interfertili fra loro e isolate riproduttivamente dalle altre.

I vegetali sfuggono però in parte anche a questa definizione, per la grande varietà dei loro meccanismi riproduttivi che consentono l'ibridazione con prole fertile non solo tra specie diverse dello stesso genere, ma addirittura tra specie di generi diversi. D'altra parte, non è neppure sempre possibile la completa interfertilità all'interno della stessa specie, per esempio a causa dei meccanismi che nelle angiosperme obbligano all'impollinazione incrociata impedendo la fecondazione tra polline e ovuli dello stesso fiore o di fiori dello stesso individuo. Le cose sono rese ancora più complicate dalla diffusione nel mondo vegetale della riproduzione agamica (o propagazione vegetativa), che consente la propagazione di individui e popolazioni senza bisogno che intervenga la gamia. Questo tipo di riproduzione è molto frequente nelle piante e può essere presente in un gran numero di forme, compresa quella estrema dell'apomissia: semi geneticamente identici alla pianta madre vengono prodotti senza l'intervento della gamia.

C'è stato anche chi ha introdotto nella definizione della specie un concetto di distribuzione sul territorio:

- le più piccole popolazioni naturali permanentemente separate fra loro da discontinuità morfologico-geografiche nella serie di biotipi.

Vi sono altre definizioni di specie, ma tutte presentano aspetti che le rendono mal applicabili alla generalità delle piante.

In definitiva, la specie non è altro che una *categoria astratta artificiale inventata dall'uomo* per schematizzare una realtà che è in continuo mutamento, sia nel tempo che nello spazio.

Nella pratica si usano diversi concetti di specie, a seconda del tipo di studio: in una sistematica di tipo applicativo, il concetto di *specie morfologica* si rivela nella maggior parte dei casi sufficientemente funzionale. Secondo questa interpretazione, la specie viene definita sulla base delle caratteristiche morfologiche che la distinguono dalle altre. Sono per la quasi totalità specie morfologiche quelle di cui verrà trattato nei corsi di Botanica forestale e di Botanica sistematica.

Ogni specie è individuata da un *nome*. Anche nel linguaggio comune ogni pianta può essere individuata con un nome più o meno preciso: ad esempio "un albero", oppure "un'erba che si mangia", "un arbusto che fa dei fiori rosa", "un faggio". Dare un nome significa avere la possibilità di

- accedere a una serie di *informazioni* sulle caratteristiche specifiche di quella pianta, ad esempio, se è mangereccia o tossica o utile. Queste informazioni erano importantissime per gli antichi, per i quali questo aspetto della sistematica era di importanza ben più vitale che per noi.

- trasmettere le informazioni agli altri, ad esempio, i risultati di una ricerca.

Sfortunatamente, i nomi comuni sono spesso imprecisi e variano non solo tra nazioni diverse ma addirittura all'interno di una stessa regione e anche nel tempo. Inoltre, se per la maggior parte delle specie coltivate o comunque di interesse per l'uomo esiste un nome comune (e a volte più d'uno), ci sono invece molte specie spontanee che non lo posseggono. A volte il nome comune può corrispondere effettivamente

a una specie botanica:

- “faggio” corrisponde alla specie *Fagus sylvatica* L.

Spesso però non è così:

- il nome “quercia” corrisponde a un intero genere (*Quercus*), di cui fanno parte numerose specie;

- la maggior parte delle migliaia di specie spontanee della famiglia delle *Poaceae* (graminacee) vengono collettivamente chiamate semplicemente “erba”;

- “golden”, “granny smith” o “renetta” sono nomi che corrispondono a diverse cultivar (=varietà coltivate) dell’unica specie botanica *Malus domestica* Borkh. (melo);

- “erba di S. Giovanni” è il nome con cui sono conosciute numerose specie officinali diversissime fra di loro (*Achillea millefolium* L., *Hypericum perforatum* L. e altre), che hanno in comune fra loro solo il fatto di venire tradizionalmente raccolte intorno al solstizio d’estate.

Ovviamente, più un nome è preciso, più alto è il suo valore di chiave di accesso e trasmissione di informazioni. La massima precisione si ha usando il *nome scientifico*, che individua con precisione la specie. Questo è dato da un binomio seguito dal nome dell’autore, cioè della persona che per prima ha descritto validamente e dato un nome a quella specie (o più in generale a quella entità sistematica o *taxon*). Ad esempio, nel caso della specie conosciuta come “bucaneve”:

Nome del genere: *Galanthus*

epiteto specifico: *nivalis*

Autore: L.

Questo modo di nominare le specie assegnandole al genere (*nomenclatura binomia*) fu usato sporadicamente dai botanici insieme a una nomenclatura polinomia basata su brevi descrizioni, finché il suo uso venne generalizzato e codificato dal naturalista svedese Carlo Linneo (Carl von Linné) nell’opera *Species Plantarum* (1753), tuttora considerata la data ufficiale di nascita della nomenclatura botanica.

Il nome scientifico del bucaneve è quindi *Galanthus nivalis* L. (abbreviato in *G. nivalis* L.). Dire che il nome della specie è “*nivalis*” non è corretto; e anche “*Galanthus nivalis*” è una denominazione incompleta. Per convenzione, il binomio (genere e epiteto specifico) si scrive in corsivo (o sottolineato) e l’autore in tondo. Il nome dell’autore viene abbreviato in una maniera stabilita, che si trova in appositi repertori: ad esempio, Linneo si scrive “L.” e non “Linn.” o “Linneo” o altro. Se una specie già descritta da un autore viene successivamente attribuita da un altro a un genere diverso oppure cambiata di rango tassonomico (ad esempio elevata da sottospecie a specie), il binomio viene seguito dai nomi di entrambi gli autori: chi ha descritto la specie entro parentesi, chi l’ha attribuita a un diverso genere o l’ha spostata di rango fuori di parentesi. È questo il caso ad esempio di *Picea abies* (L.) Karsten (abete rosso), descritto originariamente da Linneo come *Pinus abies* e successivamente spostato da Karsten nel genere *Picea*. La presenza di un segno x nel nome della specie indica invece che si tratta di un ibrido. La x può trovarsi tra i nomi delle due entità parentali o precedere l’epiteto proprio dell’ibrido, se esiste: così, l’incrocio fra il platano americano (*Platanus occidentalis* L.) e quello mediterraneo (*P. orientalis* L.) può essere denominato *P. occidentalis x orientalis* oppure *P. x hybrida* Brot.

Esiste un’intera branca della sistematica vegetale, la *nomenclatura*, che si occupa delle norme che regolano la formazione e l’attribuzione dei nomi delle specie e delle altre categorie tassonomiche o *taxa* (generi, famiglie, ecc.), al fine di evitare il più possibile ogni ambiguità: per esempio, che a una stessa specie ci si riferisca con nomi diversi o che uno stesso nome venga applicato a specie diverse. Queste norme sono raccolte in un testo di riferimento, il *Codice internazionale di nomenclatura botanica*, che viene periodicamente aggiornato in occasione dei congressi internazionali di botanica.

Il primo dei compiti fondamentali della sistematica è dunque ***distinguere le specie tra loro sulla base delle differenze dei caratteri e dare loro un nome*** che le identifichi in maniera non equivoca.

2 - unire in base alle somiglianze

Individuare le unità elementari (le singole specie) non è sufficiente: la varietà delle forme vegetali si presenta come un insieme caotico di elementi. Per capirci qualcosa, è necessario ordinarlo in qualche modo, raggruppando gli elementi simili in categorie omogenee, ordinate secondo una gerarchia di somiglianze via via decrescenti.

Inserire le specie in un sistema coerente di categorie ordinate gerarchicamente è l’altro compito fondamentale della sistematica. Per alcuni autori, questo aspetto corrisponde alla *tassonomia*, mentre la *sistematica* è solo la scienza che si occupa di definire le specie; per altri, i due termini sono sinonimi.

Si possono fare classificazioni in gruppi di tipo molto diverso, a seconda dello scopo. Ad esempio, classificazioni pratiche sulla base dell’utilità: piante mangerecce, velenose, medicinali, ecc.; classificazioni fisionomiche sulla base del portamento: erbe, arbusti, alberi, ecc.; oppure, classificazioni sistematiche, sulla base della somiglianza dei caratteri o di altri dati.

Le prime classificazioni “moderne” delle piante risalgono al 1700 ed erano basate su pochi caratteri

morfologici, con il risultato di formare categorie rigide e artificiali. La più importante classificazione di questo tipo è il “Sistema sessuale” di Linneo, basato essenzialmente sui caratteri degli stami e in subordine su quelli degli altri organi riproduttivi. Nel 1800 compaiono le cosiddette classificazioni naturali, basate su numerosi caratteri e viene generalizzato e fissato l’uso delle principali *categorie sistematiche* o *taxa* (singolare *taxon*) tuttora in uso: specie, genere, famiglia, ordine, classe, divisione (o phylum).

Al di sopra del genere, ciascuna di queste categorie ha una sua desinenza caratteristica:

-aceae	per la famiglia
-ales	per l'ordine
-opsida	per la classe
-phyta	per la divisione o phylum

Nel Codice sono previste espressamente poche eccezioni a questa regola, per alcune famiglie conosciute da tempo con nomi formati diversamente, come le *Brassicaceae*, che possono essere chiamate con il vecchio nome di *Cruciferae*, o le *Asteraceae* per cui è ammesso il nome *Compositae*.

Molte classificazioni attuali derivano in maniera più o meno diretta da sistemi naturali ottocenteschi.

La *teoria evoluzionistica* (*On the Origin of Species* di Darwin, 1859), se da un lato conduce alla crisi dell’idea stessa di specie, dall’altro trasforma il concetto di categoria tassonomica da insieme di entità simili in insieme di entità che hanno avuto origine comune. L’importanza non viene più data alle somiglianze in sé, ma al loro valore come indizi di parentele (affinità filogenetiche). Nella sistematica filogenetica, accanto ai tradizionali caratteri morfologici, acquistano importanza altri tipi di dati, come quelli biochimici. Oggi sempre maggiore importanza rivestono le dirette misurazioni di affinità degli acidi nucleici, in particolare del DNA presente nel nucleo e negli organuli cellulari.

Anche se attualmente le classificazioni dovrebbero essere tutte filogenetiche, non sempre si hanno dati sufficienti per ricostruire i legami tra le diverse categorie sistematiche e nella pratica l’analisi delle caratteristiche morfologiche continua ad essere lo strumento principale utilizzato dai sistematici.

La classificazione del bucaneve è la seguente:

regno	<i>Plantae</i> o <i>Embryobionta</i> (regno vegetale)
divisione (o phylum)	<i>Magnoliophyta</i> (angiosperme o piante a fiore)
classe	<i>Liliopsida</i> (monocotiledoni)
ordine	<i>Liliales</i>
famiglia	<i>Amaryllidaceae</i>
genere	<i>Galanthus</i>
specie	<i>G. nivalis</i> L.

Classificare un’entità (ad esempio una specie) significa collocarla all’interno di un sistema tassonomico¹.

Seguendo il filo dell’evoluzione – 1: Sistematica ed evoluzione

La questione dei taxa monofiletici.

Dire che i moderni sistemi tassonomici sono (o dovrebbero essere) filogenetici significa che ogni taxon raggruppa (o dovrebbe raggruppare) al suo interno tutti e solo i taxa che hanno avuto origine da un antenato comune. Se più specie fanno parte di uno stesso genere, vuol dire che si ritiene che tutte si siano originate da un unico progenitore; così più generi di una famiglia, ecc. Ogni taxon dovrebbe essere cioè monofiletico (=avere avuto un’origine unica) e in sostanza rappresenta una tappa dell’evoluzione, piccola o grande che sia. Secondo le vedute più attuali, un taxon monofiletico deve comprendere un antenato e tutti i suoi discendenti: categorie sistematiche che includono solo una parte dei discendenti non sono considerate corrette. È questo ad esempio il caso delle briofite.

In una visione filogenetica, la sistematica consiste nello studio della diversità dei viventi e

¹ Non è corretto invece usare questo termine nel senso di “attribuire un esemplare a una determinata specie”, azione per cui è meglio usare il verbo “identificare”

insieme nella ricostruzione della loro storia evolutiva. La storia viene poi tradotta in un sistema di classificazione che esprime le tappe evolutive. In pratica, le singole specie vengono viste come apici di rami diversi dell'albero dell'evoluzione ed è compito del sistematico ricostruire tutte le ramificazioni, costruendo quelli che vengono chiamati alberi filogenetici. Per far questo, si utilizzano tutti gli indizi possibili, basandosi su ogni genere di caratteristica delle piante attuali, sullo studio dei fossili e soprattutto su confronti degli acidi nucleici.

Naturalmente gli alberi filogenetici che vengono costruiti sulla base dei dati raccolti sono in gran parte ipotetici: le certezze in questo campo sono rare. Questo porta a conseguenze pratiche non indifferenti: è difficile che uno schema sistematico sia accettato da tutti gli studiosi; d'altra parte i sistemi tassonomici rigorosamente filogenetici sono soggetti ad essere frequentemente aggiornati, via via che nuove conoscenze vengono acquisite e nuovi legami di parentela vengono ipotizzati. I cambiamenti possono essere così veloci e talvolta così rivoluzionari rispetto a schemi tassonomici consolidati, da essere ben difficili da apprendere e ricordare anche per gli specialisti. Per questo, pur tenendo presente che molte categorie sistematiche tradizionali non sono risultate valide alla luce delle attuali conoscenze sulla filogenesi delle piante, può essere del tutto corretto farvi ancora riferimento in un corso di sistematica essenziale e a carattere applicativo come questo.

Su una cosa vi è attualmente accordo tra i biologi: è probabile che la vita abbia avuto un'unica origine, dal momento che tutti gli organismi viventi condividono gli stessi fondamentali processi genetici e biochimici. L'informazione genetica risiede per tutti nel DNA e le funzioni essenziali della vita si svolgono secondo le medesime vie metaboliche: questo fa ritenere che abbiano avuto tutti origine da un antenato comune.

Dal meno evoluto al più evoluto: occhio agli equivoci

Anche i grandi schemi tassonomici rispecchiano in qualche modo un ordine evolutivo: in tutti i testi di sistematica vengono trattati prima i procarioti (batteri), poi i funghi, le alghe, le briofite, le pteridofite e infine le piante a seme o spermatofite: prima le gimnosperme e poi le angiosperme. Questo significa che si ritiene che le prime forme di vita comparse sulla terra fossero procarioti, che in un'epoca successiva si siano evolute forme del tipo delle alghe, e così via, fino alle angiosperme, che sono il grande gruppo di vegetali di origine più recente.

Ma attenzione a non cadere in equivoci diffusi:

1- I legami filogenetici tra i grandi gruppi di vegetali. Dire che l'evoluzione è andata dai procarioti alle alghe, alle piante vascolari o tracheofite, non significa che ci siano legami filogenetici diretti tra i rappresentanti attuali di questi gruppi. La stragrande maggioranza delle forme di vita comparse nel corso dell'evoluzione - probabilmente oltre il 99% - non hanno retto all'azione della selezione e si sono estinte. Ogni forma presente attualmente è dunque il risultato di una linea evolutiva premiata dalla selezione. Ci sono forme che sono cambiate molto rispetto ai progenitori; altre invece si sono mantenute più simili o addirittura pressoché inalterate, se quel modello vitale ha continuato ad essere competitivo. Dire che esiste una linea filogenetica che lega le alghe verdi alle briofite e alle piante vascolari non significa che da un'alga verde attuale molto evoluta sia derivata una briofita attuale con caratteri primitivi e da questa una briofita evoluta da cui sono derivate le forme più semplici delle tracheofite viventi, e così via. Significa solo che si ritiene che da gruppi ancestrali di organismi che oggi rientrerebbero tra le alghe verdi si siano evolute innumerevoli linee filetiche, tra cui quelle che hanno portato alle alghe verdi attuali e quelle che hanno portato, oltre 400 milioni di anni fa, alle prime forme di piante terrestri (Embryobionta). Da queste sarebbero derivate tra le altre due linee evolutive: una che avrebbe condotto alle briofite, l'altra che avrebbe condotto alle prime tracheofite, estinte ormai da milioni di anni. Da queste tracheofite ancestrali sarebbero derivate altre linee evolutive che sarebbero sfociate nei diversi gruppi di pteridofite, e così via.

2 - Più adatti e meno adatti. Se la storia dell'evoluzione è un percorso da forme "meno evolute" a forme "più evolute", cioè più adatte all'ambiente e quindi premiate dalla selezione, tutte le forme di vita attualmente viventi sono "evolute", cioè sono il risultato di un percorso evolutivo durato milioni di anni e sono adatte all'ambiente in cui vivono. Le forme risultate nel corso dell'evoluzione meno adatte si sono estinte, oppure si sono trasferite in ambienti diversi, dove sono risultate competitive. Anche se riteniamo che le briofite siano meno evolute delle piante vascolari, il fatto che non siano scomparse indica che ci sono ambienti in cui sono tuttora più competitive di qualsiasi tracheofita.

3 - Più complesso e meno complesso. La storia dell'evoluzione non è una marcia trionfale a un'unica direzione dal meno complesso al più complesso, ma può essere rappresentata

piuttosto come un cespuglio formato da innumerevoli ramoscelli che partono da una radice comune e vanno ognuno da forme meno adatte a forme più adatte. Spesso è avvenuto che proprio forme più semplici si siano rivelate più adatte: nel mondo vegetale l'evoluzione è andata molte volte in direzione non di una maggiore complessità, ma piuttosto di una semplificazione, che tra l'altro significa risparmio energetico. Gli esempi sono innumerevoli: uno può essere la progressiva riduzione degli archegoni (gametangi femminili) nelle spermatofite; un altro la scomparsa del perianzio (calice e corolla) nelle angiosperme a impollinazione anemofila. In passato, quando si riteneva che l'evoluzione fosse sempre andata nella direzione di una maggiore complessità, le angiosperme anemofile a fiori ridotti come i pioppi erano ritenute le più primitive. Solo più tardi si è scoperto che erano derivate per riduzione da progenitori entomofili con fiori a corolla sviluppata.

Inoltre è importante ricordare che non ci sono caratteri in assoluto più e meno evoluti: le prime piante terrestri furono erbacee di piccola taglia, poi si svilupparono forme perenni arboree, ma in seguito in più gruppi tassonomici (cioè in più linee evolutive) si ebbe un ritorno secondario alla forma erbacea. Non si può dire che il portamento erbaceo sia in sé più o meno evoluto di quello arboreo: è semplicemente risultato a seconda delle situazioni ambientali più o meno adatto.

4 - Chi ha vinto la competizione evolutiva. È bene ricordare che, se la storia della terra dura da 4.5-5 miliardi di anni, la storia della vita dura più o meno da 3.6 miliardi di anni, da quando cioè comparvero le prime cellule viventi, del tipo dei procarioti o batteri. Per oltre metà della sua storia, prima che comparissero le prime forme eucariote², la vita sulla Terra è stata rappresentata esclusivamente da batteri. Anche nel mondo vivente attuale, così altamente diversificato, i procarioti, cioè le forme di vita considerate più semplici e primitive, sono di gran lunga i dominatori

- sia come numero e varietà di forme e di tipi di metabolismo
- sia come diffusione nei più diversi habitat, compresi tutti quelli in cui sono presenti gli altri viventi, ma con in più moltissimi altri in cui possono vivere solo procarioti
- sia come numero di individui
- sia probabilmente, secondo stime basate sulle recenti scoperte relative ai batteri degli oceani e delle profondità delle rocce, anche come biomassa.

Da un certo punto di vista, si potrebbe dire che animali e vegetali rappresentano poco più che irrilevanti incidenti di percorso in un universo di vita dominato da sempre e per sempre dai batteri.

Come agisce l'evoluzione

La teoria dell'evoluzione, concepita da Darwin un secolo e mezzo fa, fornisce una spiegazione della comparsa della molteplicità delle forme viventi. Secondo l'intuizione di Darwin, l'evoluzione è il risultato dell'azione della selezione naturale. Questa, a differenza della selezione artificiale guidata attivamente dagli allevatori, consiste in un processo puramente passivo in base al quale, all'interno di una popolazione con caratteri diversi, in media sopravvivono e arrivano a riprodursi più frequentemente quegli individui che casualmente presentano caratteri più adatti all'ambiente. I caratteri di questi individui tendono di conseguenza ad essere trasmessi con più abbondanza alla discendenza rispetto a quelli degli individui che presentano caratteri meno adatti. In definitiva, l'evoluzione consiste nell'accumulo graduale e selettivo degli adattamenti favorevoli a una popolazione in un determinato ambiente e nella graduale riduzione dei caratteri sfavorevoli. Nelle piccole popolazioni può essere importante anche la deriva genetica casuale che può portare alla fissazione di geni non vantaggiosi.

Chiavi del processo evolutivo sono:

- la varietà dei caratteri all'interno delle popolazioni
- la possibilità di comparsa di nuovi caratteri
- la trasmissibilità di questi alla discendenza.

Oggi sappiamo che i caratteri trasmissibili sono codificati nel patrimonio genetico di ciascun individuo. Per un genetista, l'evoluzione si può dunque definire come il cambiamento delle frequenze degli alleli nel pool genetico di una popolazione, nel corso di numerose generazioni. La possibilità che compaiano nuovi caratteri da sottoporre al vaglio della selezione è legata

² Le prime tracce certe di organismi eucarioti risalgono a circa 500 milioni di anni fa, ma la loro comparsa è sicuramente molto precedente, probabilmente tra 1 e 2,5 miliardi di anni fa.

essenzialmente:

- ai fenomeni di ricombinazione genica collegati alla riproduzione sessuale: alla *gamia* la formazione di nuove coppie di cromosomi; alla *meiosi* lo scambio di porzioni di cromosomi (*crossing over*) e il riassortimento indipendente nelle *meiospore* dei cromosomi paterni e materni.

- alle mutazioni spontanee, particolarmente importanti nei procarioti dove non c'è riproduzione sessuale. Negli eucarioti, le mutazioni possono consistere in cambiamenti di singole basi delle catene del DNA, di pezzi di cromosomi (*inserzioni*, *duplicazioni*, *delezioni*, *inversioni*), di cromosomi, di interi corredi cromosomici (come nel caso della *poliploidia*).

LA RIPRODUZIONE

Una delle caratteristiche fondamentali dei viventi è la capacità di riprodursi, cioè di dare origine a nuovi individui con caratteri simili a quelli da cui derivano.

La riproduzione agamica o propagazione vegetativa

La più semplice modalità di riproduzione è quella agamica: un nuovo individuo ha origine da un frammento dell'individuo genitore, con il quale ha in comune l'intero corredo cromosomico. A meno di mutazioni spontanee, gli individui che si originano per propagazione vegetativa sono tutti geneticamente identici fra loro e al genitore.

- Negli organismi unicellulari, la propagazione vegetativa avviene solitamente per *scissione diretta*, cioè divisione della cellula madre in due cellule figlie identiche. Altre modalità possono essere la *gemmazione*, una scissione asimmetrica che dà origine a due cellule di dimensioni diverse che per lo più restano aderenti fra loro dopo la divisione; e la *sporulazione*, in cui all'interno della cellula madre si formano numerose cellule identiche.

Quella agamica per scissione diretta è l'unico tipo di riproduzione presente nei procarioti, dove il materiale genetico non è organizzato in cromosomi.

- Negli organismi pluricellulari, la propagazione avviene in genere per *frammentazione*: singole cellule, gruppi di cellule o porzioni di individuo, specializzati per questa funzione oppure no, si distaccano e originano nuovi individui. Anche nei pluricellulari può avvenire una forma di sporulazione, con formazione di propaguli unicellulari (*mitospore* o *conidi*).

- Negli organismi vegetali più complessi, organizzati in tessuti ed organi, anche porzioni costituite da tessuti già altamente differenziati - ad esempio un rametto con foglie - possono essere in grado di dare origine ad un nuovo individuo, riformando tutti gli altri tessuti ed organi necessari. Questo può avvenire grazie alla capacità delle cellule vegetali adulte di sdifferenziarsi e originare tessuti meristemati di neoformazione che producono organi avventizi, come le radici di una talea. L'uomo utilizza la propagazione vegetativa per moltiplicare le piante coltivate per mezzo di talee, margotte, propaggini, innesti, ecc. Grazie a queste pratiche colturali, è possibile ottenere in breve tempo da un'unica pianta madre molti esemplari, tutti con lo stesso patrimonio genetico e quindi con le stesse caratteristiche dell'individuo da cui derivano.

In alcune angiosperme è presente l'*apomissia*, un particolare tipo di propagazione vegetativa in cui si ha la formazione di semi apparentemente uguali a quelli derivati dai processi sessuali, ma contenenti embrioni originati senza l'intervento della gamia e geneticamente identici alla pianta madre.

Nelle sue diverse modalità, la propagazione vegetativa consente una rapida colonizzazione dell'ambiente, ma non favorisce l'insorgenza di nuovi caratteri, la cui comparsa rimane legata in questo caso ai soli fenomeni di mutazioni spontanee.

In linea generale, quella agamica è un tipo di riproduzione adattato ad ambienti stabili, dove la rapidità di diffusione è più importante del mantenimento della diversità tra gli individui di ciascuna popolazione.

La riproduzione sessuale

La sessualità compare solo negli eucarioti, dove il materiale genetico è organizzato in cromosomi. È una modalità riproduttiva che consente non solo l'aumento di numero degli individui, ma anche quello della loro diversità, grazie alla possibilità di comparsa di nuovi caratteri legata ai fenomeni di ricombinazione genica.

Anche se con modalità diverse nei vari gruppi di viventi eucarioti, la riproduzione sessuale è scandita sempre da due eventi fondamentali: la *meiosi* e la *gamia* (o *fecondazione*).

Al momento della *meiosi*, cellule con patrimonio cromosomico diploide, cioè organizzato in coppie di cromosomi, subiscono un particolare tipo di divisione in due fasi, da cui si originano cellule aploidi con

patrimonio genetico parzialmente ricombinato, grazie al riassortimento dei cromosomi omologhi nelle cellule aploidi e al fenomeno del *crossing-over*, che avviene nel corso della prima divisione meiotica e provoca lo scambio di porzioni tra cromosomi omologhi.

Le 4 cellule che si originano per meiosi da una cellula diploide (*cellula madre delle spore*) sono chiamate *meiospore* o semplicemente *spore*³. Hanno numero cromosomico aploide (n) e in seguito al *crossing-over* sono tutte geneticamente diverse tra di loro.

Dalla germinazione di una spora si origina la fase aploide dell'organismo o *gametofito* (chiamato anche *protallo* in certi gruppi di piante), costituito interamente da cellule con n cromosomi (aploidi). A un certo punto del suo sviluppo, il gametofito produce cellule specializzate per la riproduzione: i *gameti*. I gameti hanno la sola funzione di fondersi in un'unica cellula, mettendo in comune il proprio corredo cromosomico e ripristinando la condizione diploide ($2n$). Con la ricostituzione delle nuove coppie di cromosomi omologhi, possono manifestarsi nuovi caratteri.

L'unione dei due gameti si chiama *gamia* (o fecondazione). Tra i diversi organismi che un tempo erano inclusi tra i vegetali si trovano diverse modalità di gamia:

- *gametogamia*: semplice unione di due gameti, che possono essere uguali (*isogamia*), uguali morfologicamente ma diversi fisiologicamente (*anisogamia*), diversi per dimensione o morfologia (*eterogamia*), o infine estremamente diversi (*oogamia*), con uno dei due piccolo e mobile (*spermio*) e l'altro più grande per accumulo di sostanze nutritive e immobile (*oosfera* o *cellula uovo*).

- *gametangiogamia*: l'unione avviene tra due *gametangi*, strutture entro cui si formano i gameti. In genere ciascun gametangio contiene numerosi gameti, che in seguito alla gametangiogamia si fondono a coppie tra di loro. Anche la gametangiogamia può essere isogama, eterogama, oogama.

- *somatogamia*: due normali cellule somatiche aploidi vengono in contatto e si uniscono, funzionando da gameti.

La cellula diploide che si origina in seguito alla gamia si chiama *zigote* e costituisce la prima cellula della fase diploide dell'organismo, o *sporofito*. A un certo punto del suo sviluppo, lo sporofito produrrà cellule madri delle spore che subiranno meiosi, per dare origine a spore aploidi.

L'alternanza delle due generazioni (gametofito che produce gameti e sporofito che produce spore) è anche chiamata *ciclo ontogenetico*.

Ci possono essere tre tipi fondamentali di ciclo:

- *aplodiplonte*: sono presenti sia un gametofito che uno sporofito. A seconda dei diversi gruppi di vegetali, le due fasi possono corrispondere a due individui autonomi e indipendenti tra di loro, morfologicamente uguali (*isomorfi*) o diversi (*eteromorfi*); oppure possono essere legate da rapporti di dipendenza, con dominanza dell'una o dell'altra fase. Tutte le piante terrestri o vere piante (regno *Embryobionta* o *Plantae*) sono aplodiplonti.

- *diplonte*: non esiste una fase aploide. Le spore, originate dalla meiosi, sono le uniche cellule aploidi e funzionano direttamente da gameti. Si può anche dire che negli organismi diplonti la meiosi dà origine direttamente a gameti. Tutti gli animali sono diplonti e cicli diplonti sono presenti in molte alghe, sia unicellulari che pluricellulari.

- *aplonte*: non esiste una fase diploide. L'unica cellula diploide è lo zigote, che subisce meiosi, funzionando come cellula madre delle spore. Molti organismi del regno dei protisti (alghe ed altri) hanno ciclo ontogenetico aplonte.

Attraverso i processi di riproduzione sessuale avviene un continuo rimescolamento del patrimonio genetico, grazie al riassortimento dei cromosomi e agli scambi di porzioni di cromosomi che avvengono alla meiosi e alle nuove combinazioni di coppie di cromosomi che avvengono alla gamia.

Si può dire che la sessualità è il principale motore della diversità genetica tra gli individui e la prima causa dell'insorgenza di nuovi caratteri. In questo senso, è uno degli strumenti fondamentali dell'evoluzione, dal momento che consente la continua comparsa di nuovi caratteri da sottoporre al vaglio della selezione naturale.

³Solo nel caso degli organismi diplonti (vedi più avanti), la meiosi produce direttamente *gameti*.

QUADRO CRONOLOGICO DI RIFERIMENTO

4.5-5 mld anni fa:	origine della Terra
3.5-3.8 mld anni fa:	primi procarioti
2-3.4 mld anni fa:	procarioti autotrofi
1.2-1.5 mld anni fa:	primi eucarioti
450-500 mln anni fa:	piante terrestri
420 mln anni fa:	piante vascolari (tracheofite)
360 mln anni fa:	piante a seme (spermatofite)
130 (200?) mln anni fa:	piante a fiore (angiosperme)
2 mln anni fa:	uomo

Sui testi:

RAVEN, EVERT, EICHHORN:

Cap. 9 La meiosi e la riproduzione sessuale (p. 176-188)

Cap. 12 L'evoluzione

Generalità, la teoria di Darwin (p. 244-247)

L'origine delle specie (p. 256-257)

Leggere il resto del capitolo

Cap. 13 La sistematica: la scienza della diversità ...

Tassonomia e classificazione (p. 273-278)

Metodi di classificazione: Il metodo tradizionale ... (p. 278)

Il metodo cladistico ..., Sistematica molecolare (p. 278-282) (*leggere*)

I gruppi principali ... (p. 282)

L'origine degli eucarioti (p. 282-285) (*leggere*)

I regni degli eucarioti (p. 285-290)

CRONQUIST:

Cap. 5 Riproduzione sessuale p. 55-60

Cap. 6 Introduzione alla sistematica p. 62-70