

Cecilia Anguillesi <sup>②</sup> Luigia Bosman <sup>①</sup> Isa Grilli <sup>②</sup> Umberto Penco <sup>①</sup>  
Introduzione di Paolo Meletti <sup>②</sup>

---

Dipartimenti di Fisica <sup>①</sup> e Scienze Biologiche <sup>②</sup> - Università di Pisa

# Energia e vita

Spunti di didattica di discipline scientifiche  
da integrare: possibili interazioni tra  
fisica, chimica e biologia vegetale



## Prefazione

---

Questo lavoro è il primo di una serie, che ci auguriamo lunga, che il Gruppo per la Scuola dell'Obbligo porta all'attenzione dei Soci AIF e più in generale a tutti coloro che abbiano a cuore l'insegnamento scientifico presso i giovani dall'infanzia sino ai quindici anni.

È nostra intenzione prioritaria presentare lavori che possano essere di aiuto e supporto per tutti i colleghi impegnati nel Piano ISS nei diversi momenti di formazione e/o di riflessione, rendendoli così mirati e quindi più efficaci.

Il materiale che vi proponiamo è il frutto di un lavoro realizzato in anni passati da docenti dei Dipartimenti di Fisica e Scienze Biologiche dell'Università di Pisa e utilizzato con successo in molti corsi di aggiornamento. È dunque materiale collaudato sul campo.

Oltre ad una produzione cartacea, attraverso altri Quaderni o articoli sulla Rivista, ci proponiamo di utilizzare la rete per offrire opere in formato elettronico, facilmente scaricabili ed eventualmente stampabili. Il sito, appena allestito, sarà raggiungibile da [www.aif.it](http://www.aif.it) con apposito link.

Nella speranza di essere utili al vostro lavoro vi auguriamo una buona lettura.

Anna Maria Mancini  
Coordinatrice del Gruppo Scuola dell'Obbligo

## Introduzione

---

Questo volumetto è destinato agli insegnanti i quali sono chiamati a verificare la possibilità di utilizzare argomenti di fisica, chimica e biologia per una didattica di tipo interdisciplinare, secondo quanto previsto dai programmi ministeriali. Certo l'impegno degli insegnanti non è di poco conto visto che si trovano di fronte a delle proposte che sono di per sé perfettamente autosufficienti e utilizzabili come tali: ad esempio il sole, l'energia, la fotosintesi. Questa sequenza è scelta di proposito perché dà subito un esempio di ciò che si vuol dimostrare: *il sole fornisce l'energia necessaria per la sintesi di materiali organici attraverso la fotosintesi.*

In altre parole l'insegnante sviluppa inizialmente il discorso su sole ed energia in maniera che i ragazzi familiarizzino con questi argomenti, per passare poi allo studio della fotosintesi, il quale si avvarrà ovviamente delle informazioni già acquisite. Dalla fotosintesi si spazia poi con facilità alla respirazione e al consumo di energia necessaria per le funzioni vitali, dall'accumulo delle riserve alla produttività, ecc.

È chiaro che gli argomenti non vengono qui trattati in modo esauriente. Del sole, per esempio si considera soltanto il moto, ma con una serie di riferimenti che, oltre ad avere una ricaduta sul mondo delle piante – posizione, altezza del sole, luce e ombra, ecc – permettono delle facili verifiche sperimentali. È l'insegnante che deve lavorare intorno alle esperienze proposte in modo da stimolare la curiosità dei ragazzi che sollecitino informazioni più ampie. D'altra parte l'interesse dei giovani aumenta nel momento in cui si dimostra che fisica, chimica e biologia devono essere integrate se si vogliono spiegare compiutamente i fenomeni naturali che riguardano organismi viventi.

Questo tipo di impostazione e i percorsi didattici proposti consentono il livello di approfondimento di cui la scolaresca ha bisogno e/o l'insegnante desidera raggiungere. Si tratta, come è evidente, di argomenti che, a dispetto della loro complessità, possono essere presentati in modo semplice ed efficace mantenendo il discorso all'inizio su un piano generale e generico.

Un esempio:

- 1° livello – l'energia solare, captata dalle foglie, consente alla pianta di sintetizzare la sostanza organica a partire da sostanze inorganiche semplici;
- 2° livello – l'energia solare, captata dai pigmenti fotosensibili delle piante, consente loro di fotosintetizzare gli zuccheri a partire da acqua e anidride carbonica;
- 3° livello – l'energia solare, che eccita le molecole della clorofilla, consente alle piante di fotosintetizzare gli zuccheri che si accumulano sotto forma di amido;
- 4° livello – la sintesi degli zuccheri è la base per la costruzione di tutti i materiali organici (grassi, proteine, ecc.) di cui la pianta ha bisogno per la sua nutrizione;

e così via.

---

Con questo sistema l'insegnante ha la possibilità di costruire insieme agli allievi il suo percorso senza arrivare peraltro ad un approfondimento eccessivo, ciò che comporterebbe sconfinamenti disciplinari verso la fisiologia vegetale, la biochimica, la biologia molecolare.

Allo scopo di rendere il discorso più esplicito, sono stati allegati al testo i seguenti schemi:

- a) una mappa che comprende i concetti fondamentali trattati – più o meno diffusamente – in questa raccolta e alcune possibili interconnessioni negli itinerari proposti (Tav. I);
- b) una possibile ripartizione funzionale (Tav. II), nell'arco dei tre anni della scuola media, delle varie proposte didattiche che nel testo sono corredate da numerose esperienze ampiamente sperimentate.

Gli autori di questo testo hanno collaborato alla preparazione di quel prezioso contributo alla didattica extrauniversitaria quale è "La macchina albero" pubblicato dal Seminario Didattico della Facoltà di Scienze m.f.n. di Pisa nel 1985. Esso è ancora un valido esempio di come si possono integrare scienze fisiche e scienze biologiche e può costituire un ottimo ausilio didattico da utilizzare ad integrazione dei percorsi qui proposti.

*Paolo Meletti*

*Dipartimento di Scienze Botaniche – Pisa*

Pisa, Dicembre 1995.



## 1. Osservazioni sul moto del Sole

### Alternarsi del giorno e della notte: il moto apparente del Sole

La vita della maggior parte degli animali, come pure quella dell'uomo, è scandita dall'alternarsi di periodo di luce e periodi di buio, prodotti dal continuo “movimento apparente” del Sole che sorge, si alza nel cielo, torna a scendere ed infine tramonta. Il ripetersi ciclico di queste fasi fornisce il primo strumento naturale per la misura del tempo che passa: il giorno. Di giorno in giorno l'uomo ripete le sue azioni fondamentali: dormire, lavorare, mangiare; la sua vita, quella degli animali e – anche se in modo meno appariscente – quella delle piante è regolata da questo “moto” del Sole.

Scopo di questo capitolo è di descrivere, prima qualitativamente poi in modo più quantitativo, il “moto” del Sole per poterne ricavare delle connessioni con altri aspetti dell'esperienza comune. Per fare questo sarà necessario definire un *riferimento*, fare *osservazioni*, eseguire poi delle *misure*. Per quanto ci si richiami in tal modo ad osservazioni che hanno caratterizzato gli albori della civiltà umana, non si vuole con questo tenere un atteggiamento strettamente storico, fino al punto di voler forzatamente ignorare le conoscenze che da molto tempo costituiscono un bagaglio di cultura comune.

Così ad esempio, riferendoci al Sole, abbiamo messo tra virgolette la parola “moto” per sottolineare che si tratta di un fenomeno apparente, essendo noto a tutti – e ai ragazzi d'oggi in primo luogo – che è la Terra a muoversi e non il Sole <sup>[1]</sup>.

Ciò non toglie che da un punto di vista cinematico le due descrizioni sono equivalenti; l'esempio noto a tutti della giostra è abbastanza soddisfacente: il bambino seduto sulla giostra vede fermi gli altri bambini accanto a lui e vede girare attorno a sé i genitori che lo osservano da fuori. Analogamente noi vediamo fermi i monti, le case, gli alberi che stanno sulla superficie terrestre e vediamo muovere attorno a noi il Sole, la Luna e le stelle. Parlando quindi di moto del Sole (e d'ora in poi non useremo più le virgolette) non vogliamo ignorare conoscenze acquisite da secoli; vogliamo semplicemente descrivere i fatti come li vediamo, come “appaiono”.

---

[1] Va detto che spesso si fa confusione su questo punto, quando si obietta che “la Terra gira intorno al Sole e non viceversa”. Qui in realtà occorre considerare il moto di rotazione della Terra sul suo asse, non quello di rivoluzione attorno al Sole; è il primo infatti che produce localmente l'alternarsi della luce e del buio. Del movimento di rivoluzione si tornerà a parlare più avanti.

## Osservazioni qualitative

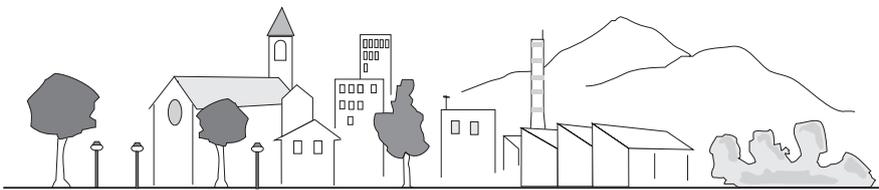
Se proviamo a seguire un aereo che passa alto nel cielo, quasi certamente possiamo avere l'impressione che quello sia fermo, sospeso nell'aria. Guardando l'aereo con un binocolo, ma anche semplicemente attraverso un tubo di cartone, la stessa impressione può essere anche più forte. Anche per una nave in alto mare succede qualcosa di simile e spesso possiamo capire che essa è in movimento solo dalla scia che lascia dietro di sé.

In realtà noi diciamo che un oggetto *si muove* quando si allontana o si avvicina a qualche altro oggetto; così se vediamo un'automobile per la strada ci accorgiamo immediatamente se la sua posizione rispetto ad un albero, ad un cartello, ad una casa sta cambiando. Per l'aereo o la nave la cosa è più difficile perché normalmente non ci sono oggetti vicini cui fare riferimento.

In modo analogo se vogliamo studiare più accuratamente il moto del Sole occorre innanzitutto familiarizzarsi con il paesaggio intorno a noi, rispetto al quale il Sole si muove. Il primo modo di osservare il movimento del Sole è quello di riferirlo al paesaggio. Pur senza voler caricare l'espressione di un preciso contenuto formale, diremo che il paesaggio costituisce il nostro "*sistema di riferimento*". Il primo passo è dunque quello di osservare più attentamente il paesaggio.

### *Osservare il paesaggio*

Innanzitutto – se è possibile – è bene scegliere un luogo che offra un'ampia visuale, da cui sia possibile osservare successivamente il moto del Sole per un lungo tratto. Può andar bene una finestra che non abbia altri edifici a ridosso, un ampio cortile, un prato o un campo da gioco. Fissato il punto di osservazione, occorre dedicare un po' di tempo ad osservare e rappresentare (anche schematicamente) su un foglio il panorama di fronte a noi, individuando gli elementi più caratteristici del paesaggio, quali un campanile, un albero di forma particolare, un palo della luce, una casa più alta, una montagna lontana. In tal modo dovremo coprire almeno una metà dell'intero orizzonte, quella dove "passa" il Sole, o comunque la maggior parte di questa.



*Fig. 1: Paesaggio schematico*

Si noterà facilmente che la posizione relativa di oggetti a distanza diversa (ad esempio un lampione vicino rispetto ad una casa lontana) può cambiare notevolmente se ci spostiamo da qua a là; è quindi necessario fissare in modo accurato la nostra posizione così da poter fare le osservazioni stando sempre nello stesso punto. Il "*sistema di riferimento*" così ottenuto dovrebbe essere poi riprodotto (fotocopiato) in più esemplari per poter essere utilizzato successivamente.

### *Riferire al paesaggio la posizione del Sole*

Per quanto possa sembrare sorprendente, sono molti i ragazzi che non hanno alcuna familiarità con il fatto che il Sole cambia continuamente posizione durante il giorno. Non è quindi per niente scontata un'esercitazione consistente semplicemente nell'osservare la posizione del Sole più volte durante la giornata e – riferendosi al paesaggio osservato da uno stesso punto – notare che essa è cambiata. Il passo successivo consiste nel riprodurre la posizione del Sole, nel modo più accurato possibile, sul disegno schematico del paesaggio.

Dopo i primi tentativi forse insoddisfacenti, si dovrebbe poter rappresentare senza troppa difficoltà il percorso del Sole, come una successione di posizioni ad intervalli possibilmente uniformi di tempo, notando che nel corso della giornata la direzione in cui si vede il Sole cambia continuamente mentre il Sole “sale” durante la mattinata e “scende” nel pomeriggio.

Pur senza specificarne fin d'ora l'esatta definizione si può già parlare di *altezza* del Sole, per esempio dicendo che “il Sole è alla stessa altezza della cima del campanile” oppure che “è sulla verticale del terzo lampione ad un'altezza doppia di questo”. È chiaro fin d'ora che l'*altezza* del Sole non si potrà misurare in metri o in chilometri e quindi pur usando la stessa parola non si intende la stessa cosa dell'altezza del campanile o del lampione, ma su questo si potrà tornare più avanti.

Un'altra osservazione importante può essere fatta relativamente al punto in cui il Sole sorge (se è possibile osservarlo) e a quello in cui tramonta (questo dovrebbe essere più agevole, specialmente in inverno). Di questa osservazione conviene prendere nota per poterla confrontare con quello che succederà col passare del tempo.

Anche le ombre, durante la giornata, cambiano continuamente posizione ed aspetto; neppure questa per molti ragazzi è un'osservazione scontata e può valer la pena dedicare un po' di tempo a seguire il cambiamento di un'ombra [2].

Parlando di ombre, cominceremo con la considerazione che la direzione individuata dall'ombra è collegata alla posizione in cielo del Sole, cosicché è possibile studiare il moto del Sole analizzando il comportamento dell'ombra di un dato oggetto. Ma prima di arrivare a questo punto è bene fare altre osservazioni preliminari, svolgendo un po' di attività pratica in classe con l'ausilio di un'attrezzatura semplice e di facile reperibilità.

Vale la pena sottolineare fin d'ora che le attività proposte non possono essere semplicemente *illustrate*, ma vanno realmente *eseguite*: i risultati di osservazioni basate su prove dirette sono essenziali alla costruzione di concetti astratti (quali le relazioni spaziali tra oggetti fermi o in moto relativo) necessari alla comprensione delle attività successive. Le figure riportate servono quindi solo di aiuto per la costruzione dell'ambiente di lavoro e non sono sostitutive delle prove stesse.

### *Giocare con le ombre: la luce viaggia in linea retta*

Per il lavoro che viene ora suggerito occorrono una o più lampade [3], una serie di piccoli oggetti quali pupazzetti, blocchetti tipo LEGO, sagome di cartoncino ritagliate

---

[2] Osservando l'ombra di un palazzo o di un palo alto, ed avendo a disposizione degli elementi di riferimento (un pavimento di mattonelle, linee tracciate in terra o altro) è possibile seguire direttamente il movimento dell'ombra, cioè percepire istante per istante il moto del Sole, o – se ci riusciamo – il moto di rotazione della Terra.

[3] Può andar bene qualunque lampada da tavolo, ma sarebbe preferibile inizialmente una lampada da officina che può essere impugnata, spostata e tenuta in mano con più facilità, oppure

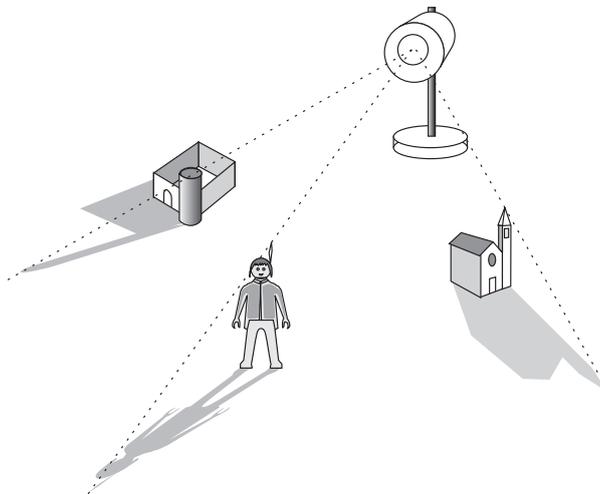
e montate *ad hoc* e qualche bacchetta lunga e sottile per individuare il percorso della luce. Si lavora in classe, possibilmente in penombra per poter vedere meglio le ombre prodotte dagli oggetti illuminati dalla lampada.

Si inizia con una discussione qualitativa: se si dispongono gli oggetti su un piano e si illuminano, inizialmente con la lampada ferma in una certa posizione, poi muovendo la lampada. Si può vedere (cfr. figura 2):

a) le ombre degli oggetti sono sempre dalla parte opposta della lampada rispetto agli oggetti stessi;

b) un punto di un oggetto ed il punto corrispondente della sua ombra (ad es. un particolare di un pupazetto, il suo cappello) sono allineati con la lampada; considerando due o più oggetti, tutte le rette così individuate convergono verso la lampada;

c) l'ombra di un oggetto è tanto più corta quanto più la lampada viene portata sopra l'oggetto (sulla sua verticale), mentre si allunga quando si abbassa la lampada sul piano.



*Fig. 2: Osservazioni sulle ombre*

Successivamente si può passare ad osservazioni quantitative, per le quali è preferibile usare degli oggetti di forma semplice, ad es. delle sagome di cartoncino di altezza nota del tipo di quelle riportate in figura 3.

Si dispone un certo numero di sagome su un piano, o meglio su un foglio di carta quadrettata, così da poter segnare su questo sia la posizione delle sagome che le relative ombre. Si possono adesso svolgere alcuni esercizi.

a) Si dispongono a caso sul piano un certo numero di sagome; per ogni sagoma si segna sul foglio il piede dello spigolo verticale e il vertice dell'ombra, tracciando

---

una torcia, non troppo piccola.

...continua...

## 2. Ciclo diurno e stagionale dell'illuminamento

### La durata dell'illuminamento solare

Nel capitolo precedente abbiamo raccolto delle osservazioni e trovato la durata del periodo di luce nell'arco di una giornata e come questa durata varia durante l'anno.

Il risultato si riferisce ovviamente alla località ove ci troviamo e per capire se e come le cose vanno diversamente in un'altra località occorrerebbe spostarsi oppure scambiare le osservazioni con quelle di un altro gruppo che opera altrove.

Ma come si potrebbe determinare la durata del periodo di luce in qualunque giorno e località, senza ricorrere alle osservazioni?

Il metodo che viene qui mostrato fa uso di semplici elementi di geometria, ma ciò nonostante consente di ottenere risultati di grande utilità pratica, per quanto approssimati. Al tempo stesso ci si può rendere conto come anche gli antichi potessero avere grandi capacità di calcolo e previsione in campo astronomico, pur non disponendo delle moderne strumentazioni di osservazione e di calcolo.

*Durata del giorno e della notte: un calcolatore... geometrico.*

Il calcolo esatto della durata del periodo di luce è molto complicato e richiede conoscenze e tecniche che esulano dall'ambito di questa presentazione. Ma se ci si accontenta di una stima – con un'approssimazione dell'ordine di diversi minuti – sufficiente a capire come vanno le cose in una qualunque località, si può utilizzare il metodo qui presentato che al posto della necessaria matematica (algebra, analisi, trigonometria...) fa uso di semplici figure geometriche.

Per ridurre al minimo le difficoltà si devono naturalmente operare certe semplificazioni, come quella di considerare che la Terra si muova attorno al Sole su un'orbita circolare, a velocità uniforme. Si trascura quindi l'eccentricità dell'orbita, cioè il fatto che l'orbita in realtà è ellittica.

È bene precisare che per *periodo di illuminamento* si intende il tempo in cui il Sole, o una porzione di esso, è al di sopra dell'orizzonte; non si tiene quindi conto dei periodi detti di "crepuscolo" in cui il cielo è ancora più o meno luminoso mentre il Sole non è ancora sorto o è già tramontato. Ma, a parte questo, altri due importanti fatti verranno trascurati: la dimensione apparente del Sole e la presenza dell'atmosfera. Il Sole non è puntiforme (in una giornata di cielo densamente velato o di nebbia, quando sia possibile guardare verso il Sole senza abbagliarsi, si vede chiaramente un dischetto luminoso grande all'incirca quanto la Luna, con un diametro angolare di circa mezzo grado) e per questo motivo impiega un certo tempo a scomparire del tutto dietro l'orizzonte. L'atmosfera fa apparire gli oggetti celesti un po' più alti sull'orizzonte e dunque anche per questo motivo la durata effettiva del periodo di luce sarà sempre più lunga di quella calcolata con questo metodo. La differenza, che per i due effetti è di almeno 7 minuti, dipende sia dalla data che dalla latitudine del luogo; può essere di una decina di minuti, a latitudini intermedie, e aumenta andando verso le zone polari; di questo si potrà tener conto nel risultato finale.

## Calcolo della durata del giorno e della notte

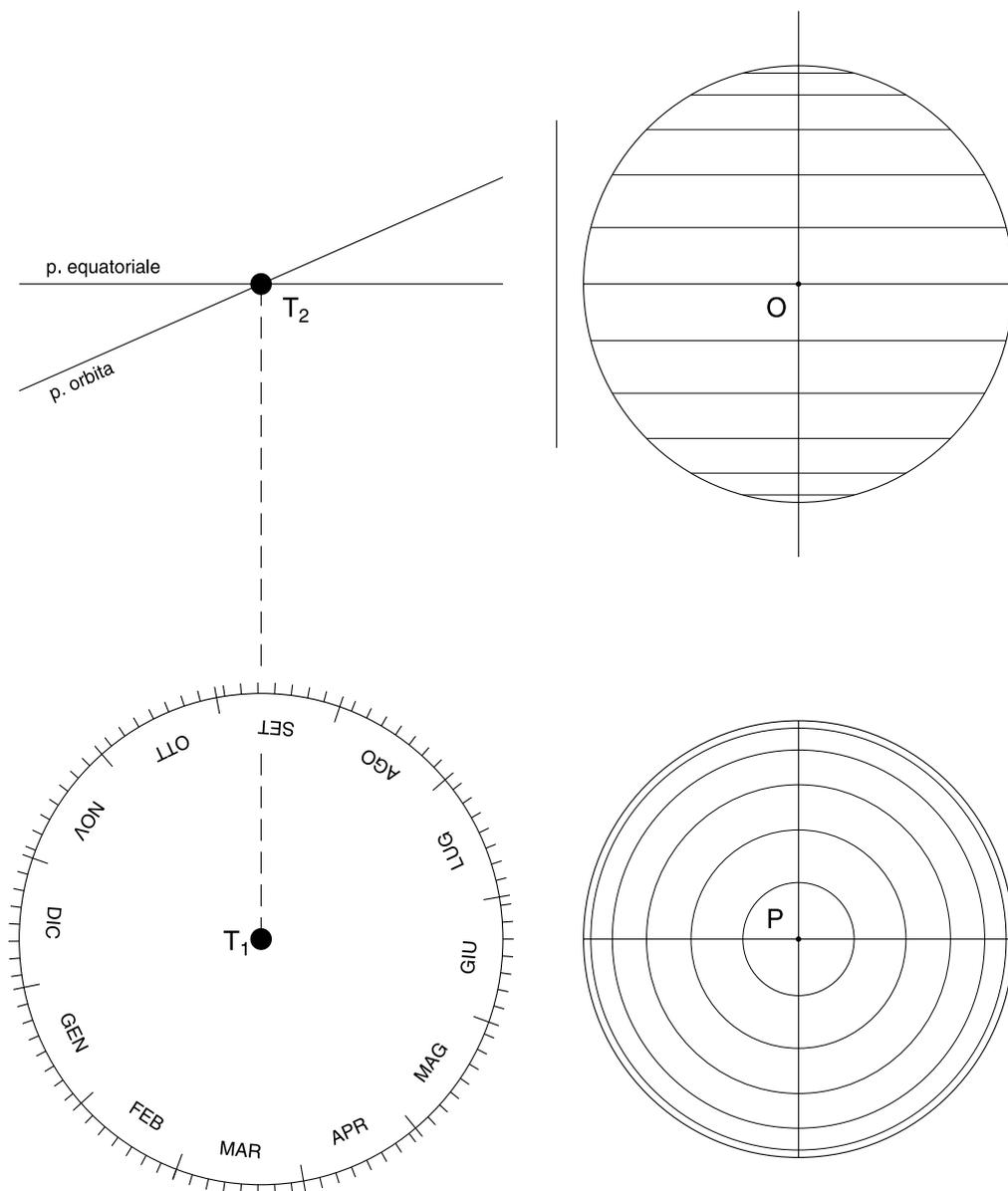


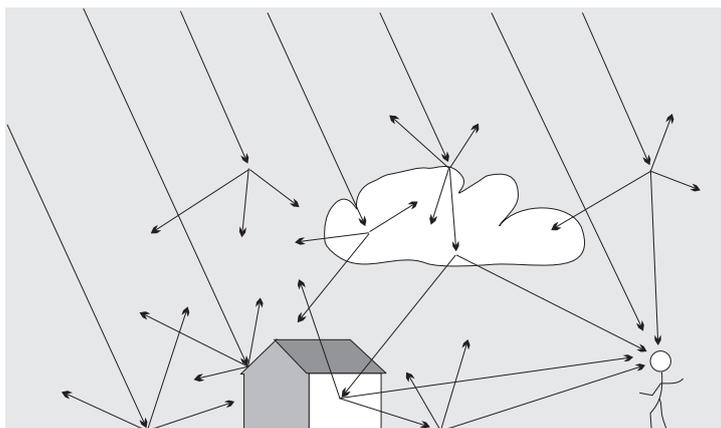
Fig. 18: Il calcolatore "geometrico". Originale da fotocopiare.

...continua...

### *Assorbimento e diffusione*

Quando la luce colpisce un oggetto, nella maggior parte dei casi una parte di questa viene assorbita e una parte viene diffusa, cioè riemessa in tutte le direzioni. La luce diffusa è quella che ci consente di “vedere” il corpo; un corpo che assorbisse tutta la luce che riceve apparirebbe nero e potrebbe essere visto solo come un’ombra rispetto ad un fondo più chiaro.

Se la diffusione avviene solo sulla superficie del corpo, e la luce non lo attraversa, il corpo si dice opaco; se la luce attraversa in parte il corpo e la diffusione avviene anche all’interno di questo, il corpo si dice traslucido. È questo il caso di un foglio di carta, di un vetro smerigliato, delle nuvole che coprono il Sole ma ne diffondono la luce anche al di sotto di esse.



*Fig. 33: “Vedere” significa ricevere luce da ogni direzione.*

Un comportamento diverso presentano le superfici che, per natura o per lavorazione, vengono chiamate “lucide”. Su di esse si manifesta il fenomeno della “riflessione”, quando una frazione più o meno grande della luce incidente viene riemessa in una particolare direzione <sup>[20]</sup>. In questo argomento non vogliamo però addentrarci ulteriormente.

### **Luci e ombre “a colori”**

#### *La luce bianca è colorata*

Una delle caratteristiche più appariscenti dei diversi materiali, o più in generale degli oggetti che abbiamo intorno, è certamente il colore. La percezione dei colori è però al tempo stesso un argomento tanto immediato quanto complicato. Ci accontenteremo allora di un approccio qualitativo attraverso delle semplici esperienze e, prima ancora, facendo riferimento all’esperienza comune.

Il punto di partenza potrebbe essere dato da due osservazioni quasi banali:

---

[20] Quella per cui l’angolo con la retta perpendicolare alla superficie (angolo di riflessione) è uguale all’angolo tra la luce incidente e la stessa perpendicolare, nel piano determinato dalla luce incidente e la perpendicolare.

- usando la stessa luce i diversi oggetti appaiono di colori diversi;
- usando sorgenti (luci) diverse lo stesso oggetto appare di colori diversi.

La prima osservazione non ha bisogno di commenti; per la seconda, anche se le differenze di colore possono non essere del tutto evidenti, si pensi al diverso “effetto” che si ha usando lampadine a incandescenza oppure luce al neon, o illuminando gli oggetti alla luce solare. Spesso, andando ad acquistare un vestito, la commessa invita il cliente ad uscire per vedere “meglio” i colori alla luce del giorno.

Da queste due prime osservazioni segue dunque che la percezione del colore non dipende né solo dall’oggetto, né solo dal tipo di luce, ma nasce dall’interazione della luce con l’oggetto illuminato.

Potremmo dire che:

- la luce che chiamiamo *bianca* è quella che, illuminando diversi oggetti, mostra la gamma più vasta di colori (tutti);
- se si utilizza luce colorata, alcuni colori (e in particolare il bianco) non si riescono a vedere più.

Con opportune sorgenti, o con opportuni filtri interposti davanti alla sorgente di luce, o con dispositivi più compessi, si potrebbe avere la luce detta “monocromatica”: questo accade quando tutti gli oggetti appaiono di un solo colore, con varie gradazioni d’intensità, oppure neri, a seconda dalla frazione di luce che viene assorbita e da quella che viene diffusa. L’assorbimento totale fa vedere nero l’oggetto (ma sarebbe meglio dire che l’oggetto non si vede, se ne vede solo il profilo rispetto ad un fondo luminoso o diversamente colorato), la totale diffusione lo fa vedere molto distintamente (sempre che sia distinguibile dal fondo).

Con mezzi semplici è praticamente impossibile avere della luce monocromatica. Se utilizziamo lampade colorate la luce contiene sì un colore dominante, ma è tutt’altro che monocromatica; la prova immediata si ha illuminando oggetti diversi e notando che possono ancora distinguersi vari colori.

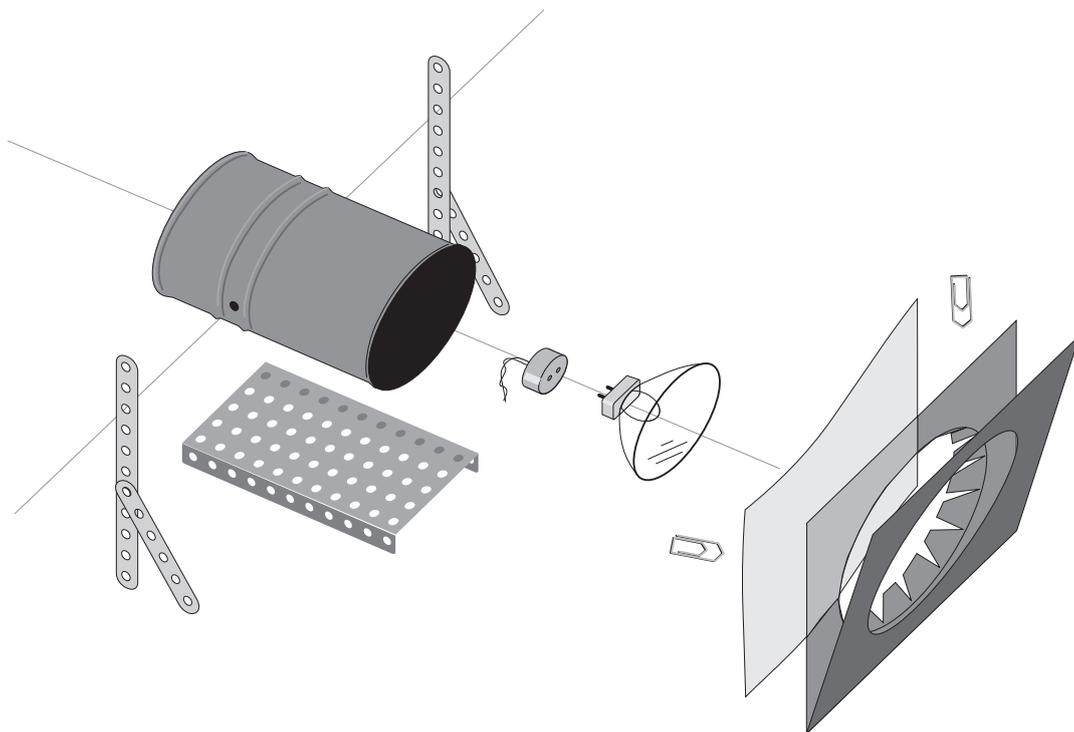
### *Sorgenti colorate*

Nelle esperienze che seguono si utilizzeranno tre sorgenti di luce colorata. In realtà sono lampade uguali con interposto un filtro colorato che lascia passare solo una parte della luce.

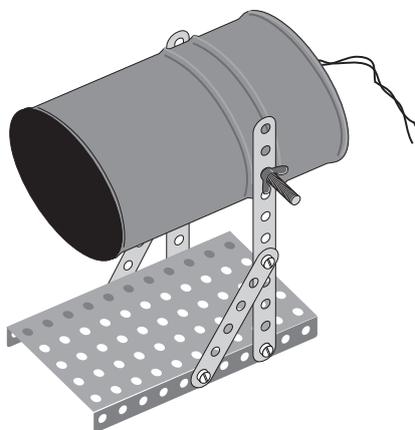
Come sorgenti si possono utilizzare i soliti faretto che si vedono spesso nelle vetrine dei negozi (lampade dicriche a basso voltaggio, con idoneo trasformatore). Può essere sufficiente acquistare la lampada con la propria basetta ed utilizzare un comune barattolo di latta (tipicamente quelli usati per prodotti alimentari, pomodori o legumi) per ottenere un proiettore orientabile, una volta installato su un qualche supporto. Davanti a questo, con del cartoncino nero, si può montare un supporto per i filtri o per diaframmi di varie forme. In figura 34 è mostrata una vista dei diversi componenti utilizzati; il supporto è costituito di una semplice struttura realizzata con pochi pezzi di “Meccano” [21]. Nella successiva figura 35 è mostrato l’oggetto montato (senza il supporto dei filtri).

---

[21] Colgo l’occasione per ringraziare mio figlio Marco per avermi “prestato” i pezzi necessari e per aver montato i supporti che sono serviti nella sperimentazione di questo lavoro.



*Fig. 34: Schema di montaggio di un proiettore con portafiltri.*



*Fig. 35: Uno dei proiettori, montato.*

Per ottenere delle buone sorgenti colorate, senza ricorrere a costosi filtri in commercio, la cosa migliore sarebbe l'uso di particolari pellicole, dette "gelatine", che vengono

montate davanti ai proiettori utilizzati nei teatri; ugualmente efficaci, ma molto più facilmente reperibili nelle cartolerie, sono alcuni tipi di cartelline per inserti, trasparenti a colori vivaci.

Altri tipi di materiali diversi possono essere sperimentati; più oltre verranno date alcune indicazioni pratiche per effettuare una selezione dei filtri più idonei, fermo restando che un primo criterio è quello detto sopra: minore è il numero di colori che si riescono a distinguere, migliore è la combinazione lampada-filtro.

Le tre sorgenti che saranno utilizzate sono blu, verde e rossa; le esperienze che vengono ora proposte riusciranno tanto meglio quanto più accurata sarà stata la scelta dei filtri colorati.

### *Un gioco: i colori misteriosi*

Nel complicato meccanismo della percezione dei colori ruoli essenziali sono svolti dagli occhi e dal cervello che acquisiscono ed elaborano gli stimoli prodotti dalla luce. Il cervello in particolare arriva talvolta a compensare la mancanza di informazioni attraverso il ricordo di esperienze precedenti. Così, se utilizziamo sulla nostra scrivania una lampada azzurrata, in poco tempo l'occhio e il cervello si adattano alla nuova situazione e siamo in grado di riconoscere in modo sostanzialmente corretto i diversi colori, anche se questi sono tutti modificati.

Una verifica di questo potrebbe essere fatta fotografando con pellicola a colori dei cartoncini di colori diversi, ma di uguale forma e dimensioni, così da non poterli identificare – consciamente o incoscientemente! – grazie ad altri elementi. È bene che le foto, eseguite con diverse sorgenti di luce colorata, siano fatte su un unico rotolino perché spesso nello sviluppo e stampa di rotolini diversi si notano alterazioni cromatiche anche sensibili.

Per questo motivo, per il nostro “gioco”, occorre avere a disposizione uno o più oggetti, possibilmente di forma uguale, che non siano stati visti prima in luce naturale, in modo da non avere precedenti riferimenti. Potrebbe andar bene la riproduzione di un quadro astratto, oggetti non familiari, oppure oggetti che differiscono solo per il colore come un insieme di mattoncini LEGO per costruzioni.

Disposti questi oggetti al buio si accende un faretto colorato: per esperienza conviene che sia quello rosso perché per questo colore è più facile avvicinarsi ad una situazione monocromatica. Si tratta ora di indovinare il colore delle diverse parti dell'immagine o dei diversi mattoncini, cosa praticamente impossibile perché tutto appare rosso chiaro, oppure scuro, o quasi nero.

Spento il faretto rosso si accende quello blu. Adesso tutto dovrebbe apparire blu, più chiaro o più scuro; spesso gli oggetti che prima apparivano quasi neri risultano ora più chiari degli altri e viceversa. Purtroppo non è facile procurarsi un buon filtro blu, cosicché tra gli oggetti scuri si notano quelli con sfumature rossastre o di altri colori.

Accendendo infine il solo faretto verde si vedrà (di solito succede così) una maggiore gamma di sfumature di colore, perché è ancora più difficile ottenere una buona sorgente verde. Tuttavia è immediato notare che la resa complessiva dei colori è cambiata nuovamente rispetto alle situazioni precedenti.

Accendendo infine la luce ambiente si potranno riconoscere i diversi colori e verificare se le risposte date erano esatte.

Avendo più tempo a disposizione si potrebbe rifare le prove utilizzando un solo oggetto alla volta, per esempio un foglio di carta appoggiato su un fondo nero. La mancanza di termini di paragone rende alquanto più difficile l'interpretazione di ciò che si vede.

... continua...



## Lavoro sperimentale per l'introduzione di Volume, Densità ed Energia

L. Bosman

*Dipartimento di Fisica – Pisa*

---

### 1. Il volume di un corpo e la sua misura

L'attività operativa concreta che qui viene proposta ha lo scopo di chiarire agli allievi il concetto di volume di un corpo, distinguendo dal processo di misura.

È noto a chi ha esperienza didattica che il termine “volume” assume, per gli allievi della scuola dell'obbligo, un significato dipendente dal contesto particolare: in ambito scolastico si parla di volume intendendo capacità di recipienti, e volume di oggetti di forma regolare (solidi geometrici semplici e composti); in entrambi i casi si pensa ad una “grandezza” che si “calcola” a partire dalle misure delle dimensioni (interne ed esterne dell'oggetto). Nell'ambito della realtà quotidiana si parla di volume per intendere la capacità di recipienti contenitori che generalmente sono già tarati. Spesso la richiesta di valutare il volume – ad es. di un sasso – mette in difficoltà.

#### *Premesse necessarie al lavoro*

Gli allievi dovrebbero essere in grado di:

- eseguire semplici operazioni di misura usando strumenti (metro, bilancia, contasecondi);
- riassumere in tabelle i risultati di operazioni pratiche, ad es. raggruppamenti di oggetti in base a criteri dati; specificare differenze entro collezioni, ecc.;
- usare simboli per esprimere relazioni tra grandezze inerenti al sistema in studio;
- costruire grafici e schemi ed interpretare.

Nella prima fase del lavoro risulterà utile tenere distinti i due concetti:

*Capacità*: volume interno di un dato oggetto (recipiente), “quanto contiene”.

*Ingombro*: posto che un oggetto occupa in un dato ambiente (ad es. in una scatola).

Queste denominazioni sono più direttamente legate alle operazioni concrete che le caratterizzano.

Vale la pena di accertarsi che ciò risulti chiaro agli allievi, senza ricorrere a definizioni, ma proponendo operazioni concrete mirate.

Allo scopo possono riuscire utili le seguenti esercitazioni pratiche.

#### **CAPACITÀ**: volume interno di un oggetto.

- a) Mostrare agli allievi due recipienti trasparenti, di forma molto diversa (es. uno di forma conica e l'altro panciuto), contenenti entrambi dell'acqua e chiedere loro quale dei due contiene più acqua, giustificando la risposta data.

Commentare poi le risposte senza indicare il procedimento da seguire per rispondere.

...continua...

### 3. Utilizzazione di energia fornita da sorgenti diverse.

La conservazione dell'energia, presentata nella lezione di E. Fabri riportata in Appendice, ha come conseguenza importante l'esistenza di forme diverse di energia, il che significa che una può fare le veci dell'altra. Ancora la convertibilità è anche quantitativa, cioè tra due quantità di energia di forma diversa, che realizzano lo stesso risultato, c'è un rapporto fisso. Infine la convertibilità permette di usare un'unità di misura unica.

Allo scopo di illustrare in modo anche quantitativo quanto detto si propongono le seguenti esperienze nelle quali si riscalda dell'acqua utilizzando diverse sorgenti di calore: precisamente, utilizzando successivamente un fornello elettrico, uno ad alcool e uno a metano. Nei tre casi si riscaldano tre quantità uguali di acqua.

*Materiale da usare:*

- 3 recipienti uguali (es. tre comuni tazze di metallo smaltato) da 500 cl
- fornello elettrico (FE)
- fornello ad alcool (FA)
- fornello a metano (FM)
- contasecondi
- cilindro graduato
- termometro
- bilancia.

#### a) riscaldamento dell'acqua con il fornello elettrico (erogazione di energia elettrica)

Una quantità di acqua di massa nota (misurata), a partire da una temperatura nota (misurata), viene portata alla temperatura di ebollizione.

Il tempo necessario per l'operazione (misurato) permette di risalire alla quantità di energia erogata, cioè fornita dal FE.

$$\begin{array}{rcc} \text{Energia erogata} & \leftarrow & \text{potenza del FE} \times \text{tempo di riscaldamento} \\ \text{(Joule)} & & \text{(Watt)} \quad \quad \quad \text{(secondi)} \end{array}$$

Per misurare la massa d'acqua da riscaldare, oltre alla bilancia, si può usare il cilindro graduato. In realtà col cilindro si misura il volume dell'acqua, ma tenendo presente la relazione tra massa, volume, densità ( $m = vd$ ), dalla misura del volume, conoscendo la densità (per l'acqua la densità è  $1 \text{ g/cm}^3$ ), si ottiene la misura della massa d'acqua che interessa. Per esempio, una quantità di acqua che ha un volume di  $300 \text{ cm}^3$  (o  $300 \text{ cl}$ ), ha una massa di  $300 \text{ g}$ .

Per misurare il tempo necessario per far bollire l'acqua si usa il contasecondi: si fa partire il contasecondi al momento in cui si mette in funzione il FE con il recipiente con l'acqua, e lo si arresta quando l'acqua bolle. Sul contasecondi si legge il valore (numero di secondi) della durata dell'operazione.

Per misurare la temperatura si usa il termometro. Questo è uno strumento delicato, tuttavia occorre far vedere come funziona; si raccomanda però che le misure di temperatura siano ridotte al minimo necessario ed avvengano in condizioni non precarie.

Si consiglia di preparare per tempo (almeno due ore prima delle prove) il materiale occorrente ed una riserva di acqua (es. 2 litri) in modo che tutto si porti alla stessa temperatura dell'ambiente. Al momento del lavoro, si misura la temperatura dell'acqua, prima di ripartirla nei tre recipienti destinati alle tre prove a), b), c), si ottiene così lo stesso valore della temperatura iniziale dell'acqua per le tre prove. La temperatura di ebollizione dell'acqua è la temperatura finale per l'esperimento. Poiché tale valore della temperatura è noto si può evitare di usare il termometro in acqua bollente, a meno che si disponga dell'attrezzatura adatta.

### *Che cosa intendiamo per temperatura di ebollizione dell'acqua?*

Per decidere, senza usare il termometro, ma con una certa sicurezza il valore della temperatura che ci interessa, ci si può avvalere dei risultati di osservazioni dirette (fatte usando il termometro).

Nel corso del riscaldamento dell'acqua, dopo una fase iniziale, si può vedere che la superficie dell'acqua vibra mentre sul fondo si formano piccolissime bollicine. Ai 50° e 60° le bollicine aumentano in numero ed in grandezza e salgono verticalmente. Successivamente l'acqua, all'inizio dell'ebollizione, fa un rumore caratteristico (verso 80°), mentre bolle sempre più grandi salgono rapidamente in superficie. Si passa quindi ad una fase in cui, si dice, l'acqua bolle tumultuosamente: tutta la massa dell'acqua si agita e grosse bolle salgono rapide urtandosi e combinandosi. Quando si stabilizza questa situazione siamo alla temperatura di ebollizione (tumultuosa) dell'acqua a 100°. I dati numerici riportati si riferiscono alla situazione di pressione atmosferica standard; in località in cui il valore della pressione atmosferica è diverso la temperatura di ebollizione è diversa per cui o si fanno le misure o si cerca di sapere il dato che interessa.

### **Dalle misure dirette di grandezze alla determinazione dei valori di altre grandezze.**

I risultati delle misure delle grandezze massa, temperatura, tempo, vanno espressi con il numero fornito dallo strumento e la relativa unità di misura. Prima di elaborare i dati sperimentali (risultati delle misure) per determinare i valori di altre grandezze bisogna assicurarsi che il sistema di unità di misura sia lo stesso per tutte le grandezze in questione, pena la validità del risultato finale.

La scelta del sistema di unità di misura è prioritaria rispetto a quella dell'argomento di lavoro e quindi indipendente dai particolari strumenti di misura che verranno usati. Il sistema di misura da scegliere è il *Sistema Internazionale* (S.I.).

Nel corso di un'attività, i risultati di un'operazione di misura dipendono dai particolari strumenti impiegati sia per i valori numerici che per l'unità di misura, che possono anche non corrispondere a quelle del sistema scelto. Una volta espressi i risultati delle misure nel sistema S.I. si procede alla loro elaborazione per ottenere il risultato finale.

Negli esempi riportati le grandezze misurate sono espresse nel S.I., quindi anche l'energia erogata per il riscaldamento è espressa in Joule e non in calorie.

Come esempio si riportano i dati ed i risultati di una prova realmente eseguita.

Indicando con:

$m_a$ : massa dell'acqua riscaldata

$T_f - T_i$ : differenza tra la temperatura finale ( $T_f = 100^\circ$ ) dell'acqua e quella iniziale ( $T_i = 20^\circ$ )

...continua...



## Esperienze di Biologia vegetale

C. Anguillesi, I. Grilli

Dipartimento di Scienze Botaniche – Pisa

---

### 1. Le soluzioni nella biologia vegetale.

L'argomento "soluzioni", con particolare attenzione ai problemi di solubilità in solventi diversi e a diverse temperature ed al concetto di acidità e basicità, può essere affrontato utilizzando esperienze molto semplici, fatte con sostanze di facile reperimento e verificate attraverso osservazioni personali, indicatori naturali ed indicatori sintetici universali. Come punto di partenza è opportuno considerare che se si prendono varie sostanze, fra le più comuni, liquide o solide come acqua, zucchero, sale, acetone, sabbia, alcool ecc... e si uniscono fra loro due a due si possono ottenere **soluzioni**, cioè dei *miscugli omogenei e trasparenti di due fasi, solvente e soluto le cui molecole sono distribuite casualmente ed uniformemente* e **miscele** cioè *miscugli non omogenei di materiali diversi che mantengono ciascuno le proprie caratteristiche e possono mescolarsi in vari rapporti ed in vari stati*.

Due sono i punti che debbono essere tenuti presenti nell'affrontare questo argomento con i ragazzi:

- 1) l'uso di solventi diversi dall'acqua in modo da non indurre l'idea errata che questa sia un elemento essenziale delle soluzioni;
- 2) l'uso di sostanze che non interferiscano tra loro rendendo meno evidente l'esemplificazione.

Infatti, anche se solitamente si pensa che una soluzione sia costituita da un solvente liquido e da un soluto solido come nel caso della tintura di iodio (alcool etilico e cristalli di Iodio) e dello sciroppo (acqua e zucchero), esistono anche soluzioni di sostanze in stati diversi.

Si possono allora distinguere vari tipi di miscele e di soluzioni. Sono **miscele**: la *nebbia* (sospensione di acqua nell'aria); il *latte* (emulsione di sostanze liquide); il *fumo* (sospensione di particelle nell'aria); le *schiume* (miscele di sostanze gassose e liquide). Sono invece **soluzioni**: l'*acqua di mare* in cui esiste una componente solida (i sali come NaCl e KCl) ed una gassosa (l'O<sub>2</sub> che consente la respirazione di tutti gli organismi e la CO<sub>2</sub> che permette la fotosintesi delle piante) disciolte nell'acqua; l'*aria* che respiriamo formata da vari gas (O<sub>2</sub>, N e CO<sub>2</sub>); l'*acqua frizzante* da tavola costituita da CO<sub>2</sub> disciolta in acqua; il *vino* costituito in gran parte da alcool etilico disciolto in acqua in cui la gradazione esprime la quantità di alcool; l'*oro* o l'*argento* da oreficeria costituiti da leghe cioè da miscugli omogenei di solidi in solidi in cui i carati (18/24) e le unità (800/1000) indicano le parti di elemento puro nel miscuglio.

## Esperienza 1: SOLUZIONI E MISCELE

Materiale occorrente:

- *Due recipienti uguali ed uno più grande, sabbia, fornellino;*
- *acqua, sale da cucina.*

In due recipienti uguali contenenti acqua si aggiungono le stesse quantità di sale da cucina in uno e di sabbia nell'altro. Dopo aver agitato si lascia decantare. Dove abbiamo messo il sale si ha un miscuglio limpido e trasparente, cioè una soluzione; dove abbiamo messo la sabbia si nota che è rimasto un aggregato di materiali diversi, cioè una miscela. Altre sostanze sia solide che liquide si comportano in acqua come il sale e la sabbia e su questa base si può far costruire dai ragazzi una tabella.

Se si riscalda a lungo la soluzione si possono separare i due componenti; il soluto (per convenzione la sostanza presente in minore quantità) si recupera precipitato sul fondo, il solvente (sostanza presente in maggiore quantità) lo si può recuperare facendolo condensare sulle pareti fredde di un recipiente più grande capovolto.

## Esperienza 2: CONCENTRAZIONE

Materiale occorrente:

- *Bicchiere, fornellino, frigorifero, termometro;*
- *acqua, zucchero, sale.*

Si possono fare soluzioni più o meno concentrate o, al contrario, più o meno diluite, variando i rapporti tra solvente e soluto sino a valori, propri per ciascuna coppia, che rappresentano le massime quantità di soluto che si scioglie in un solvente.

In un bicchiere di acqua (200 ml) si scioglie, agitando, 1/2 cucchiaino (3 g) di zucchero o di sale: assaggiando, il sapore risulta poco evidente. Una soluzione così preparata, con piccole quantità di soluto, è *diluìta*. Si aggiungono altri 3 o 4 cucchiaini di zucchero o sale, il sapore è molto più deciso e la soluzione è *concentrata*. Se si aggiunge lentamente ancora soluto aspettando via via che il precedente si sia disciolto, si arriva ad una quantità di soluto oltre la quale non è più possibile sciogliere soluto e la soluzione è detta *satura*.

Se si riscalda una soluzione si può rilevare che all'aumentare della temperatura aumenta la quantità di soluto che si può sciogliere nella stessa quantità di solvente, aumenta cioè la *solubilità* di quella sostanza. Viceversa, facendo raffreddare una soluzione satura ad alte temperature, la solubilità diminuisce e l'eccesso di soluto precipita sul fondo. Con un termometro si misura la temperatura delle soluzioni e si può costruire una tabella di come varia la quantità di sale/zucchero che è solubile in un bicchiere di acqua al variare della temperatura.

Si può quindi dire che la solubilità di una sostanza e la saturazione di una soluzione sono in funzione della temperatura, tenendo presente che esistono sostanze che si comportano in maniera esattamente contraria, come ad esempio i gas disciolti nell'acqua. Infatti riscaldando l'acqua gassata la CO<sub>2</sub> disciolta si libera e l'acqua risulterà meno "frizzante".

### Separazione

Solvente e soluto si possono separare ad esempio riscaldando a lungo la soluzione: il solvente evapora e il soluto rimane sul fondo; con questo principio funzionano le saline, dove l'acqua evapora per il calore del sole e il sale precipita sottoforma di cristalli.

In laboratorio o in attività industriali si può recuperare anche il solvente attraverso il processo di distillazione, mediante il quale le sostanze che evaporano da una soluzione riscaldata fino all'ebollizione possono essere raccolte e condensate in recipienti appositi. Attraverso questo processo si ottiene l'acqua distillata, utilizzata tra l'altro nelle batterie delle automobili e nei ferri da stiro proprio perché priva di qualsiasi sostanza disciolta.

Un altro valido sistema per recuperare l'acqua di una soluzione consiste nel congelamento. Il ghiaccio, che si forma per primo è di acqua pura, mentre il soluto si concentra nel liquido restante. In questo modo nei paesi freddi si ricava il sale dall'acqua di mare: congelando l'acqua si concentrano le soluzioni che possono essere cristallizzate con minore costo energetico.

### Acidità e basicità di una soluzione

Le soluzioni possono essere o acide o basiche o neutre. In genere sono facilmente riconoscibili perché le acide rispondono ad un gusto aspro, aspro amaro e possono corrodere il marmo (effetto delle piogge acide sui monumenti) ed i metalli, mentre le basiche danno al tatto una sensazione di viscido e sono in grado di sciogliere i grassi tanto che, diluite, si usano come smacchiatori (soluzioni di ammoniaca).

Proviamo a lavare un bicchiere che ha contenuto dell'olio: prima con acqua poi, con le opportune cautele, con soluzione di ammoniaca o di soda caustica diluita. Quale trattamento ha il maggiore effetto sgrassante?

Per verificare le differenze tra una sostanza acida ed una basica mediante l'**esame organolettico**, sarà bene utilizzare succo di limone o di pomodoro, yogurth, aceto, e soluzioni molto diluite di soda e di bicarbonato che si prestano senza pericolo all'assaggio. Naturalmente l'esame organolettico non è realizzabile con tutte le sostanze acide o basiche data la pericolosità di molte di esse; inoltre va tenuto conto che si tratta di un tipo di analisi molto soggettiva per cui, poiché i risultati nel campo delle scienze devono essere rigorosamente obiettivi, occorrerà utilizzare metodi non legati all'analisi individuale. Esistono, ad esempio, sostanze facilmente reperibili in natura che assumono un colore diverso quando sono poste in soluzioni acide o basiche. Sono questi gli **indicatori naturali**, cioè coloranti organici che a contatto di piccolissime quantità di una soluzione, cambiano colore in funzione dell'acidità di questa: essi si possono estrarre dai pigmenti dei petali di molti fiori (geranio, violetta, tulipano, ciclamino...), di frutti rosso porpora (ciliege mature, susine...) o di foglie (cavolo rosso, radicchio di Treviso, *Iresine*).

L'utilizzazione degli indicatori naturali è notevolmente complessa perché le determinazioni che ne risultano sono imprecise e per ovviare a questo inconveniente si dovrebbero usare più indicatori. In pratica si possono utilizzare indicatori universali formati da miscele di indicatori che assumono 10-12 tonalità diverse a seconda della soluzione presa in esame e permettono di definirne universalmente e quantitativamente il grado di acidità o basicità, utilizzando una *scala di valori di pH*.

Questa scala si basa sulla concentrazione di ioni  $H^+$  presenti nella soluzione: i suoi valori (gradi di pH) vanno da 0 a 14 e precisamente i pH inferiori a 7 sono propri di soluzioni acide, quelli superiori a 7 di soluzioni basiche. Il pH 7 è caratteristico di

soluzioni neutre. Tanto maggiore è la concentrazione di  $H^+$  liberati in una soluzione, tanto più alto è il grado di acidità e tanto più basso è il pH.

La variazione del colore degli indicatori sia naturali che universali viene detta **viraggio**. Ogni indicatore in una soluzione assume un colore ben definito e caratteristico del suo campo di viraggio; ad esempio, il *violetto di metile* è giallo a pH 0,2 e vira a blu viola a pH 3,2; il *rosso di metile* è rosso a pH 4,2 e giallo a pH 6,3; il *blu di bromotimolo* è giallo a pH 6 e blu a pH 7,5; la *fenolftaleina* è incolore a pH 8,3 e vira a rosso violaceo a pH 10.

Dopo aver determinato con l'aiuto degli indicatori se una soluzione è acida o basica, possiamo studiare il risultato delle loro interazioni. Assaggiando succo di limone puro e succo di limone cui sia stata aggiunta una soluzione di soda o di bicarbonato si nota che il sapore acido è ridotto o scomparso; con l'uso degli indicatori si potrà verificare che si è passati dal pH 2 del succo di limone a quello più basico. Questo tipo di reazione è detto **neutralizzazione**.

### Esperienza 3: INDICATORI NATURALI

Materiale occorrente:

- *Recipienti in vetro da fuoco (piccoli), provette, pipette (Pasteur) o capillari, fornellino;*
- *acqua, succo di limone, soluzione di soda diluita, soluzione di NaCl;*
- *petali di fiori rosa, rossi o blu, foglie, frutti o radici rosse.*

In un recipiente con 30 ml di acqua si fanno bollire fino a quasi completa decolorazione 10 g di materiale vegetale spezzettato. Dopo aver fatto raffreddare, si divide la soluzione ottenuta (indicatore naturale) in 3 provette; in ognuna di queste si aggiunge goccia a goccia:

1) soluzione acida di *succo di limone*,

oppure

2) soluzione basica di *acqua e soda*,

oppure

3) soluzione neutra di *acqua e sale* da cucina e si osserva la variazione di colore (viraggio) dell'indicatore naturale.

Dopo aver registrato il colore della provetta con il succo di limone vi aggiungiamo gocce di soda: l'indicatore vira di nuovo assumendo il colore della soluzione basica. Lo stesso fenomeno si può osservare aggiungendo l'acido all'indicatore trattato con la base.

Utilizzando, per ottenere l'indicatore naturale, materiali differenti, si possono osservare colorazioni diverse.

...continua...

## 2. Dal seme alla pianta.

### Il seme

Le più antiche tracce di vita vegetale sulla terra risalgono a più di 3.000 milioni di anni fa. Le **spermatofite**, cioè le *piante a seme*, sono comparse circa 350 milioni di anni fa affermandosi e diffondendosi rapidamente. Un grande evento nell'evoluzione delle piante superiori, che ha notevolmente contribuito alla conquista della terraferma da parte dei vegetali, è stata l'affermazione di un organo specializzato per la propagazione e conservazione delle specie, il **seme**. Nel corso dell'evoluzione da forme più primitive (**Gimnosperme**) a forme più evolute (**Angiosperme**), lo sviluppo del seme si è semplificato e perfezionato.

L'importanza del seme nelle origini e nella evoluzione delle spermatofite più importanti, cioè le Angiosperme, (**Dicotiledoni e Monocotiledoni**) è evidente se si considera questo organo come passo avanti circa l'efficienza adattativa delle piante nei confronti dell'ambiente esterno. La forte pressione selettiva necessaria per affermare l'evoluzione del seme è stata esercitata dapprima nel corso del suo sviluppo dall'ovulo fecondato determinando la comparsa di molte modificazioni tra le quali, di primaria importanza, la sua protezione all'interno dell'ovario (**frutto**) contro numerosi predatori, soprattutto insetti, attirati dalle grandi quantità di sostanze di riserva lì accumulate.

Anche il processo germinativo e la prima crescita della plantula sono stati oggetto di scelte selettive che volta per volta hanno stabilizzato la situazione più favorevole. Se prendiamo come esempio le *dimensioni del seme* si può facilmente osservare come esistono situazioni opposte: da una parte i *semi piccoli*, che sono i più adattabili in quanto richiedono tempi più brevi di germinazione, possono essere prodotti in maggior numero nella stessa disponibilità di spazio e con lo stesso consumo di prodotti fotosintetici rispetto a *semi più grandi*, e possono, inoltre, essere dispersi con maggiore facilità. Dall'altra parte, però, la buona germinazione e lo sviluppo delle plantule sono favoriti dalle *dimensioni maggiori del seme* che contiene più sostanze nutritive.

Nelle Angiosperme, un notevole numero di strategie adattative sono state utilizzate per arrivare ad un compromesso tra queste situazioni opposte: i semi più grandi ad esempio vengono dispersi con l'aiuto di vari tipi di appendici o per mezzo di caratteristiche che li rendono appetibili agli animali vettori. In molti generi la riduzione del numero degli ovuli a uno o due per fiore rende possibile una maggiore flessibilità rispetto all'ambiente per le piante che producono semi grossi: vale a dire che, in circostanze sfavorevoli, la pianta produrrà pochi fiori riuscendo così ugualmente a dotare di riserve adeguate i pochi semi prodotti, ma, nella stagione più propizia, può subito aumentare il suo potenziale riproduttivo producendo un gran numero di semi. Anche il problema della difesa dei grossi semi dagli attacchi dei predatori può essere eliminato con la produzione nel seme di sostanze amare.

Il seme è l'organo cui viene affidata sia la *conservazione della specie* essendo il momento di vita della pianta più adatto alla sopravvivenza e il più capace di resistere a condizioni ambientali normalmente non tollerabili per la pianta in fase vegetativa, sia la *propagazione della specie* che è affidata al grande numero dei semi prodotti da una sola pianta; al loro interno, durante la quiescenza, una serie di componenti fisiologiche

e strutturali assicurano la sopravvivenza dell'embrione, cioè della nuova pianta a struttura a corno, con foglia, fusto e radice formati da meristemi. Sono questi meristemi che, riprendendo l'attività proliferativa alla germinazione del seme, assicurano l'accrescimento illimitato della pianta attraverso la continua formazione di nuovi organi: fusti, foglie e radici.

### *Morfologia e organizzazione*

Da un punto di vista strettamente botanico con il termine **seme** si intende quella particolare *struttura che si sviluppa da un ovulo dopo il processo di fecondazione*. In senso più lato invece, nella pratica agricola e orticolturale, con il termine seme vengono genericamente indicate diverse *unità di dispersione*, che si sviluppano sia dall'ovulo che dai tessuti associati, come gli acheni (girasole) e le cariossidi (grano, granturco) che rappresentano invece dei veri e propri frutti.

La morfologia del seme è molto varia: sferoidale, ovoidale, oblunga, cilindrica, discoideale, reniforme, appiattita; molto variabili sono anche le caratteristiche esterne aventi significato di adattamenti ecologici atti ad assicurare la disseminazione: può trattarsi di *organi di volo* rappresentati da *peli* (che possono essere presenti sia come fini tomenti, come nella noce vomica, sia lunghi ciuffi isolati o estesi a gran parte della superficie, come nel seme di cotone, dove sono proprio queste particolari strutture che forniscono quella che impropriamente è detta "fibra" del tessuto di cotone), oppure da espansioni alari dei tegumenti; altre volte la diffusione è assicurata da *organi aggrappanti*, tipo creste e uncini, di ogni forma e dimensione; altre volte invece si tratta di adattamenti atti ad invogliare gli animali vettori fornendo loro un *alimento* gradevole come le *formazioni arillari*. L'arillo infatti (tipico quello rosso del tasso) è una proliferazione carnosa che verso la maturità del seme si forma alla base avvolgendolo parzialmente. Un altro esempio è dato dalla noce moscata dove il seme, sotto la polpa carnosa del frutto che lo contiene, è avvolto da un grande arillo lobato, rosso se fresco, giallo se secco, che costituisce la droga nota con il nome di macis.

Il seme maturo tipico è composto dall'**embrione**, dal **tessuto di riserva** (che può anche mancare come nei semi di molte Dicotiledoni), e dai **tegumenti**.

L'**embrione** deriva dalle divisioni della cellula uovo fecondata o zigote; quando è maturo, esso possiede sia l'*abbozzo della radichetta principale* che l'*abbozzo dell'apice caulinare*, detto anche *plumula*, al di sotto del quale sono inseriti i *cotiledoni*, lungo quella porzione di embrione, detta asse ipocotile, che congiunge la plumula con la radichetta.

I **cotiledoni** o foglie embrionali sono parte integrante dell'embrione e derivano anche essi dalle divisioni dello zigote, durante l'embriogenesi possono accumulare sostanze di riserva destinate ad alimentare l'asse dell'embrione al momento della germinazione. Nelle Gimnosperme i cotiledoni sono in numero variabile, non hanno funzione di riserva, ma di vere e proprie foglie. Nelle Dicotiledoni i cotiledoni sono due per lo più di forma e dimensioni uguali, con riserve amilacee e proteiche (come nel fagiolo) o oleose (come nella noce), interi, solo qualche volta lobati (noce) o palmati. Nelle Monocotiledoni, invece, l'unico cotiledone funge da austorio nei confronti dell'endosperma dal quale attinge le riserve per alimentare l'embrione. Nelle Graminee, l'unico cotiledone prende il nome di *scutello* ed è una piccola lamina sulla quale sta appoggiato l'asse dell'embrione. Il destino dei cotiledoni è diverso a seconda che si tratti di piante con seme epigeo o ipogeo. Infatti nelle prime i cotiledoni fuoriescono dal terreno, diventano verdi e fotosintetizzanti e funzionano come vere foglie con una durata di vita anche abbastanza

lunga. Nel secondo caso invece, restano nel terreno e, dopo aver ceduto tutte le loro riserve, degenerano.

Il **tessuto di riserva** vero e proprio è l'endosperma secondario che trae origine dalla fecondazione del nucleo proendospermatico ad opera del secondo nucleo spermatico del granulo di polline. Nelle Angiosperme, di regola, l'endosperma comincia a svilupparsi prima dell'inizio della segmentazione dello zigote, è presente in tutti i semi all'inizio dell'embriogenesi e dalla sua presenza l'embrione dipende soprattutto a livello nutrizionale e di controllo ormonale della crescita.

Nel seme maturo l'endosperma può accrescersi e accumulare sostanze nutritive costituendo un tessuto di riserva permanente come nel ricino e nelle Graminee oppure mancare del tutto essendo stato utilizzato dall'embrione durante lo sviluppo e in tal caso la funzione di riserva nel seme viene assunta dalle foglie dell'embrione (cotiledoni) come ad esempio in molte Leguminose (fagiolo, pisello, lupino).

In un seme maturo, tutte le strutture finora descritte sono rivestite da **tegumenti**, in genere due, derivanti dalle modificazioni delle pareti dell'ovulo: sono detti **testa** il più esterno e **tegmen** il più interno.

Sia l'aspetto che i particolari organografici ed anatomici dei tegumenti seminali variano da specie a specie ed anzi sono così caratteristici che insieme alle forme e alle dimensioni dei semi consentono di individuare la specie di appartenenza: vi sono semi con tegumenti sottili, altri con tegumenti legnosi e di diverse colorazioni. A volte sono impermeabili all'acqua e impregnati di sostanze che li rendono resistenti ai succhi gastrici degli animali che li hanno ingeriti; solo raramente hanno consistenza carnosa, come nelle Aracee e in tal caso sono provvisti, verso l'esterno, di uno strato resistente. In ogni caso la loro struttura è molto variabile e, avendo l'ufficio di proteggere il seme, è correlata anche al tipo di frutto, cioè se il frutto è di tipo indeiscente con pericarpo robusto il tegumento seminale può essere anche sottile, come nella noce, nocciola, ecc., se invece il frutto è deiscente o carnoso i tegumenti sono spesso lignificati, come nell'uva. Nella maggior parte dei semi è visibile una cicatrice di varia forma, detta **ilo**, che sta ad indicare il punto di inserzione del funicolo che teneva attaccato l'ovulo alla placenta dell'ovario.

## Esperienza 6: GERMINAZIONE DEI SEMI E FORMAZIONE DELLE PLANTULE

Materiale occorrente:

- *Vaschette di plastica, carta assorbente o cotone, pinzette, lamette, sabbia di fiume e di mare, torba, argilla, stagnola;*
- *acqua, sale da cucina; semi di pino, fagiolo rosso, fagiolo bianco, pisello, fava, lupino, girasole, grano e granturco.*

Trenta semi di ogni specie sono messi a imbibire per 24<sup>h</sup> nelle vaschette, col fondo ricoperto di carta assorbente o cotone, cui è stata aggiunta adeguata quantità di acqua (i semi più grossi hanno una maggiore necessità di acqua).

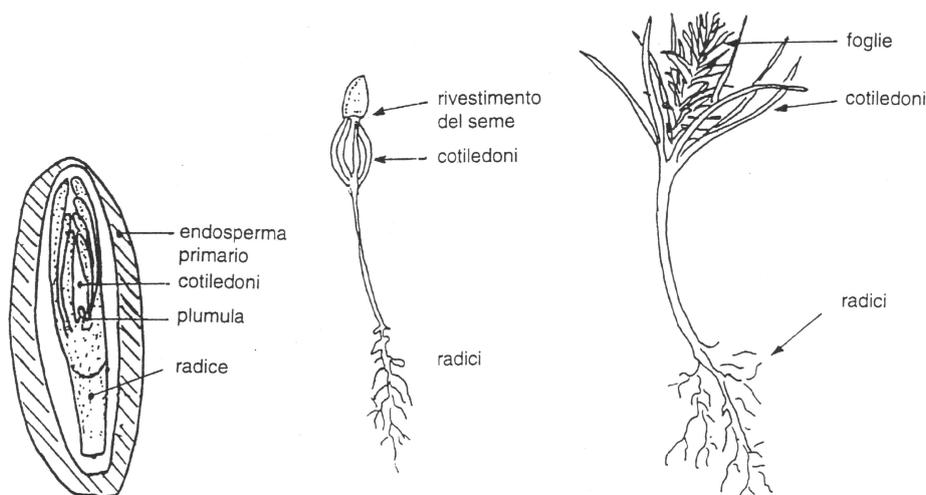
Dopo le 24<sup>h</sup> i semi sono tutti rigonfiati e con l'aiuto delle pinzette e di una lametta possono essere "smontati" per mettere in evidenza le parti costituenti: *tegumenti, embrione, tessuto di riserva.*

In questo modo si può riconoscere la differenza tra monocotiledoni, gimnosperme

e dicotiledoni.

I semi rimasti sono trasportati in cassette di sabbia di fiume e allevati per 15-20 giorni avendo cura di bagnare saltuariamente la sabbia.

Al termine di questo periodo avremo ottenuto delle plantule in cui sarà riconoscibile il fusticino con le prime vere foglie e l'apparato radicale. Si vedrà che i cotiledoni hanno subito delle trasformazioni: in alcune specie rimangono nel terreno, ingialliscono, hanno perduto consistenza (seme ipogeo); in altre sono stati portati in alto, sopra il terreno, dall'allungamento dell'asse ipocotile (seme epigeo), possono diventare verdi e fotosintetizzanti funzionando per un certo periodo come vere foglie (figure 2, 3 e 4).



*Fig. 2: Seme (sezione longitudinale) e stadi di germinazione di Pinus (Gimnosperma). Seme epigeo.*

Per verificare l'importanza dei fattori esterni (buio-luce, basse-alte temperature, concentrazioni diverse di sale e terreni diversi) sulla germinazione dei semi e sulla crescita delle plantule, 10-15 semi di ciascuna specie sono allevati con adeguata quantità di acqua nelle diverse condizioni. Si registra giornalmente il numero dei semi della stessa specie germinati e, al termine dell'esperienza (15-20 giorni), la lunghezza delle plantule ottenute.

...continua...

## La radice e l'assunzione dei sali minerali

La pianta, attraverso i processi di assunzione e traspirazione, regola le sue necessità di acqua; questa però non è l'unica sostanza che viene assorbita dal terreno, infatti la pianta assume anche discrete quantità di sali minerali, disciolti nell'acqua, che apportano una grande varietà di elementi indispensabili per la costruzione e il funzionamento di gran parte delle molecole organiche.

Il processo di passaggio dal terreno alla pianta avviene attraverso un organo specializzato, la **radice** che si sviluppa sotto terra, serve da ancoraggio della pianta al terreno e può funzionare anche da organo di riserva.

Una radice tipica si sviluppa dalla radichetta embrionale e si accresce verso il basso per azione della forza di gravità (**geotropismo positivo**) cui è sensibile la porzione apicale terminale.

La radice, di colore chiaro, non diventa mai verde in quanto i suoi plastidi non si differenziano mai in cloroplasti bensì in leucoplasti, incolori, o amiloplasti dove si accumula amido come sostanza di riserva.

Nella radice si riconoscono varie zone:

- l'**apice** di forma conica, dotato di cellule in attiva divisione, è rivestito da un tessuto di protezione chiamato cuffia;
- la **zona liscia di accrescimento**, dove le cellule neoformate si allungano;
- la **zona pilifera**, ricoperta di sottilissimi peli formati, ognuno, da una unica cellula che estroflette la parete esterna aumentando così la superficie assorbente attraverso la quale avviene, per osmosi, il passaggio, dal terreno alla pianta, della soluzione di acqua e sali minerali in essa disciolti.

La soluzione, una volta entrata nel pelo assorbente, passa da cellula a cellula fino ad arrivare al centro della radice nel *tessuto conduttore* specializzato (**legno** o **xilema**) attraverso il quale arriva in tutto il corpo della pianta (v. Esperienza 9).

## Esperienza 12: ASSUNZIONE DEI SALI MINERALI

Materiale occorrente:

- *Recipienti di vetro chiusi con tappi forati di sughero o gomma o polistirolo espanso, stagnola;*
- *1 g di nitrato di calcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0.13 g di cloruro di potassio  $\text{KCl}$ , 0.25 g di solfato di magnesio  $\text{MgSO}_4$ , 0.25 g di fosfato acido di potassio  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  e solfato di ferro  $\text{FeSO}_4$  in tracce;*
- *plantule di mais o di fagiolo.*

Si utilizzano plantule con radici di alcuni centimetri, ottenute dopo 15-20 giorni di allevamento alla luce su sabbia o segatura umida. Si lavano accuratamente le radici e si fanno passare attraverso i fori dei tappi che chiudono i recipienti contenenti le *soluzioni nutritive* in cui debbono "pescare". I recipienti sono coperti accuratamente con carta stagnola per limitare al massimo lo sviluppo di alghe nelle soluzioni (figura 8).

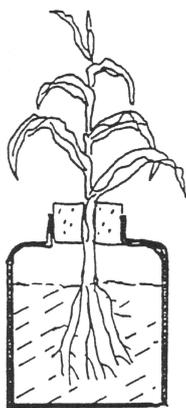
L'importanza dei vari elementi per la crescita delle piante può essere dimostrata allevandole in soluzioni in cui sono stati disciolti i sali meno uno:

n° 1: controllo 1 l H<sub>2</sub>O distillata + Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + KCl + MgSO<sub>4</sub> + KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> + FeSO<sub>4</sub>

n° 2: controllo 1 l H<sub>2</sub>O distillata

n° 3-7: 1 l H<sub>2</sub>O distillata + quattro sali

La crescita delle plantule, seguita per diversi giorni, evidenzia che solo il campione n° 1 avrà uno sviluppo normale dimostrando che le piante possono vivere anche in assenza di terreno (**colture idroponiche**). Le altre plantule cresceranno con uno sviluppo più o meno compromesso dalla mancanza di elementi essenziali quali calcio, azoto, potassio, magnesio, fosforo, ferro, zolfo. Soprattutto l'assenza di magnesio e di ferro, indispensabili per la sintesi della clorofilla, è facilmente evidenziabile perché le nuove foglie che si sviluppano saranno giallicce.



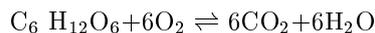
*Fig. 8: Realizzazione di una coltura idroponica*

## La respirazione

Tutti gli organismi viventi respirano, cioè introducono ossigeno ed emettono anidride carbonica. La **respirazione** è quel processo per cui l'energia contenuta nei legami chimici di alcune molecole è trasferita all'ATP (adenosintrifosfato) – sempre disponibile in ogni tipo di cellula – che ha la proprietà di fornire energia per le reazioni chimiche senza però diventare parte del prodotto finale.

Nelle piante, l'energia derivata dal processo fotosintetico, è immagazzinata, soprattutto nei tessuti di riserva, sotto forma di **carboidrati (amido)** e/o **proteine** e **lipidi**. La successiva utilizzazione di queste molecole e la liberazione dell'energia contenuta nei loro legami è un processo graduale che comporta una iniziale trasformazione di gran parte di queste sostanze in glucosio, o per semplice idrolisi come nel caso dell'amido, o attraverso complesse sequenze di reazioni come nel caso dei lipidi.

Il glucosio, nelle piante come negli animali, è ritenuto la molecola di partenza del processo respiratorio vero e proprio mediante il quale questo composto organico a 6 atomi di carbonio è completamente degradato, in presenza di ossigeno, a 6 molecole di anidride carbonica e 6 molecole di acqua secondo la reazione



che libera l'energia contenuta nei legami del glucosio, che sarà utilizzata dalle cellule per la sintesi di ATP o dissipata sotto forma di calore. Negli animali, con un alto tasso respiratorio, il calore dissipato è utilizzato per mantenere costante la temperatura corporea; nelle piante, invece, la respirazione è in genere così lenta che la quantità di calore prodotta non ha effetto sulla temperatura dell'organismo; solo in particolari condizioni sperimentali (semi germinanti in una bottiglia termica) è possibile registrare la produzione di calore.

In casi eccezionali però il calore prodotto della respirazione è dimostrabile direttamente anche in organi vegetali: alla fioritura lo *spadice dell'Arum*, o gigaro, aumenta la temperatura di 17°C rispetto all'ambiente, in *Cucurbita* si ha un innalzamento di 10°C. Questa produzione di calore è biologicamente utilizzata nel gigaro per attirare gli insetti impollinatori in quanto provoca la volatilizzazione di sostanze odorose.

Fattori ambientali possono influire sulla intensità della respirazione nelle piante: tra questi il più importante è forse la **temperatura**. La temperatura minima alla quale è ancora misurabile la respirazione è di solito intorno ai -10°C, ma tessuti resistenti al gelo, come nelle *foglie aghiformi di alcune conifere* respirano ancora a -20°C, mentre la respirazione di *piante tropicali*, sensibili al freddo, può essere pregiudicata tra 0° e +5°C. Anche la disponibilità di acqua ha una grande influenza sulla entità della respirazione: in *piante che vivono nell'acqua* o in terreni saturi di acqua, la scarsità di ossigeno può limitare l'intensità respiratoria anche perché questo gas ha una ridotta solubilità nell'acqua. In queste condizioni alcune specie possono sviluppare anche organi particolari addetti all'approvvigionamento di ossigeno come le **radici respiratorie o pneumato-fori**; il forte sviluppo degli spazi intercellulari nelle piante acquatiche o palustri serve anch'esso per facilitare l'approvvigionamento di ossigeno esterno e immagazzinare quello prodotto dalla fotosintesi a favore del processo respiratorio.

Anche la **disidratazione** ha effetto sulla respirazione inibendola fortemente; *le specie o gli stadi (semi, spore) specializzati per la vita in condizioni di forte disidratazione* (10% di contenuto di acqua contro l'80-90% delle foglie) *hanno una respirazione minima* e quindi un minimo fabbisogno di materiale energetico, condizione necessaria per poter superare lunghi periodi di quiescenza.

## Esperienza 13: RESPIRAZIONE

Materiale occorrente:

- Garze, provette con tappo ermetico, pipette, elastici;
- fenoltaleina;
- *plantule di mais verdi (15 giorni di allevamento in acqua alla luce) ed eziolate (10 giorni di allevamento in acqua al buio).*

La **respirazione**, come produzione di CO<sub>2</sub>, può essere dimostrata utilizzando *piante eziolate* (prive di pigmenti fotosintetici) o *piante verdi tenute al buio* per tutta la durata dell'esperienza.

...continua...

### 3. La fotosintesi

#### I pigmenti fotosintetici

Gli organismi vegetali devono il loro colore, oltre che ai pigmenti che abbiamo utilizzato per la preparazione degli indicatori naturali, anche ad altre categorie di sostanze colorate legate al processo fotosintetico che negli eucarioti sono contenuti in organuli specializzati detti **plastidi**. Esse sono principalmente:

**Clorofille**, solubili in sostanze organiche cui si deve essenzialmente il colore verde delle piante ed il processo fotosintetico;

**Carotenoidi**, anch'essi solubili in solventi organici, che coadiuvano le clorofille nella fotosintesi. Sono presenti anche da soli in molti *frutti maturi come il pomodoro e le zucche gialle o in radici come la carota*;

**Ficobiline**, solubili in acqua, sono caratteristiche del mondo delle alghe cui conferiscono i tipici colori.

Esistono, in natura, diversi tipi di *clorofille* individuati dalle prime lettere dell'alfabeto. La clorofilla **a**, presente in tutti gli *eucarioti fotosintetici e nei cianobatteri* (alghe azzurre nella vecchia terminologia) è il pigmento fondamentale per la fotosintesi ossigenica cioè quel tipo di fotosintesi che, liberando ossigeno come sottoprodotto delle reazioni principali, è responsabile della sua presenza nell'atmosfera <sup>[1]</sup>.

La clorofilla **b** si trova in tutte le *piante terrestri e nelle alghe verdi*, loro probabili antenate; è considerata, come le altre clorofille **c** e **d**, i carotenoidi e le ficobiline, un **pigmento accessorio** in quanto è in grado di trasferire l'energia luminosa catturata alla clorofilla **a**, ampliando in questo modo lo spettro di assorbimento della luce visibile (figura 10).

Le clorofille **c** e **d** sostituiscono la **b** nei diversi gruppi di alghe (*alghe rosse, alghe brune, diatomee ecc...*).

La presenza della clorofilla nei vegetali è dipendente dall'illuminazione e dalla disponibilità, nel terreno, di particolari elementi come il Mg e Fe. Infatti, semi fatti germinare in ambiente totalmente privo di luce sviluppano plantule gialle e inconsistenti (**eziolate**) che diventano verdi quando sono esposte alla luce. Analogamente in plantule verdi, allevate per qualche tempo in soluzioni nutritive prive di Mg o di Fe, le nuove foglie sono decolorate e le piante deperiscono (**clorosi**) (v. esper. 12). Questo deperimento a livello fogliare, presente in piante acidofile quali ortensie, camelie ed azalee, è correggibile, nelle pratiche di giardinaggio, con la somministrazione di sali di ferro o di magnesio (solfato ferroso e allume di magnesio).

---

[1] Tra i 3 e i 2.5 miliardi di anni fa la comparsa dei primi cianobatteri dotati di clorofilla **a** determinò una vera e propria rivoluzione nella composizione dell'atmosfera che da riducente divenne ossidante per il progressivo arricchimento in O<sub>2</sub> di origine fotosintetica. Questo mutamento ebbe conseguenze importantissime perché permise l'instaurarsi di nuovi processi metabolici, tra cui la respirazione, che a loro volta favorirono, attraverso una migliore utilizzazione dei substrati organici, una maggiore disponibilità energetica, per cui gli organismi poterono aumentare di taglia e divenire pluricellulari.

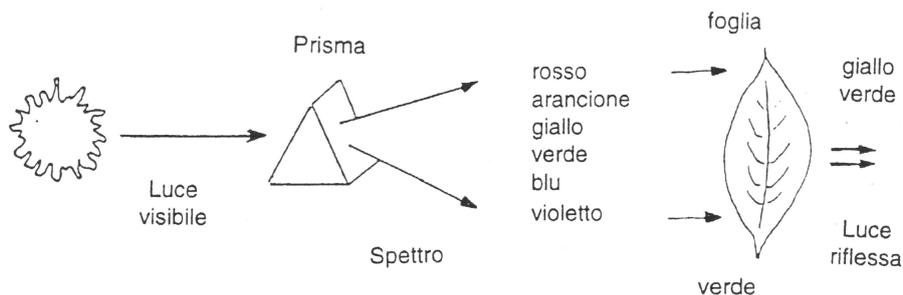


Fig. 10: Scomposizione della luce solare attraverso un prisma e assorbimento delle bande rosse, arancione, blu, violetto, attraverso una lamina foliare

I **carotenoidi** hanno colori che variano dal rosso (*licopene dei pomodori maturi*) all'arancio ( $\beta$ -*carotene della carota*) al giallo (*zeaxantina del seme di mais*). Si dividono in **caroteni**, idrocarburi costituiti solo da idrogeno e carbonio, e **xantofille** che possiedono anche atomi di ossigeno nella molecola.

Sono presenti in tutti gli organismi vegetali ed alcuni carotenoidi costituiscono i precursori di sostanze fondamentali per gli animali come la vitamina A ed il retinene (parte della rodopsina, la molecola fotorecetttrice presente nei bastoncelli della retina).

Le **ficobiline**, *ficoeritrina (rossa)* e *ficocianina (blu)* facilitano la cattura dell'energia luminosa in particolari condizioni, come sott'acqua, dando luogo all'adattamento cromatico.

Questo spiega la distribuzione verticale delle alghe con predominanza delle **alghe verdi nelle zone superficiali**, delle **alghe rosse nelle zone profonde** e delle **alghe brune nelle zone intermedie**, come risposta all'intensità luminosa ed al colore predominante della luce.

I raggi solari, attraversando spessori variabili di acqua, diminuiscono la loro intensità per l'azione filtrante dell'acqua stessa e, alle *maggiori profondità*, giungono solo le radiazioni blu-verdi non assorbibili dalle clorofille che hanno delle bande di assorbimento corrispondenti al rosso (680-640 nm per la clorofilla **a**, 655-630 nm per la clorofilla **b**)<sup>[2]</sup> e al blu (445 nm per la clorofilla **a**, 480 nm per la clorofilla **b**)<sup>2</sup>. Per tale motivo in queste zone si sono evolute forme in cui prevalgono carotenoidi e xantofille e ficobiline che si sono adattate alla luce sottomarina blu-verde.

Essendo la fotosintesi nelle **alghe rosse** (*Rodoficee*) resa possibile dalla presenza di ficobiline, queste alghe si possono trovare anche a 90 m di profondità, se le acque sono limpide, ma nelle acque costiere, in cui la luce è assorbita o dispersa dalla melma in sospensione, il limite efficace per la fotosintesi è tra i 18 e i 36 m.

Poiché un pigmento, per assorbire in modo efficace la luce trasmessa dal mezzo circostante, deve avere un colore complementare rispetto a quello del mezzo (adattamento cromatico complementare), tra le **alghe rosse**, quelle che crescono più vicine alla superficie, dove sono maggiori le radiazioni proprie della luce rossa, tendono a formare una maggiore quantità di pigmento blu, la ficocianina; l'inverso avviene per quelle che vivono in zone più profonde nella luce verde e blu che favorisce la sintesi della ficoeritrina.

[2] I valori delle bande di assorbimento sono relativi ai pigmenti in soluzione di etere di petrolio.

Al di sopra della zona delle alghe rosse, ad una *minore profondità*, sono presenti le **alghe brune** (*Feoficee*) di grosse dimensioni (*Laminariaceae*) che hanno raggiunto un buon livello di specializzazione. La maggior parte della luce, che giunge a questa profondità, ha lunghezze d'onda intorno a 500 nm, per cui si è affermato soprattutto quel tipo di alga che, come le *Feoficee*, è ricco di *fucoxantina*.

Anche in questo caso la quantità di pigmento bruno è in relazione con l'intensità luminosa, per cui le feoficee che vivono più vicino alla superficie assumono un colore più verde dovuto alle clorofille non più mascherate dalla grande quantità di fucoxantina.

Nella zona superficiale, con il massimo di illuminazione, sono presenti le **alghe verdi** (*Cloroficee*), nelle quali compare per la prima volta, nel corso dell'evoluzione, la clorofilla **b**.

## Esperienza 14: ESTRAZIONE E SEPARAZIONE DEI PIGMENTI

Materiale occorrente:

- *Mortaiο, provette, contagocce, carta assorbente o gesso da lavagna, recipienti in pirex, fornellino elettrico (per esperienze con solventi organici non usare mai fornelli a fiamma);*
- *alcool etilico, acetone, benzene, acqua distillata;*
- *foglie rosse di Iresine o Coleus oppure le più esterne e scure del radicchio e del cavolo rosso, foglie verdi di Urtica o spinaci, alghe brune e rosse, radici di carota.*

**La separazione dei pigmenti fotosintetici si basa sulla loro:**

– *diversa velocità di migrazione su materiali assorbenti:*

10 g di foglie (*ortica, spinaci...*) sono pestate in mortaio con alcool etilico o acetone. Dopo aver messo l'estratto in una provetta ed averlo fatto sedimentare, la soluzione ottenuta, verde scuro, è depositata lentamente, goccia a goccia, su carta assorbente o su gesso da lavagna. Si potrà osservare la separazione dei carotenoidi dalle clorofille grazie alla maggiore velocità di migrazione dei primi che formeranno un alone giallo intorno alla macchia verde;

– *diversa solubilità in alcuni solventi organici:*

10 g di foglie verdi o di tallo di alghe brune sono pestate in mortaio in 5 ml di alcool etilico. La soluzione, messa in provetta, è fatta sedimentare, si elimina il precipitato e al sovranatante si aggiungono 5 ml di benzene e si agita. Si lasciano separare le due fasi che conterranno: la fase etanolica verde, superiore, le clorofille, la fase benzenica gialla, inferiore, i carotenoidi.

Per dimostrare che i **pigmenti fotosintetici non sono presenti solo negli organismi verdi, ma in tutti quelli che contengono cloroplasti**, sono utilizzate foglie di *ortica* a confronto con foglie di *Iresine*, o di *radicchio rosso* o altre piante con le foglie di colore rosso scuro.

Dieci grammi di foglie sono fatte bollire in acqua per 5 minuti; solo la pianta rossa libera nell'acqua un pigmento rosso, un antociano idrosolubile, contenuto nel vacuolo, che maschera il colore verde delle foglie che viene, in questo modo, messo in evidenza. Se l'acqua è sostituita da un solvente organico quale ad esempio l'alcool etilico, un'ebollizione di 5 minuti estrarrà dalle foglie, sia verdi che rosse, i pigmenti fotosintetici di colore verde scuro.

...continua...

---

Il tema di questa lezione è l'energia, e perciò il centro del discorso sarà di carattere fisico. Il corso nel suo insieme si propone di trattare l'energia anche in rapporto ai cicli vitali delle piante; il mio scopo è quello di fare un'introduzione al corso, che dia una certa sistemazione logica alle idee fisiche di base.

Dovendo parlare di energia, ci si potrebbe aspettare che io cominci con la definizione di energia; ma questa è una cosa che eviterò, perché non saprei come darla. Molti concetti fisici sono difficili da definire in partenza in maniera accurata; sicuramente l'energia è tra i più difficili. Se qualcuno insistesse a chiedermi: "insomma, che cosa è l'energia?" forse la sola risposta che saprei dare a questo punto è una che non considerereste una definizione: direi che la cosa più importante che si può dire sull'energia è che si conserva.

La parte iniziale del mio discorso cercherà di precisare che cosa vuol dire, dal punto di vista di un fisico, qualcosa che si conserva. Se l'energia fosse l'unica, potrei dire: "l'energia è quella cosa che, come tutti sappiamo, si conserva"; ma in fisica ci sono altre cose che si conservano. Questo però ci aiuta, perché permette di costruire il discorso partendo da esempi più semplici e anche più direttamente accessibili dal punto di vista della vostra didattica.

### Significato di una legge di conservazione

L'esempio più ovvio di cosa che si conserva è *il numero*. Voglio però precisare subito che qui non stiamo facendo matematica, ma fisica: quindi io mi riferisco a fatti ed esperimenti del mondo reale. Perciò quando dico che il numero si conserva, intendo dire che se prendo un certo numero di oggetti discreti e distinti – per es. 4 pezzi di gesso – il fatto che sono 4 rimane anche se li sposto di qua e di là: a meno che non se ne rompa qualcuno, continuano ad essere 4. Potrò contare questi gessi ripetutamente, e troverò sempre 4.

La cosa può sembrare banale, ma non lo è tanto che non valga la pena di essere considerata e fatta oggetto di riflessione didattica. Finché mi limito a 4 pezzetti di gesso, tutto è semplice; ma se si prende in considerazione un insieme un po' più numeroso (ad es. i fagioli del famoso barattolo che si vede alla TV) contare può diventare una faccenda complicata, ed è difficile arrivare in fondo senza sbagliare: allora la conservazione del numero non è più così evidente.

Comunque la ragione per cui ho scelto di partire dalla conservazione del numero è che questa mi rende facile introdurre un discorso che diventerà più importante nel

---

[1] Lezione tenuta il 29-11-84 e pubblicata in "La macchina albero" a cura del Seminario Didattico della Facoltà di Scienze m.f.n. dell'Università di Pisa, A.A.1984-85; gli autori ringraziano il prof. Fabri per averne autorizzata la riproduzione.

seguito. La conservazione del numero significa che il numero degli oggetti non cambia; ma significa anche che se cambia – se per es. il numero dei fagioli nel barattolo non resta lo stesso – ciò vuol dire che ne sono stati tolti o aggiunti.

Questo può venir espresso in maniera precisa: la conservazione di una quantità si connette immediatamente a quello che si chiama *bilancio*. Se contate i vostri fagioli a un certo momento, e li ricontate più tardi, il secondo numero può differire dal primo soltanto per due motivi: perché ne sono stati aggiunti, quindi sono *entrati* nel barattolo, oppure perché ne sono stati tolti, cioè ne sono *usciti*. La cosa si riassume così:

$$N_{\text{dopo}} = N_{\text{prima}} + N_{\text{entrati}} - N_{\text{usciti}}$$

Questa è una prima forma di bilancio estremamente semplice, che esprime una proprietà di conservazione. Generalmente i fisici preferiscono scriverla in quest'altro modo:

$$\Delta N \stackrel{\text{Df}}{=} \text{variaz. di } N = N_{\text{dopo}} - N_{\text{prima}} = N_{\text{entr.}} - N_{\text{usc.}}$$

$\Delta N$  è un simbolo che sta a indicare la variazione che è avvenuta nella grandezza; il segno uguale con “Df” sopra indica che quella è un’uguaglianza *per definizione*. L’intera formula ci dice che il numero di fagioli dopo, meno il numero di fagioli prima – cioè la variazione – è uguale al numero di quelli che sono entrati meno il numero di quelli usciti.

Passiamo ora a un esempio di conservazione meno evidente: la conservazione del volume di un liquido. Credo che tutti abbiate sentito parlare degli studi di Piaget, dai quali risulta che l’idea che il volume di un liquido si conserva nel travaso è tutt’altro che innata: un bambino l’acquiesce a una certa età, o meglio a un certo stadio del suo sviluppo intellettuale. Aggiungo che tale acquisizione inevitabilmente avviene in base alle esperienze che il bambino fa: perciò non si deve parlare di stadi di sviluppo in senso rigido e acritico. Il grado di sviluppo intellettuale, l’età alla quale un bambino conquista certi concetti, dipendono dall’ambiente e dalle esperienze che il bambino fa. Tutti i bambini fanno normalmente, senza che nessuno glielo suggerisca, esperimenti con i liquidi (del resto i bambini fanno esperimenti su tutto): a un certo punto questi esperimenti si coagulano – per così dire – nell’acquisizione di un concetto. Ma naturalmente la rapidità con cui un tale processo avviene dipende dalla quantità e qualità degli stimoli che arrivano dall’ambiente familiare e sociale del bambino.

Il volume di un liquido è dunque un’altra grandezza che si conserva: tanto è vero che i liquidi si comprano misurati in volume, si versano da un recipiente all’altro senza preoccupazioni, ecc. È inutile dilungarci: per il volume di un liquido si può scrivere lo stesso tipo di bilancio che abbiamo visto per il numero.

Un’idea che si avvicina molto di più al nostro tema, e sulla quale mi soffermerò più a lungo, è la conservazione della massa. Anche la conservazione della massa è in una certa misura esperienza comune; tuttavia l’idea di massa è già molto meno intuitiva che non l’idea di volume. Sapete benissimo che non è facile per un bambino accettare l’idea che oggetti che hanno volumi uguali possono avere masse diverse; oppure che oggetti con la stessa massa possono avere volumi diversi. Massa e volume non sono la stessa cosa, non vanno sempre insieme.

Per questo motivo non è didatticamente opportuno usare la conservazione del volume per arrivare alla conservazione della massa (per esempio deformando una pallina di pongo). La conservazione del volume ha validità più ristretta: è circoscritta ai liquidi o

in generale ai casi in cui non c'è compressione o dilatazione apprezzabile. Ci sono invece casi in cui la massa si conserva e il volume no: per es. nell'evaporazione dell'acqua di una bacinella, l'acqua che non c'è più si ritrova come vapore nell'aria, e il volume del vapore è molto maggiore di quello del liquido originario. Spesso il volume non si conserva nelle soluzioni: quando si mescolano due liquidi può capitare che il volume della mescolanza non sia la somma di quelli dei due liquidi di partenza, mentre la massa si somma sempre. Questo succede per es. con acqua e alcool, ma anche più evidente è il caso del sale sciolto nell'acqua: in un litro d'acqua si può sciogliere molto sale (almeno 300 g) e il livello dell'acqua non sale quanto dovrebbe, perché il cloruro di sodio (più esattamente gli ioni cloro e sodio) trovano posto negli interstizi tra le molecole dell'acqua. Ripeto: a differenza di quella del volume, la conservazione della massa è un principio fisico assolutamente generale. Scriveremo dunque per la massa una relazione dello stesso tipo di quella scritta per il numero:

$$\Delta M \stackrel{\text{Df}}{=} \text{variaz. di } M = M_{\text{dopo}} - M_{\text{prima}} = M_{\text{entr.}} - M_{\text{usc.}}$$

La variazione di massa durante un certo intervallo di tempo, in cui avviene un qualunque fenomeno, può dipendere solo dal fatto che nel sistema è entrata o uscita della materia.

Ho già detto che la massa è un concetto un po' meno immediato e intuitivo del volume: bisogna quindi fare un po' più di attenzione quando si usa la conservazione della massa. A questo scopo vediamo un esempio, che ho scelto anche perché permette qualche riflessione legata al tema generale del corso, a proposito dello sviluppo delle piante. Anche qui si tratta di cose apparentemente banali, ma che non lo sono forse del tutto quando si cerca di metterle insieme in maniera ordinata.

Consideriamo lo sviluppo di una pianta, dal seme alla pianta adulta, e per fissare le idee prendiamo il caso di una ghianda. Dalla ghianda viene fuori una quercia, che è un albero bello grosso; applichiamo a questo fenomeno il bilancio della massa. Che cosa vuol dire? come ragiona il fisico in questo caso? C'è una  $M_{\text{prima}}$ , che è quella della ghianda; e c'è una  $M_{\text{dopo}}$ , che è quella della quercia. Ovviamente la massa dopo è maggiore di quella prima, e abbiamo perciò una variazione di massa, una  $\Delta M$ , positiva. Nell'equazione che esprime il bilancio c'è scritto che  $\Delta M$  dev'essere uguale alla massa entrata meno la massa uscita: dobbiamo dunque cercare la massa entrata e quella uscita.

Da dove prende massa una pianta che cresce? Le fonti di entrata sono essenzialmente due: l'aria e il terreno. Semplificando molto, possiamo dire che dal terreno una pianta prende soprattutto acqua. (Questo non è del tutto vero: nessuna pianta potrebbe crescere se dal terreno prendesse solo acqua; tuttavia in termini di massa l'acqua è la parte preponderante). Dall'aria la pianta prende essenzialmente anidride carbonica. Qui non ha importanza come questa anidride carbonica viene utilizzata (la chimica della fotosintesi): stiamo facendo solo un bilancio quantitativo della massa. Il nostro discorso è semplicemente: quella piccola ghianda è diventata una quercia, un oggetto bello massiccio, che può pesare qualche tonnellata; questa materia è venuta in parte dal terreno (acqua) e in parte dall'aria (anidride carbonica).

Occupiamoci ora della massa uscita. Una pianta perde acqua a causa della traspirazione delle foglie; emette ossigeno nel processo di fotosintesi. Inoltre durante la vita di una pianta le foglie cadono: quindi la pianta perde la massa delle foglie cadute... Forse ci sarà ancora qualche altra perdita, che non mi è venuta in mente; ma quelle che abbiamo visto sono già abbastanza significative.

...continua...