



**ISTITUTO COMPRENSIVO DI SCUOLA PRIMARIA E SECONDARIA  
DI PRIMIERO**

Via delle Fonti 10, 38054, località Transacqua, Primiero San Martino di Castrozza, (TN) Tel. 0439 62435 Fax 0439 762466  
C.F. 90009790222 e-mail: segr.icprimiero@scuole.provincia.tn.it



**APPUNTI DI**

**BIOLOGIA – FISILOGIA  
RESPIRAZIONE CELLULARE E  
FOTOSINTESI CLOROFILLIANA**

**CLASSE :**

**2<sup>a</sup> I.T.T. - C.A.T.**

**ANNO SCOLASTICO :**

**2016 - 2017**

**GLI STUDENTI :**

---

---

---

**REDATTO DALL' INSEGNANTE :**

**Gretter Beniamino**

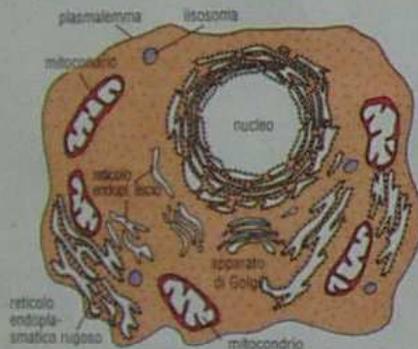
# LA RESPIRAZIONE CELLULARE

38 Processi ecologici elementari

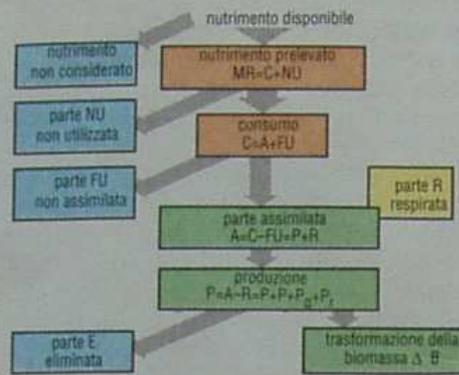
| Specie            | A/C | P/A | R/A  |
|-------------------|-----|-----|------|
| <b>eterotermi</b> |     |     |      |
| rotiferi          | 19  | 57  | 43   |
| ragno tesatore    | 85  | 67  | 33   |
| onisco            | 25  | 16  | 84   |
| geometridi        | 32  | 60  | 40   |
| chiocciola        | 45  | 14  | 86   |
| trota             | 69  | 29  | 71   |
| carpa             | 84  | 42  | 58   |
| zigolo            | 90  | 1   | 99   |
| elefante          | 33  | 1,5 | 98,5 |
| <b>omeotermi</b>  |     |     |      |
| topo              | 91  | 2   | 98   |

MR = nutrimento proveniente dal sistema  
 C = parte consumata U = escrezioni F = feci  
 A = parte assimilata del nutrimento  
 R = parte respirata del nutrimento  
 P = produzione  $P_2$  = crescita  $P_1$  = riproduzione  
 E = parte eliminata (morta)

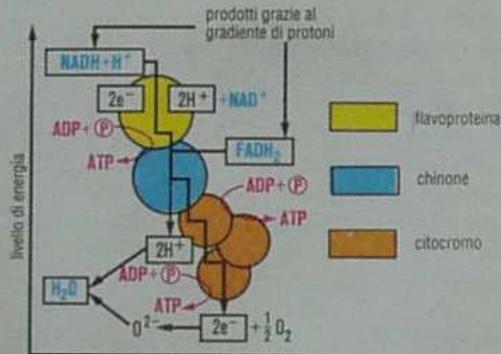
A<sub>1</sub> Efficienza ecologica di diverse specie animali



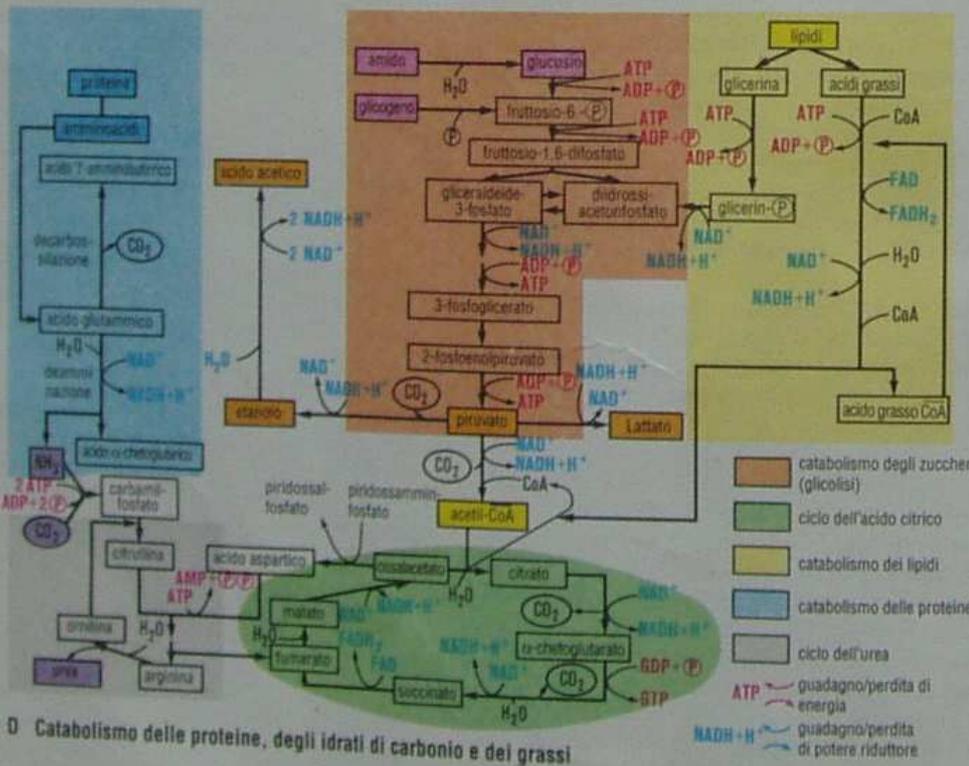
B Struttura fine di una cellula animale



A<sub>2</sub> Ecologia della produzione. Flusso di materia ed energia attraverso un organismo o una popolazione



C Catena di respirazione nei mitocondri



D Catabolismo delle proteine, degli idrati di carbonio e dei grassi

Dissimilazione

## LA RESPIRAZIONE CELLULARE:

Tutti gli esseri viventi respirano: *Monera, Protista, Fungi, Plantae ed Animalia*.

La respirazione è un **processo catabolico** (= insieme di reazioni di demolizione di macromolecole organiche), **catalizzato da enzimi** (= proteine funzionali specifiche, informate, indirizzate ed obiettivate), **esoergonico** (= libera energia in *output*), **entropico** (= aumenta il disordine del sistema) ma **controllato** (= l'energia viene immagazzinata, come energia chimica prevalentemente dentro l'ATP).



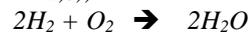
↓

**ENERGIA (chimica, ATP, calore)**

La respirazione è una combustione (= ossidazione) termodinamicamente controllata, al contrario delle combustioni o ossidazioni convenzionali, che avvengono violentemente (legna, carbone), molto violentemente (benzina, gasolio, metano), se non addirittura esplosivamente (nitroglicerina, idrogeno).

Come tutte le combustioni, anche la respirazione ha bisogno di **combustibile** (zuccheri), **comburente** (ossigeno) ed **innesco-catalizzatore** (enzimi).

**Petrolio**  
**Gas**  
**Nitroglicerina**  
**Idrogeno**

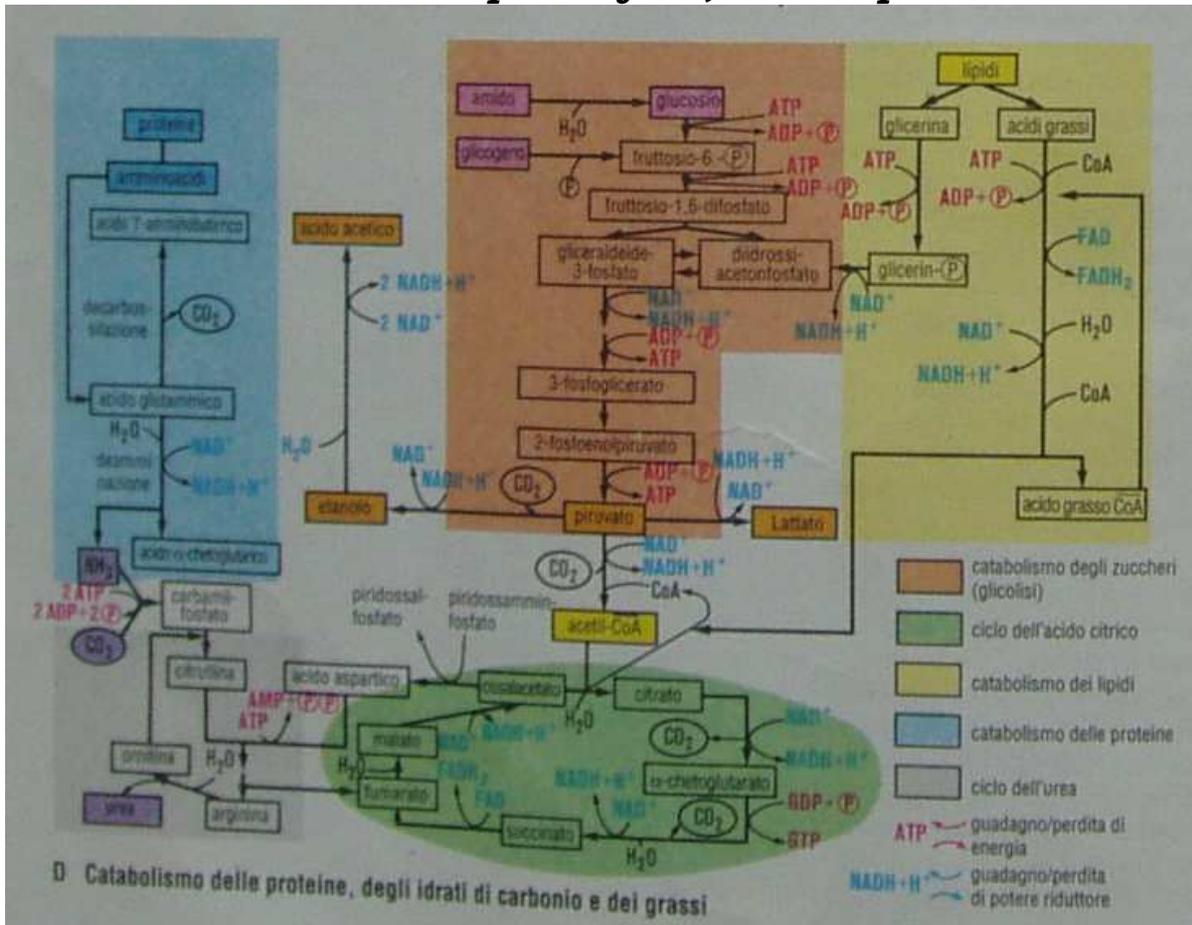


↓

**ENERGIA (calore, spostamento, chimica)**

## FASI RESPIRAZIONE:

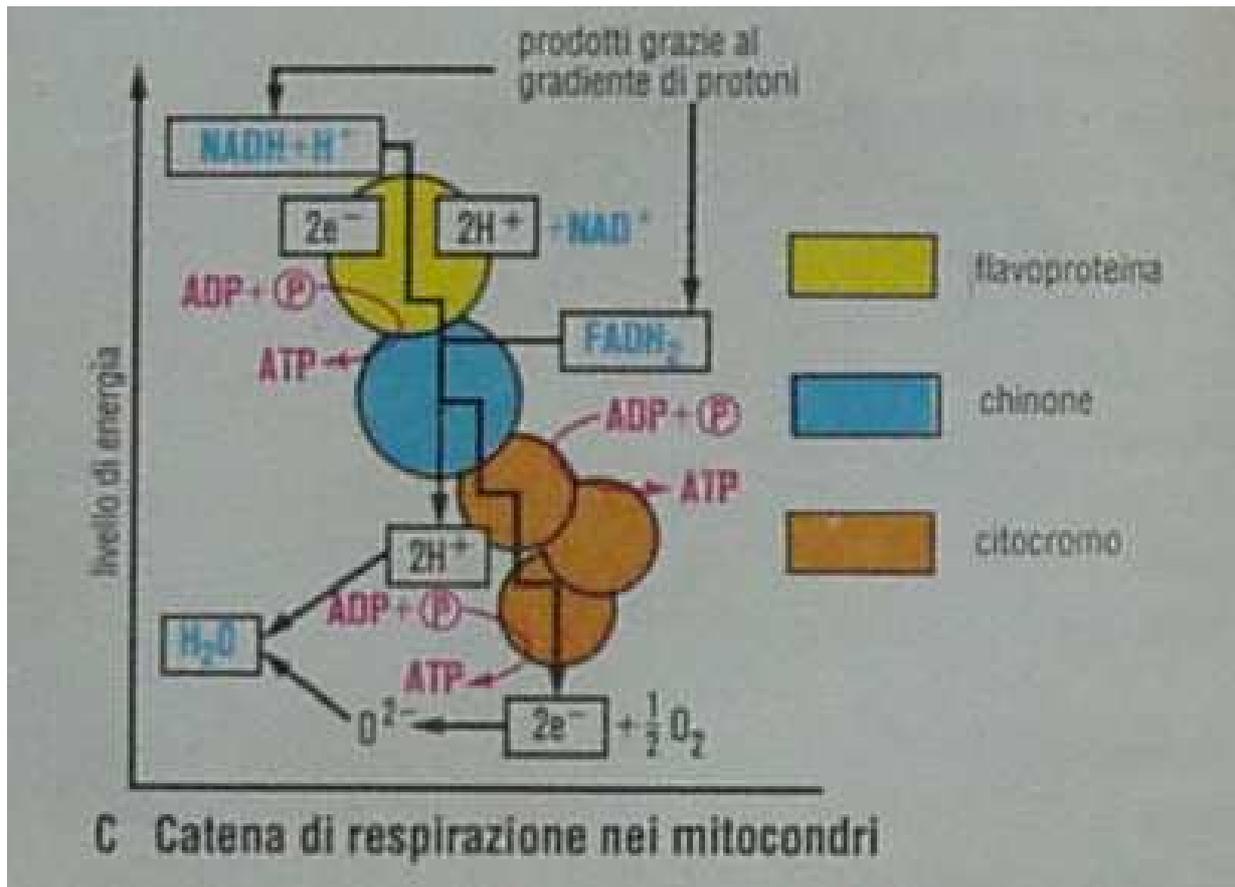
**prima fase; nel citoplasma ...**



Le macromolecole note dalla biochimica, soprattutto gli zuccheri, vengono demoliti enzimaticamente, gradualmente, e l'energia chimica contenuta in essi (nei legami chimici elettronici, dentro e<sup>-</sup> e H<sup>+</sup>), viene utilizzata per ricaricare nucleotidi energetici (*batterie biologiche*): ATP (fosforilazione ossidativa dell'ADP con un gruppo fosfato PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>); NADH (riduzione del NAD<sup>+</sup>) e FADH<sub>2</sub> (riduzione del FAD). La riduzione comporta addizione di e<sup>-</sup> e H<sup>+</sup>.

L'ATP è immediatamente disponibile per l'anabolismo (= reazioni di costruzione); NADH e FADH<sub>2</sub> devono essere "convertiti" in ATP o, meglio, devono essere ossidati, cosicché la loro energia chimica (dentro e<sup>-</sup> e H<sup>+</sup>) sia "trasbordata" sull'ATP, fosforilando l'ADP con un gruppo fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).

## **FASI RESPIRAZIONE: seconda fase; nei mitocondri ...**



L'energia chimica (sotto forma di legami chimici, elettroni ed idrogeno) contenuta nei composti NADH e FADH<sub>2</sub>, provenienti dalla prima fase appena vista e che abbiamo detto non essere disponibili così come sono per le reazioni anaboliche, viene utilizzata per produrre ATP (fosforilazione ossidativa dell'ADP).

Si ha come una "cascata, un salto" dove elettroni (e<sup>-</sup>) ed idrogeno dissipano la loro energia, ricaricando l'ADP, producendo ATP.

Idrogeno ed elettroni, infine, si combinano con l'ossigeno e danno acqua.

Si capisce che l'ossigeno (O<sub>2</sub>) serve per ossidare, ossia per portar via elettroni ed idrogeno agli zuccheri. Come del resto avviene per le combustioni e ossidazioni convenzionali (legna, benzina, gas, nitroglicerina, idrogeno).

E' interessante osservare però la differenza rispetto alle combustioni tradizionali: i sistemi biologici hanno le informazioni e le macchine (DNA – enzimi) per controllare il flusso elettronico (e<sup>-</sup>) e protonico (H<sup>+</sup>), per pilotare le reazioni e "ricaricare" temporaneamente altri composti chimici (*batterie biologiche*).

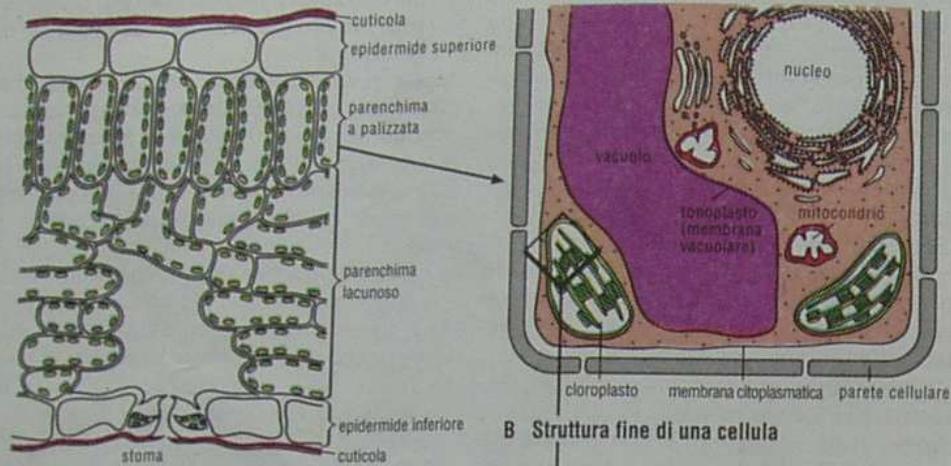
Nella respirazione, il salto energetico degli elettroni e dell'idrogeno, che negli zuccheri sono ad un livello energetico elevato, viene però sfruttato per dare ATP, energia chimica, per "ricaricare" la *batteria* scarica dell'ADP.

Una volta caduti a livelli energetici bassi, elettroni e idrogeno si combinano con l'ossigeno per dare acqua.

Si capisce che l'ossigeno, l'agente ossidante, il comburente, serve quale accettore finale degli elettroni (e<sup>-</sup>) e dei protoni (H<sup>+</sup>), né più né meno che nelle combustioni tradizionali.

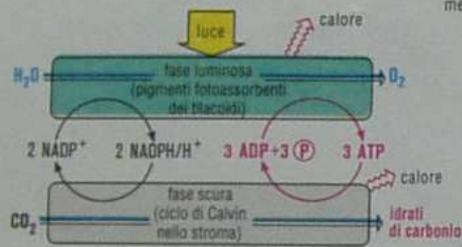
# LA FOTOSINTESI

34 Processi ecologici elementari

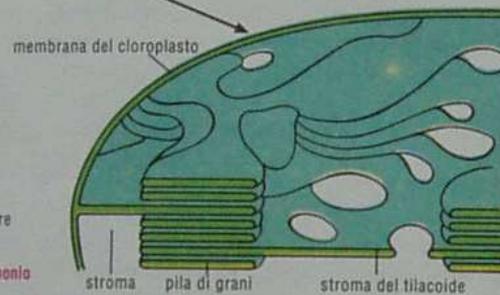


A Struttura di una foglia

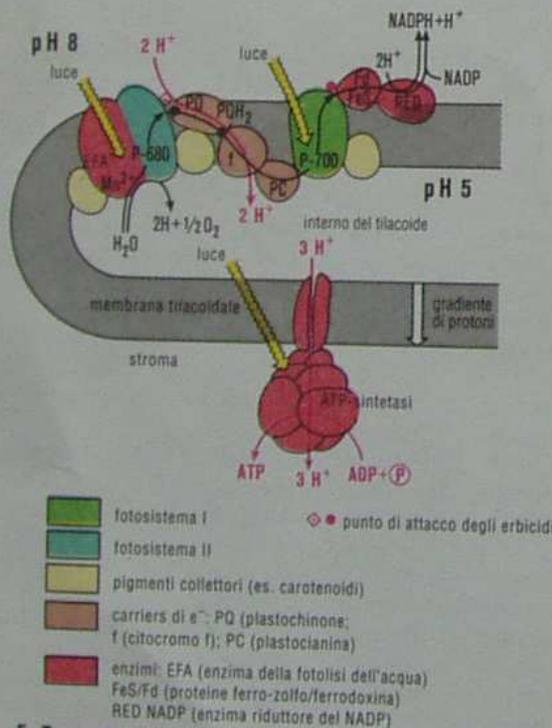
B Struttura fine di una cellula



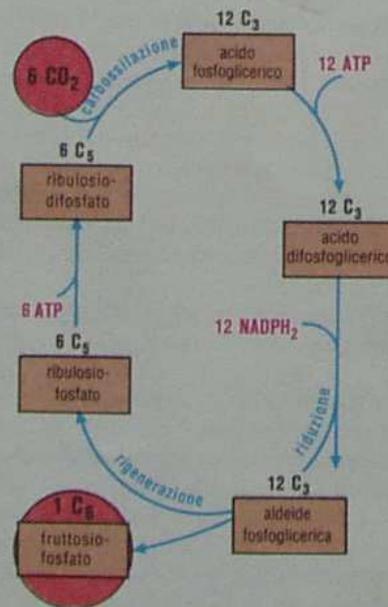
C Schema della fotosintesi



D Sezione di cloroplasto



E Trasporto di protoni ed elettroni nel tilacoide



F Ciclo di Calvin

Fotosintesi

## LA FOTOSINTESI:

La fotosintesi è condotta principalmente da *Protista, Plantae ed alcune Monera*.

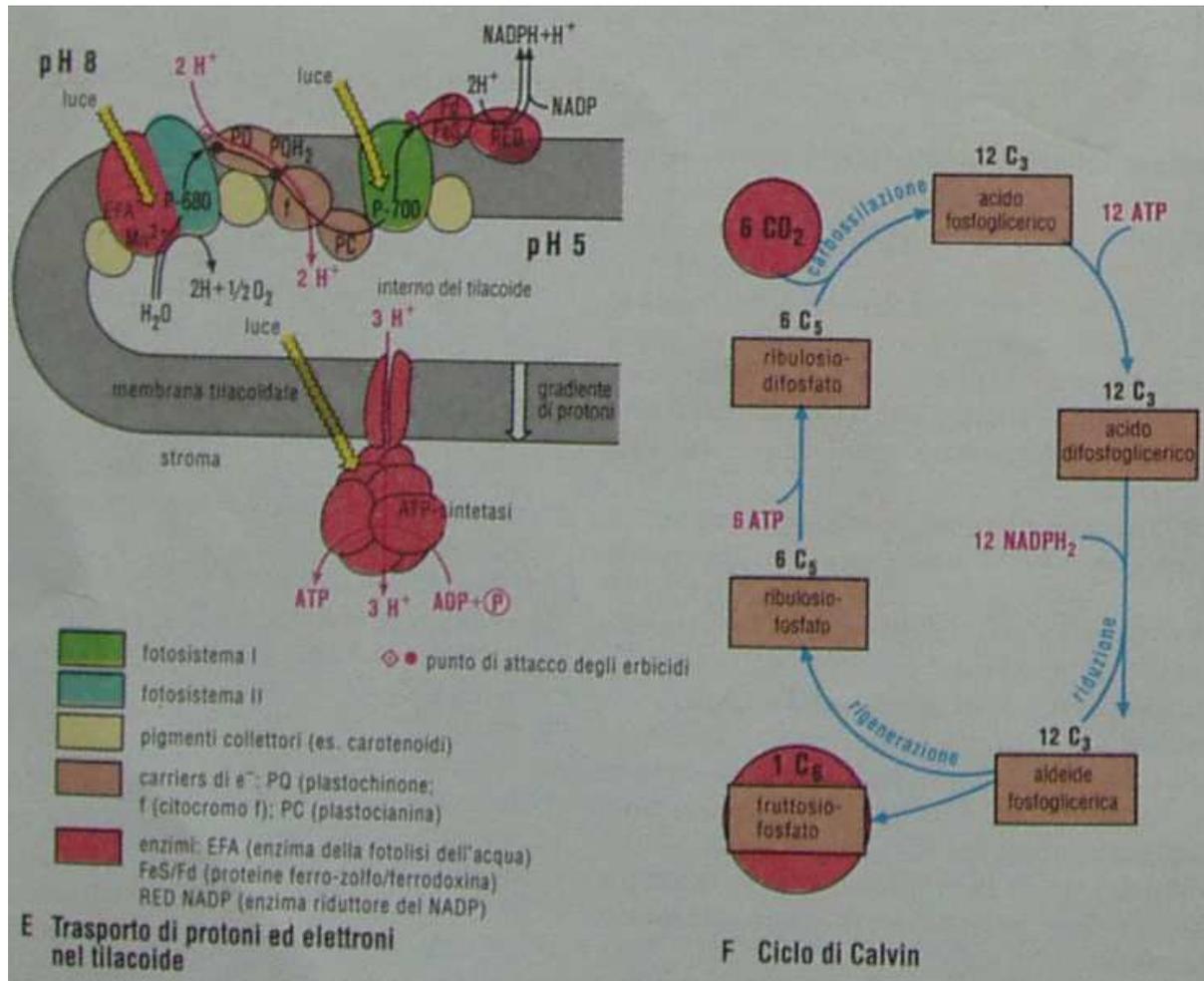
La fotosintesi è un **processo anabolico** (= insieme di reazioni di costruzione di macromolecole organiche), **catalizzato da enzimi** (= proteine funzionali specifiche, informate, indirizzate ed obiettivate), **endoergonico** (= ha bisogno di *input* di energia luminosa), **neghentropico** (= aumenta l'ordine, limitatamente al sistema cellulare), a **energia "pulita", energia solare ed idrogeno**.

**ENERGIA (chimica, ATP, NADPH)**

↓



La fotosintesi è una sintesi (= costruzione) effettuata con energia pulita e disponibile (luce), al contrario delle sintesi convenzionali (metalli, leghe, plastiche ...), che hanno bisogno di catalizzatori di sintesi e di energia fossile.



## LA FOTOSINTESI: prima fase; cosiddetta luminosa; nei pila di tilacoidi dei cloroplasti ...

L'energia luminosa (particolari lunghezze d'onda, particolari frequenze, particolari fotoni) interagisce alcuni enzimi (= proteine funzionali) in grado di effettuare la fotolisi (= rottura) dell'acqua, ottenendo protoni (H<sup>+</sup>) ed elettroni (e<sup>-</sup>), che è una reazione endoergonica (= richiede energia).

**ENERGIA (luce)**

↓



La fotolisi dall'acqua ha lo scopo di fornire un flusso di elettroni (e<sup>-</sup>) da eccitare ed un flusso di protoni (H<sup>+</sup>) per ridurre il nucleotide energetico NADP a NADPH, per caricare le *batterie biologiche*.

L'energia luminosa (particolari lunghezze d'onda, particolari frequenze, particolari fotoni) interagisce con alcuni pigmenti, collettori, recettori e trasportatori facendo eccitare degli elettroni (e<sup>-</sup>), portandoli a livelli energetici superiori (su orbitali superiori di queste molecole).

| Tipo di radiazione elettromagnetica | Lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) | Frequenza ( $\nu = c / \lambda$ ) | Energia del <i>quantum</i> o fotone ( $E = \nu \times h$ ) |
|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|
| <b>Luce visibile</b>                | <b>700 nm–400 nm</b>           | <b>428 THz – 749 THz</b>          | <b>1,80 – 3,15 eVs</b>                                     |
| <i>Fotosistema 1 – P 700</i>        | <i>700 nm</i>                  | <i>428 THz</i>                    | <i>1,80 eVs</i>  |
| <i>Fotosistema 2 – P 680</i>        | <i>680 nm</i>                  | <i>441 THz</i>                    | <i>1,85 eVs</i>  |

La relazione che lega le variabili è:  $c = \nu \times \lambda$  e la relazione inversa:  $\nu = c / \lambda$ .

$$c = 300.000 \text{ km/s} \quad h = 4,2 \times 10^{-15} \text{ eVs} (= 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js})$$

Si creano due flussi: un flusso di elettroni eccitati, “energizzati” dalla luce su orbitali di ordine più elevato ( $e^-$ ) ed un flusso (gradiente) di protoni ( $H^+$ ).

Il flusso pilotato di elettroni ( $e^-$ ), eccitati, “energizzati” dalla luce, ed il flusso di protoni ( $H^+$ ) permettono all’enzima **ATP sintetasi** di produrre ATP a partire dall’ADP.

Il flusso pilotato di elettroni ( $e^-$ ), eccitati, “energizzati” dalla luce, ed il flusso di protoni ( $H^+$ ) permettono all’enzima **NADP riduttasi** di produrre NADPH.

Ora l’energia luminosa (lunghezze d’onda e frequenze particolari, fotoni particolari) è passata entro composti chimici ricchi di energia, ATP e NADPH: le batterie sono cariche.

E’ interessante osservare che nei tilacoidi si accoppia lo sfruttamento dell’energia solare (“pannello fotovoltaico”) con lo sfruttamento dell’idrogeno prodotto dalla fotolisi dell’acqua (“membrana fotolitica”).

Si capisce che l’acqua serve quale fonte di elettroni ( $e^-$ ) e di protoni ( $H^+$ ). Gli elettroni vengono “pompati” a livello energetico elevato per sfruttarne il salto energetico per produrre NADPH, aggiungendo protoni ( $H^+$ ) al NADP.

Il NADPH cede poi i protoni ( $H^+$ ) agli zuccheri sintetizzati nel Ciclo di Calvin.

## **LA FOTOSINTESI: seconda fase; cosiddetta buia; nello stroma dei cloroplasti ...**

Nello stroma dei cloroplasti avviene una serie di reazioni enzimatiche note come Ciclo di Calvin.

Alcuni enzimi o proteine funzionali: **ribulosiofosfato - fosforilasi**, **ribulosiodifosfato – carbossilasi** ... ed altri conducono una serie di reazioni cicliche, nelle quali un atomo di carbonio, come  $CO_2$ , viene “aggiunto”, “aggiunto” ad uno zucchero a cinque atomi di carbonio,  $C_5$ , come il **ribulosiofosfato**, per dare uno zucchero a 6 atomi di carbonio,  $C_6$ , come il **fruttosiofosfato**.

La reazione di fosforilazione serve a “preparare” energeticamente i reagenti affinché la reazione enzimatiche siano termodinamicamente possibili. Tutto è riconducibile alla termodinamica classica.

La reazione principale è quella condotta dalla **ribulosiodifosfato – carbossilasi**, enzima che carbossila (= aggiunge carbonio) il carbonio al **ribulosiodifosfato**.

Come si vede, il Ciclo di Calvin avviene a spese di ATP e di NADPH, le batterie, che si “scaricano” nel mentre danno l’energia necessaria a preparare i reagenti perché gli enzimi facciano il loro lavoro.

Il “mistero” sollevato dal Sior Antonio Scarpa, intorno al ribulosiofosfato rigenerato per il Ciclo di Calvin, dovrebbe essere risolto sul piano stechiometrico (numero di moli, numero di molecole che bisogna considerare ...).

Se introducessimo il fattore 6 stechiometrico, come nella riproduzione sopra, tratta da un atlante tedesco, i conti dovrebbero tornare:

Ad ogni “giro” del Ciclo di Calvin nella “vita” entrerebbero 6 atomi di carbonio ( $6CO_2$ ) per cui, per comprendere cosa succede veramente, occorre introdurre il fattore stechiometrico 6.

infatti, in termini molecolari:  $12 \times \text{aldeidifosfoglicerica} - 1 \times \text{fruttosiofosfato} = 6 \times \text{ribulosiofosfato}$ ;

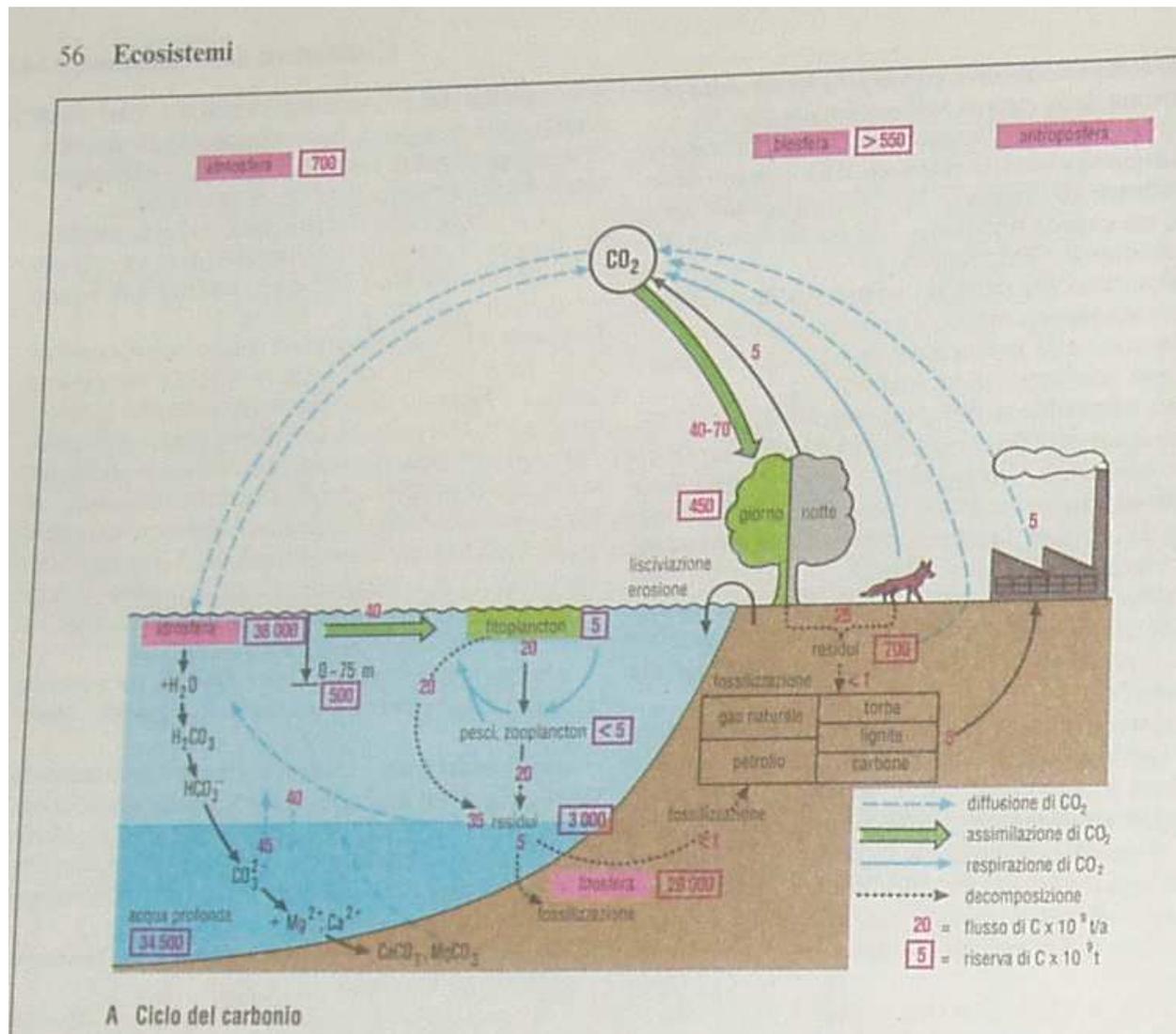
ossia:  $12 \times C_3 - 1 \times C_6 = 6 \times C_5$ ;

ossia, in termini di atomi di carbonio:  $36 - 6 = 30$ .

E’ una “prova” di come la stechiometria che si fa in chimica abbia un senso.

Parallelamente al Ciclo di Calvin c’è un ciclo metabolico cosiddetto dei pentosi fosfati che però non dovrebbe avere a che fare con il Ciclo di Calvin.

## IL CICLO DEL CARBONIO



Respirazione e fotosintesi vanno pensate insieme, come due processi intimamente connessi sul piano ecologico.

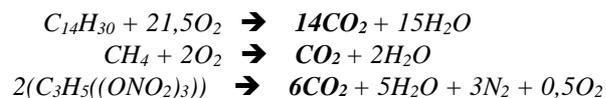
Gli autotrofi *Protista* e *Plantae* costruiscono con la fotosintesi circa  $100 \times 10^9$  ton/anno di CO<sub>2</sub> e restituiscono con la respirazione circa  $10 \times 10^9$  ton/anno di CO<sub>2</sub>. Il saldo è positivo, per gli autotrofi.

Gli eterotrofi *Animalia* e *Fungi* respirano molecole organiche sintetizzate generosamente dagli autotrofi.

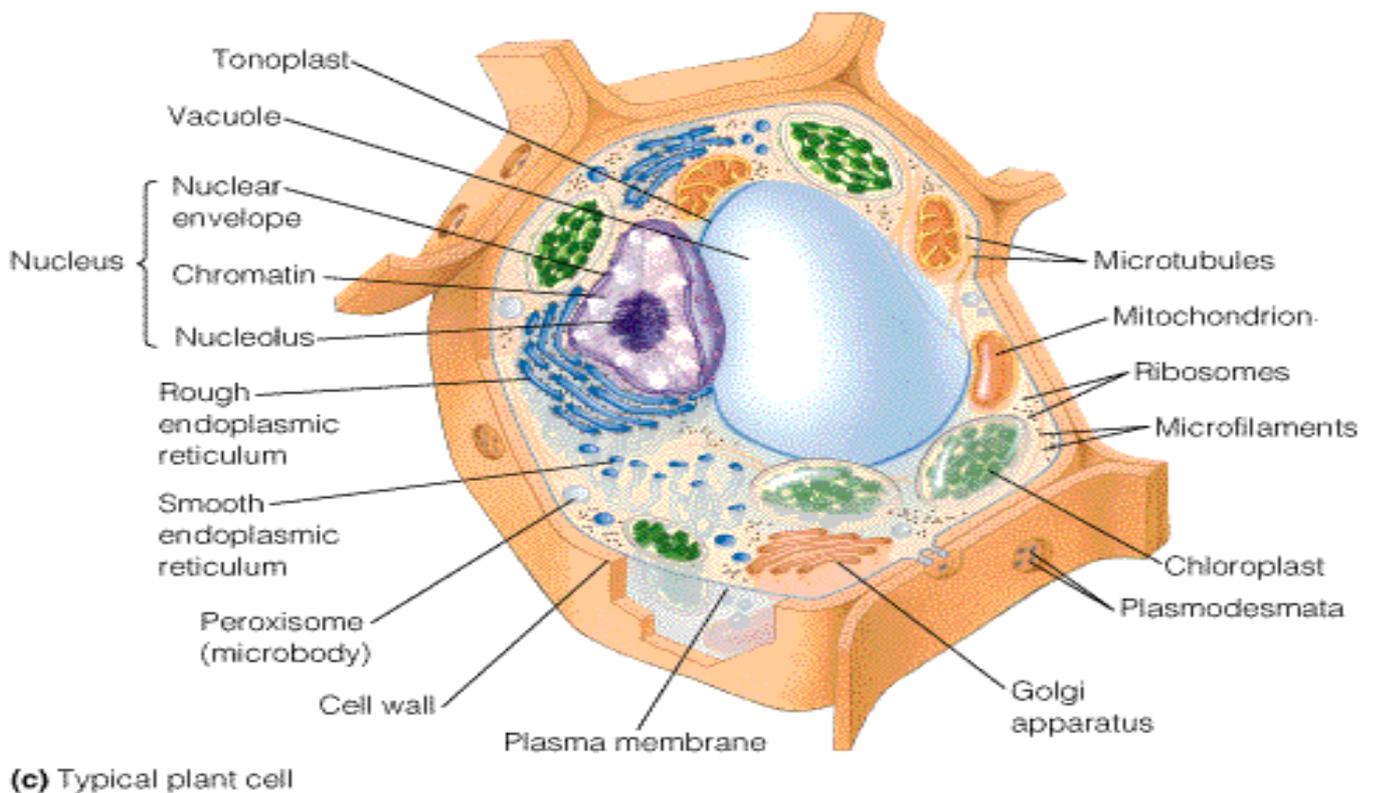
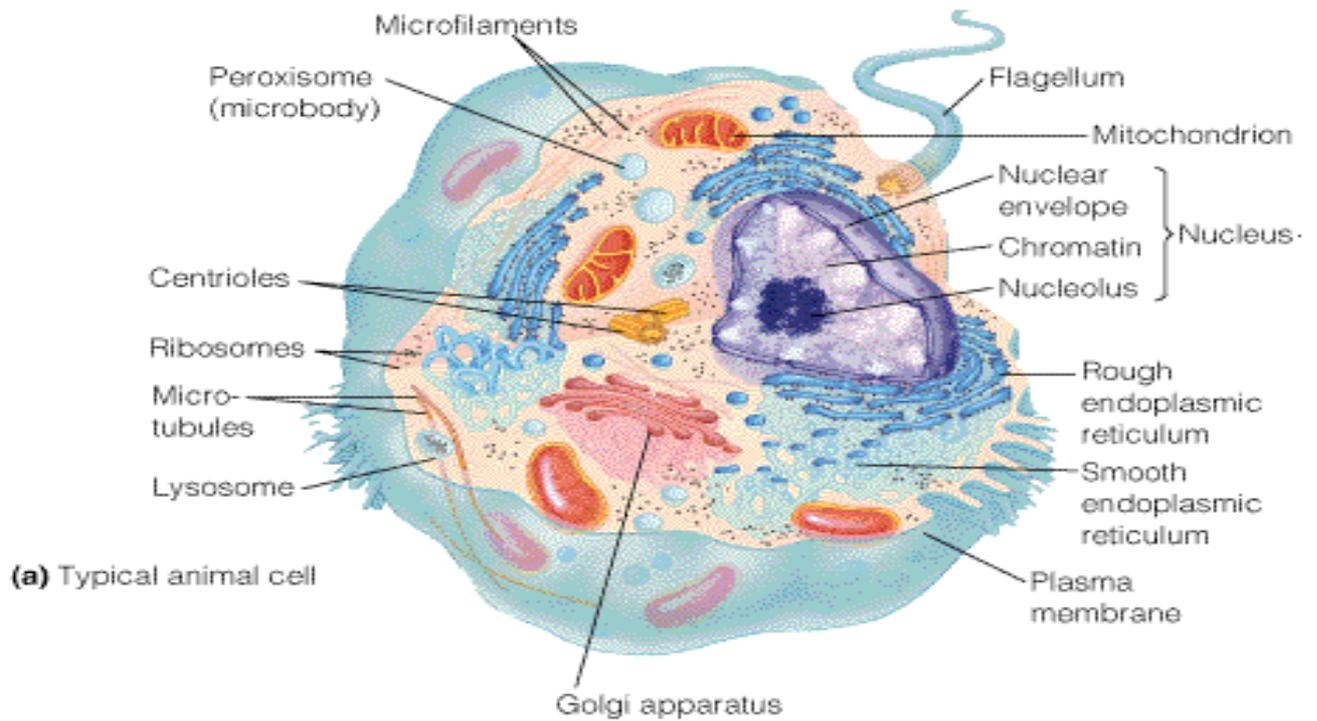
Sappiamo che gli equilibri del ciclo del carbonio sono stati fortemente impattati dall'attività umana che restituisce all'atmosfera il carbonio sequestrato dagli autotrofi in milioni di anni.

Ancora una volta la stechiometria ci informa che le combustioni di legna, petrolio, gas ed esplosivi immettono in atmosfera CO<sub>2</sub> con un **fattore di moltiplicazione di circa 2,50** rispetto alla massa dei combustibili fossili. Per ogni Kg di combustibile bruciato si producono circa 2,5 Kg di CO<sub>2</sub>. La cosa può essere verificata considerando il peso atomico elementare ed il numero di moli delle reazioni.

**Petrolio**  
**Gas**  
**Nitroglicerina**



Si capisce la rilevanza delle fonti energetiche cosiddette rinnovabili e dell'agricoltura. L'uso delle fonti energetiche rinnovabili andrebbe potenziato come in Germania, con rigore ed etica teutonici. L'agricoltura, l'allevamento e la silvicoltura andrebbero potenziate come in Francia, con rigore ed etica gallici. La questione è prima di tutto e soprattutto etica. Solo dopo la questione diventa gnoseologica, cosmologica, ontologica ...



**PARAGONE FRA CELLULA E FABBRICA**

| <b>STRUTTURE</b>  | <b>FABBRICA</b>   | <b>CELLULA</b>  |
|---|---|---|
| <b>1 Materie prime</b><br><br>(... materia ... quella della fisica e della chimica ... quella della fisica quantistica ...) | Acqua<br>Minerali; metalli;<br><br>Acciaio;<br><br>Petrolio; plastica; gomma;<br><br>Legno; laterizio; cemento; altri materiali ...                       | <b>Sostanze di base:</b><br><br>Acqua;<br>Sali minerali (ioni inorganici).<br>Anidride carbonica (autotrofi);<br><b>Sostanze nutritive:</b><br><b>1 Zuccheri</b> (carboidrati);<br><b>2 Grassi</b> (lipidi);<br><b>3 Proteine strutturali e funzionali;</b><br><b>4 Acidi nucleici;</b><br><b>5 Vitamine ed ormoni;</b> |
| <b>2 Energia</b><br><br>(... energia ... quella della fisica e della chimica ... quella della fisica quantistica ...)       | Combustibile fossile;<br>energia elettrica;<br>energia solare; energia eolica; energia geotermica;<br>energia nucleare (fissione e fusione); idrogeno ... | <b>Fonti primarie di energia</b><br><b>Energia solare</b> (solo autotrofi);<br>Zuccheri (autotrofi ed eterotrofi);<br><b>Sostanze energetiche</b><br>ADP ed ATP (Adenosintrifosfato)<br>NAD <sup>+</sup> e NADH (respirazione)<br>FAD e FADH <sub>2</sub> (respirazione)<br><br>NADP <sup>+</sup> e NADPH (fotosintesi) |
| <b>3 Impianti</b>   | Catene di montaggio;<br>sistemi di macchine che lavorano insieme ...<br>Macchine edili<br>Macchine stradali   | <b>Cicli catabolici e reazioni cataboliche (demolizione - entropici)</b><br><br><b>Respirazione</b><br>Glicolisi<br>Ciclo di Krebs<br><br><b>Cicli anabolici e reazioni anaboliche (costruzione – “neghentropici”)</b><br><br><b>Fotosintesi</b><br><b>Sintesi proteine</b>   |
| <b>4 Macchine</b>   | Tornio; fresa; utensili ...<br>Impianti betonaggio; imp. sollevamento ...<br>Camion trasporto ...<br>scavatori ...  | <u>Binomio: DNA – <b>proteine funzionali</b></u><br><b>Enzimi (Proteine funzionali)</b> (facilitano le reazioni)<br><b>Co-enzimi</b> (collaborano con gli enzimi, quali “utensili”)<br>Trasporto (Proteine carrier)<br>Organelli della cellula (Ribosomi, Mitocondri ...)   |
| <b>5 Controllo ed Organizzazione Informazione e comunicazione</b>   | Imprenditori;<br>amministratori-gestori;<br>direttori; sorveglianti (rischi tecnici ed economici)   | <u>Binomio: <b>DNA</b> – <b>proteine funzionali</b></u><br><b>DNA (Acido DesossiriboNucleico) – le istruzioni per l'uso</b><br>RNA (Acido RiboNucleico – m, t ed r)<br>Ormoni (Messaggeri chimici esseri superiori)<br>Sistema immunitario<br>Sistema nervoso, mente – <u>connessioni mente-corpo-mondo</u>             |

