

## I GLUCIDI, I LIPIDI ED I PROTIDI STRUTTURA, METABOLISMO E LIBERAZIONE DI ENERGIA

Le sostanze organiche fondamentali che costituiscono la materia vivente sono: i glucidi, i lipidi ed i protidi.

### 1) *I glucidi.*

I glucidi in natura sono diffusi soprattutto nel regno vegetale (cellulosa, amido), ma si trovano anche negli organismi animali, in parte come materiale di riserva (glicogeno), in parte in forma libera od in particolari combinazioni di notevole interesse biologico.

Negli organismi svolgono funzioni essenzialmente « energetiche »: infatti dalla loro degradazione metabolica si libera parte di quella energia chimica che viene utilizzata sia nei processi vitali di base che durante le aumentate richieste correlate con lo svolgimento di una prestazione atletica.

Dal punto di vista chimico i glucidi vengono considerati come « sostanze ternarie », cioè composte essenzialmente da tre elementi, e precisamente carbonio (C), idrogeno (H) ed ossigeno (O).

I glucidi comprendono un gran numero di composti. Per semplicità si possono suddividere in: monosaccaridi, oligosaccaridi e polisaccaridi.

#### 1.1) I monosaccaridi.

I monosaccaridi sono le unità strutturali più semplici dei glucidi. Per facilitare la comprensione di alcuni fenomeni, la rappresentazione dei monosaccaridi viene fatta con una formula lineare, a catena aperta (Fig. 1A). In realtà i monosaccaridi presenti nell'organismo hanno per lo più una configurazione ciclica, in cui un atomo di ossigeno fa da ponte collegando due atomi di carbonio della stessa molecola (Fig. 1 A - B e C).

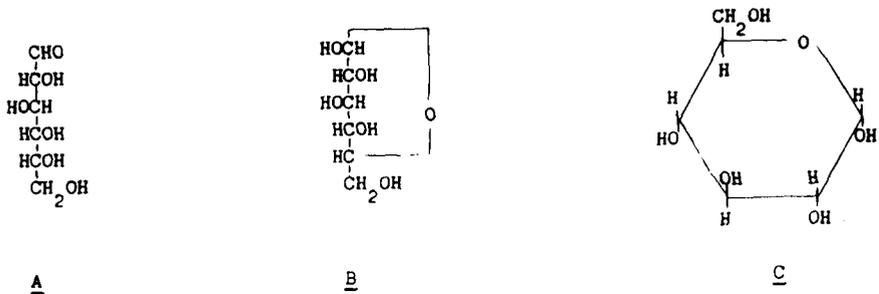
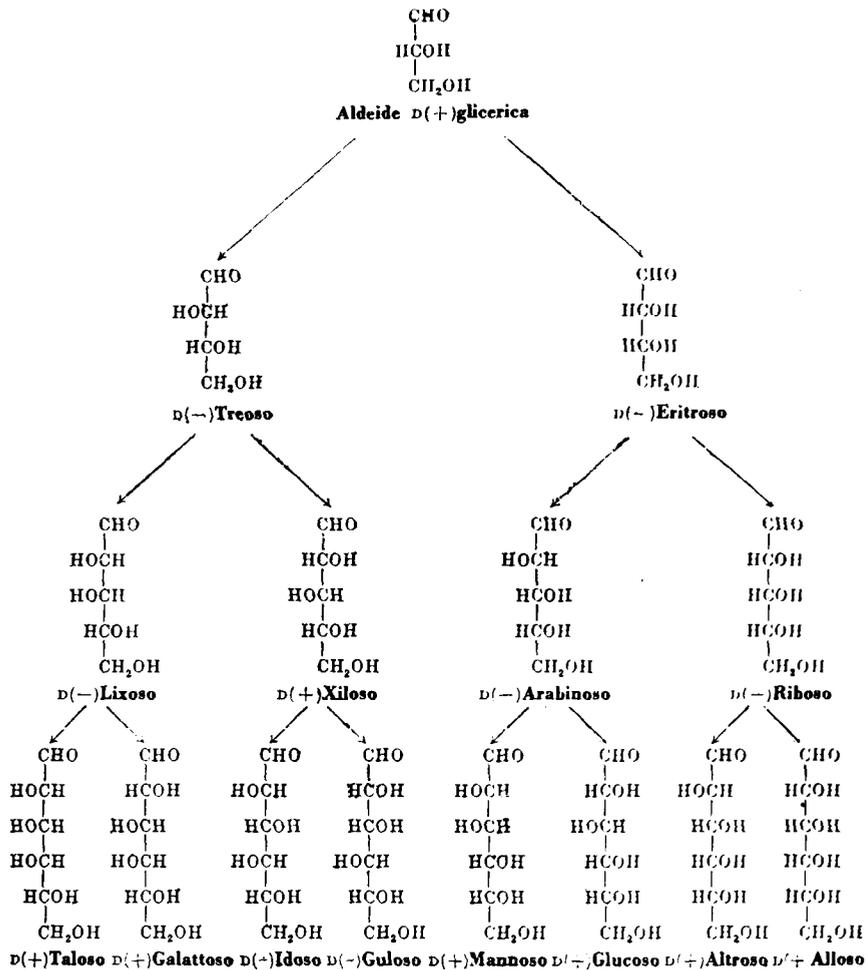


Fig. 1 - Struttura a catena lineare e ciclica di un monosaccaride (glucoso).

Si conoscono monosaccaridi contenenti da due fino a dieci atomi di carbonio, ma i più diffusi in natura sono gli esosi, cioè a 6 atomi di C (ad es. glucoso, galattoso) ed i pentosi, a 5 atomi di C (ad es. riboso, arabinoso) (v. Fig. 2).



(\*) Le formule dei L-aldosi sono le immagini speculari di quelle D sopra riportate.

Fig. 2 - Esempi di alcuni monosaccaridi.

## 1.2) Gli oligosaccaridi.

Gli oligosaccaridi risultano dall'unione di due o più molecole di monosaccaridi. A seconda del numero di monosaccaridi di cui sono costituiti, gli oligosaccaridi si distinguono in disaccaridi (costituiti da due molecole di monosaccaridi), in trisaccaridi (costituiti da tre molecole di monosaccaridi), ecc..

In natura i più numerosi sono i disaccaridi; ricordiamo, a titolo di esempio, il maltoso, il lattoso ed il saccarosio. Il maltoso si trova soprattutto nell'organismo animale dove si forma nei processi digestivi dell'amido. E' costituito da due molecole di glucosio. Il lattoso è il principale glucide del latte ed è costituito da una molecola di galattosio ed una di glucosio. Il saccarosio è il comune zucchero di canna e di barbabietola ed è costituito da una molecola di glucosio ed una di fruttosio (v. Fig. 3).

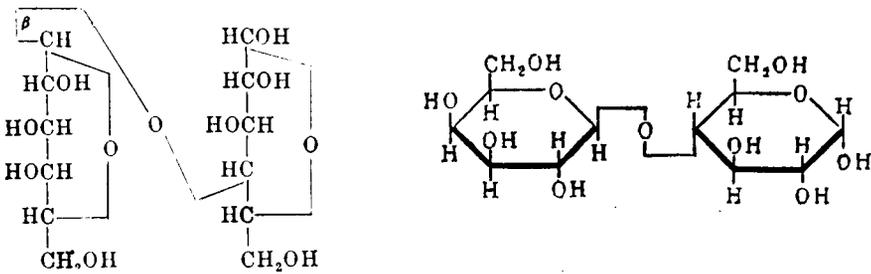


Fig. 3 - Struttura di un disaccaride (lattoso).

## 1.3 I polisaccaridi.

I polisaccaridi hanno una struttura simile a quella degli oligosaccaridi, ma sono costituiti da molto più numerose molecole di monosaccaridi. Possono inoltre essere costituiti da un solo tipo di monosaccaride (omopolisaccaridi) o da tipi differenti (eteropolisaccaridi). L'amido è un esempio di omopolisaccaride, largamente diffuso nel mondo vegetale ove si forma nei processi di fotosintesi.

Il più importante dei polisaccaridi animali è senza dubbio il glicogeno; esso costituisce la tipica riserva glucidica dell'organismo animale: lo si trova soprattutto nel fegato, nel muscolo e nel rene.

Il glicogeno è costituito da numerose molecole di glucoso legate l'una all'altra in lunghe catene altamente ramificate (v. Fig. 4).

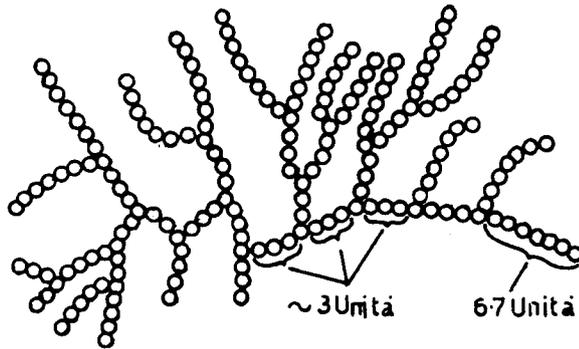


Fig. 4 - Struttura del glicogeno. I cerchietti rappresentano le unità di glucoso.

E' importante ricordare che l'organismo è in grado di utilizzare i glucidi solamente quando questi si trovano sotto forma di monosaccaridi ed in particolare di monosaccaridi fosforilati.

## 2) I lipidi o grassi.

Con il nome di lipidi si designano numerose sostanze di natura chimica diversa, ma caratterizzate da alcune proprietà comuni. Insolubili in acqua, sono facilmente solubili in solventi organici (etere di petrolio, benzolo, ecc.); per idrolisi danno tutti almeno: a) un acido grasso, b) alcoli e/o altre sostanze.

Dal punto di vista biologico si possono suddividere in due grandi gruppi: *lipidi di deposito* e *lipidi cellulari*. I lipidi di deposito sono facilmente estraibili, hanno funzione di materiale di riserva e diminuiscono notevolmente nel digiuno; si trovano, ad esempio, nel connettivo sottocutaneo. I lipidi cellulari sono invece difficilmente estraibili e la loro concentrazione nei tessuti non viene sensibilmente alterata durante il digiuno.

La maggior parte dei lipidi sono esteri del glicerolo (o di altri alcoli) con acidi grassi e costituiscono i cosiddetti *lipidi semplici*. Altri lipidi contengono, oltre a quelle menzionate, sostanze di diversa natura, quali glucidi, acido fosforico, ecc. e costituiscono i *lipidi complessi*.

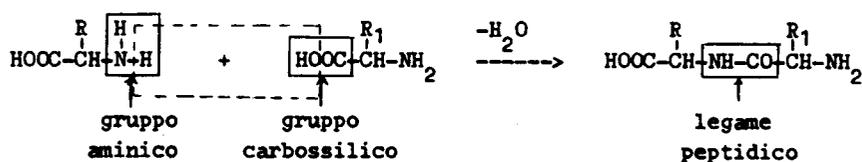


idrogeno ed ossigeno, contengono infatti azoto e, a volte, zolfo ed altri elementi.

Le proteine nel nostro organismo rappresentano oltre il 50% dei componenti organici e circa il 14-18% del peso corporeo totale. Esse assolvono ai più delicati compiti: a proteine di alta specificità si ricollegano i geni ereditari; sostanze proteiche sono i pigmenti respiratori (ad es. emoglobina); di natura proteica sono gli enzimi che catalizzano il complesso di reazioni chimiche essenziali per le normali funzioni cellulari; proteine sono alcuni ormoni, e così pure gli anticorpi interessati ai meccanismi di difesa immunitaria.

Il numero delle proteine è straordinariamente elevato, date le molteplici attività che esse svolgono, ed uno dei problemi centrali della chimica delle proteine è proprio lo studio della loro struttura in relazione alle loro specifiche attività.

Le proteine sono costituite da catene di aminoacidi unite fra loro mediante legami carboamidici e l'unione fra i vari aminoacidi avviene per condensazione, cioè per eliminazione di una molecola d'acqua fra il gruppo aminico di un aminoacido ed il gruppo carbossilico dell'aminoacido successivo (legame carbo-amidico o peptidico).



Questo processo si può ripetere un numero teoricamente illimitato di volte, e così si possono formare proteine che contengono un numero molto elevato di aminoacidi.

Le proteine sono caratterizzate da una struttura primaria, secondaria, terziaria e quaternaria. La *struttura primaria* è data dalla specifica sequenza degli aminoacidi della catena peptidica e dal numero delle catene. Questa struttura è già stata stabilita per diverse proteine; ad esempio l'insulina è costituita da due catene rispettivamente di 21 e 30 aminoacidi, unite da due ponti disolfuro. La *struttura secondaria* riguarda ogni regolare e periodico ripiegamento della molecola peptidica che porta ad assumere una forma tridimensionale stabile: difficilmente infatti esiste in natura una catena peptidica completamente distesa. Si sono trovate diverse strutture

secondarie possibili, quale ad esempio la configurazione elicoidale, in cui la spirale è mantenuta da legami di H che si stabiliscono tra gruppi CO e NH di differenti legami peptidici. Questo tipo di struttura è stata trovata nelle proteine naturali, dette fibrose, del gruppo dell' $\alpha$ -cheratina, costituente fondamentale dei capelli, delle unghie, della lana, ed inoltre nella miosina del muscolo, nel fibrinogeno del sangue, ecc.. Un più semplice tipo di struttura secondaria è quella « a pieghe », dove le singole catene sono unite fra loro con legami H (v. Fig. 5).

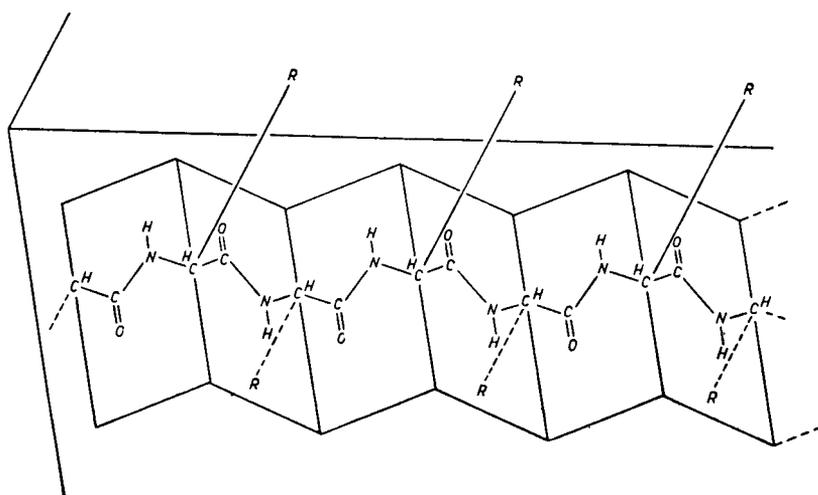


Fig. 5 - Rappresentazione di struttura secondaria « a pieghe ».

Oltre alla struttura secondaria vi può essere un altro ordine di organizzazione della molecola proteica che la rende rigida e compatta: la catena peptidica, soprattutto nella configurazione ad elica, può ripiegarsi su se stessa o avvolgersi in forma sferoidale; tale configurazione è definita *struttura terziaria*. Questa struttura è resa stabile da particolari tipi di legami che dipendono dalla struttura primaria della catena polipeptidica (v. Fig. 6).



Fig. 6 - Rappresentazione di una struttura terziaria.

La *struttura quaternaria* è l'associazione di due o più unità polipeptidiche necessarie per formare una molecola proteica completa: un esempio è dato dall'emoglobina (il noto pigmento respiratorio del sangue), la cui molecola completa è formata da due catene  $\alpha$  e due catene  $\beta$  (v. Fig. 7).

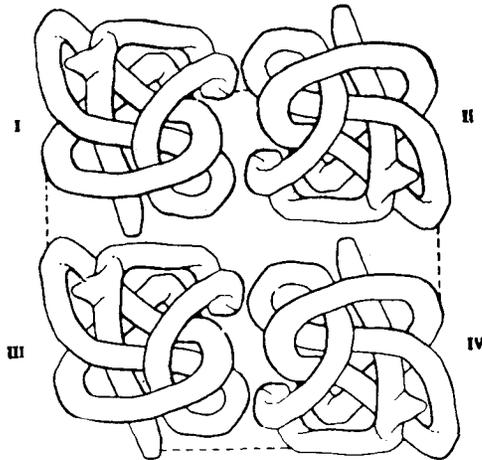


Fig. 7 - Rappresentazione di una struttura quaternaria.

#### 4) *Il metabolismo.*

Dal punto di vista biochimico, con il termine di metabolismo si intendono tutte le trasformazioni chimiche e chimico-fisiche che si verificano nella materia vivente; sono quindi impliciti i fenomeni inerenti all'assorbimento ed all'utilizzazione degli alimenti, i processi respiratori, le trasformazioni chimiche interessate alla sintesi (anabolismo) delle strutture dell'organismo ed alla loro demolizione (catabolismo).

La costante composizione chimica degli organismi è la risultante di un equilibrio dinamico fra processi anabolici e catabolici; si sa infatti che gli organismi sintetizzano, a partire da composti assai semplici, la maggior parte delle loro strutture, anche le più complesse. Queste reazioni generalmente richiedono energia (reazioni endoergoniche), che deriva dalle reazioni cataboliche, cioè di degradazione degli alimenti; queste reazioni di degradazione sono reazioni esoergoniche, ovvero liberano energia. In conclusione sono i processi di demolizione e di biosintesi dei costituenti cellulari ed i processi di trasferimento di energia che costituiscono il metabolismo.

In generale esiste sempre una via principale attraverso cui ogni sostanza viene metabolizzata, ma bisogna ricordare che sussistono alternative metaboliche, cioè più di una via di biosintesi e più di una via catabolica.

##### 4.1) *Metabolismo dei glucidi.*

L'importanza dei glucidi risulta dal fatto che essi occupano un posto preminente nella dieta animale: i glucidi infatti rappresentano, almeno nella dieta delle nostre popolazioni, il 50-60% delle calorie introdotte. Le maggiori sorgenti di glucidi della dieta sono rappresentate da alimenti di origine vegetale, mentre trascurabile è l'apporto glucidico di origine animale.

I glucidi presentano una duplice funzione: plastica ed energetica. Plastica, in quanto partecipano alla costituzione di strutture che sono essenziali per gli organismi viventi; energetica, in quanto forniscono all'organismo l'energia immediata per le sue prestazioni funzionali. Una carenza totale e prolungata di queste sostanze in una dieta non è tollerata.

I glucidi della dieta sono assorbiti dall'organismo umano, dopo la loro completa demolizione a monosaccaridi ad opera di enzimi idrolitici pre-

sentì nell'apparato digerente. Tuttavia è da rilevare che non tutti i glucidi possono essere scissi a monosaccaridi e di conseguenza assimilabili (ad es. la cellulosa non viene in alcun modo utilizzata dall'organismo). Gli enzimi idrolitici (detti idrolasi) sono suddivisi in: polisaccaridasi e oligosaccaridasi, a secondo che agiscono sui polisaccaridi o sugli oligosaccaridi: tra i primi ricordiamo le amilasi e le pectidasi, tra i secondi la maltasi, la lattasi e la saccarasi.

Per quanto riguarda la digestione dei polisaccaridi, questa inizia già nella cavità orale ad opera di una amilasi salivare (la ptialina); nello stomaco invece non esistono enzimi che possano continuare l'azione digestiva della ptialina, mentre nell'intestino un'amilasi pancreatica, uguale a quella salivare, completa la digestione fino a disaccaridi (maltoso, lattoso, saccaroso). Questi vengono infine scissi a monosaccaridi ad opera di enzimi specifici presenti nel succo enterico (la maltasi, la lattasi e la invertasi); i monosaccaridi, così formati, vengono poi assorbiti nell'intestino tenue.

L'assorbimento avviene sia per *semplice diffusione* (la quale dipende dalle differenze di concentrazione del glucide nel lume intestinale, nelle cellule delle mucose assorbenti e nel plasma sanguigno), sia con *assorbimento attivo*, ovvero mediante una aumentata velocità del processo di diffusione, che richiede energia e che è indipendente dai gradienti di concentrazione; pare che in questo caso intervenga un trasportatore che capterebbe il monosaccaride da un lato della membrana e lo depositerebbe al lato opposto.

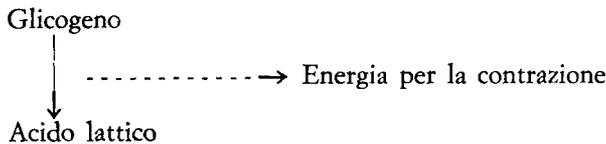
I monosaccaridi, assorbiti nel tenue, giungono, tramite la vena porta, al fegato; qui tutti i monosaccaridi vengono convertiti in glucosio ad opera di specifici enzimi denominati isomerasi; il glucosio è cioè la sola forma di monosaccaride utilizzata dall'organismo. Se non viene usato immediatamente, il glucosio viene polimerizzato a glicogeno e depositato nel fegato e nei muscoli come materiale di riserva. La concentrazione del glucosio nel sangue deve essere costante (gr. 0,8-1,2/1000 ml); al di sotto dello 0,4/1000 si può addirittura arrivare al coma ipoglicemico. In condizioni di ipoglicemia l'organismo si difende rapidamente scindendo il glicogeno epatico ed immettendo glucosio nel circolo sanguigno; inoltre sintetizza glucosio a spese di altre sostanze non glucidiche (es. da aminoacidi). In linea generale, un organismo sano ed in particolare l'organismo di un atleta ben allenato è rapidamente capace di bilanciare le condizioni di ipoglicemia con una efficace mobilitazione del glicogeno di riserva.

Il catabolismo dei glucidi è stato studiato soprattutto per il glicogeno del muscolo durante la prestazione muscolare; è evidente però che questi

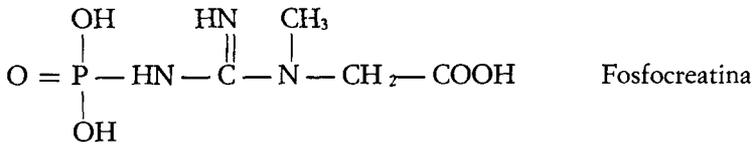
processi si verificano in tutti i tessuti dell'organismo e non solo a livello muscolare.

L'intimo significato dei processi di demolizione glucidica è quello di liberare energia necessaria per tutte le attività vitali e per le prestazioni richieste. Il motivo per cui il metabolismo energetico dei glucidi è stato studiato prevalentemente nel muscolo è che in questo è più facile porre in relazione le modificazioni chimiche, che avvengono durante il lavoro, con la liberazione di energia.

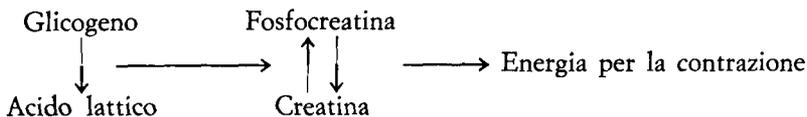
I primi studi sulla chimica del muscolo durante la contrazione avevano dimostrato che: 1) il muscolo può contrarsi anche in assenza di ossigeno (anaerobiosi); 2) durante la contrazione anaerobica si forma nel muscolo una sostanza, l'acido lattico, che lentamente scompare in presenza di ossigeno; 3) durante la contrazione in presenza di ossigeno (aerobiosi) si forma meno acido lattico che non in assenza di ossigeno. Successivamente veniva dimostrato che l'acido lattico prodotto derivava dal glicogeno presente nel muscolo, come è riassunto nello schema seguente:



Studi successivi fecero modificare l'ipotesi precedente, mettendo in luce la funzione fondamentale che, durante la contrazione muscolare, assumeva la demolizione di un composto del fosforo, la fosfocreatina o fosfagene:

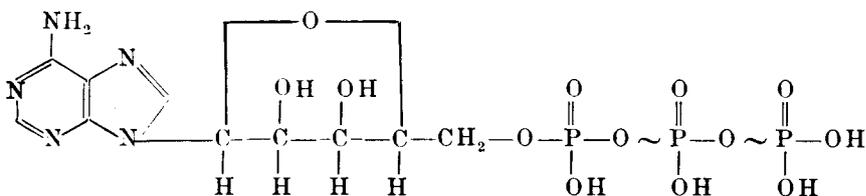


Ciò fece supporre che la fonte di energia necessaria alla contrazione muscolare derivasse dalla fosfocreatina, mentre i processi di demolizione del glicogeno non sarebbero serviti altro che a fornire l'energia per la risintesi della fosfocreatina stessa. Lo schema precedente poteva quindi essere modificato come segue:

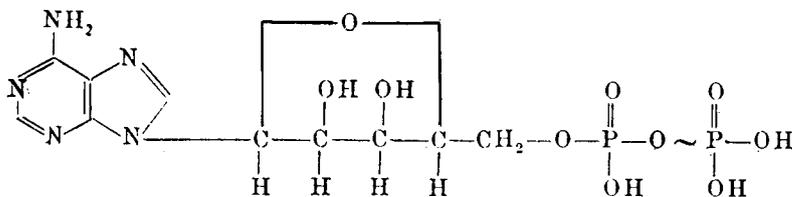


Ricerche successive hanno messo in evidenza, accanto alla fosfocreatina, l'importanza fondamentale che, nella contrazione muscolare, assumeva un altro composto organico del fosforo, l'acido adenosintrifosforico o ATP, sostanza indispensabile alla demolizione del glicogeno ed alla risintesi della fosfocreatina, del cui intimo significato si vedrà più oltre.

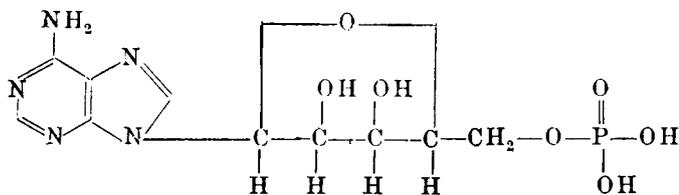
Chimicamente l'ATP è un composto caratterizzato dalla presenza di tre radicali fosforici e la cui degradazione porta alla formazione, per perdita di uno o due radicali fosforici, rispettivamente di acido adenosindifosforico o ADP e acido adenosinmonofosforico o AMP:



**Ac. adenosintrifosforico (ATP)**



**Ac. adenosindifosforico (ADP)**



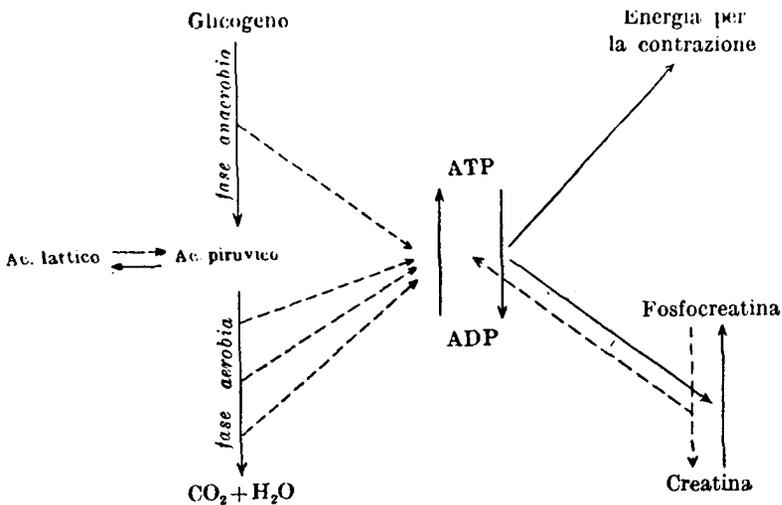
**Ac. adenosinmonofosforico (AMP)**

In base a queste ulteriori conoscenze, si poteva quindi affermare che la trasformazione della fosfocreatina in creatina serviva a fornire i radicali fosforici per la formazione di nuove molecole di ATP dai suoi precursori ADP e AMP.

E' quindi la demolizione dell'ATP che fornisce l'energia per la contrazione muscolare; la demolizione del glicogeno a sua volta fornisce una parte dell'energia per la sintesi dell'ATP e quindi della fosfocreatina.

Contrariamente alla prima ipotesi, in condizioni fisiologiche la demolizione del glicogeno raramente giunge allo stadio di acido lattico; quando l'ossigenazione del muscolo è adeguata, l'acido piruvico che, in questo processo, precede l'acido lattico è completamente ossidato senza formazione quindi di quest'ultimo composto. E' in queste condizioni di aerobiosi che le tappe ossidative, le quali portano alla demolizione completa dell'acido piruvico in anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e acqua (H<sub>2</sub>O), forniscono la maggior parte di energia per la risintesi dell'ATP.

Riassumendo, gli schemi precedenti potrebbero essere espressi nel modo seguente:



Tale schema indica che la trasformazione dell'ATP in ADP fornisce la energia immediata per la contrazione muscolare ed inoltre i radicali fosforici e l'energia per la sintesi della fosfocreatina dalla creatina, mentre la demolizione del glicogeno concorre alla restaurazione del sistema  $ADP \rightleftharpoons ATP$ .

Descritto il fenomeno nelle sue linee generali, vediamo ora di esaminare più dettagliatamente il processo biochimico di demolizione del glicogeno.

Come indicato nello schema precedente, il glicogeno viene demolito a CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O attraverso due fasi successive, anaerobica (o glicolisi) ed aerobia (o ciclo degli acidi tricarbossilici o ciclo di Krebs).

Nella Fig. 8 è indicata la sequenza delle reazioni della *glicolisi*, che porta alla formazione di un metabolita fondamentale, l'acido piruvico.

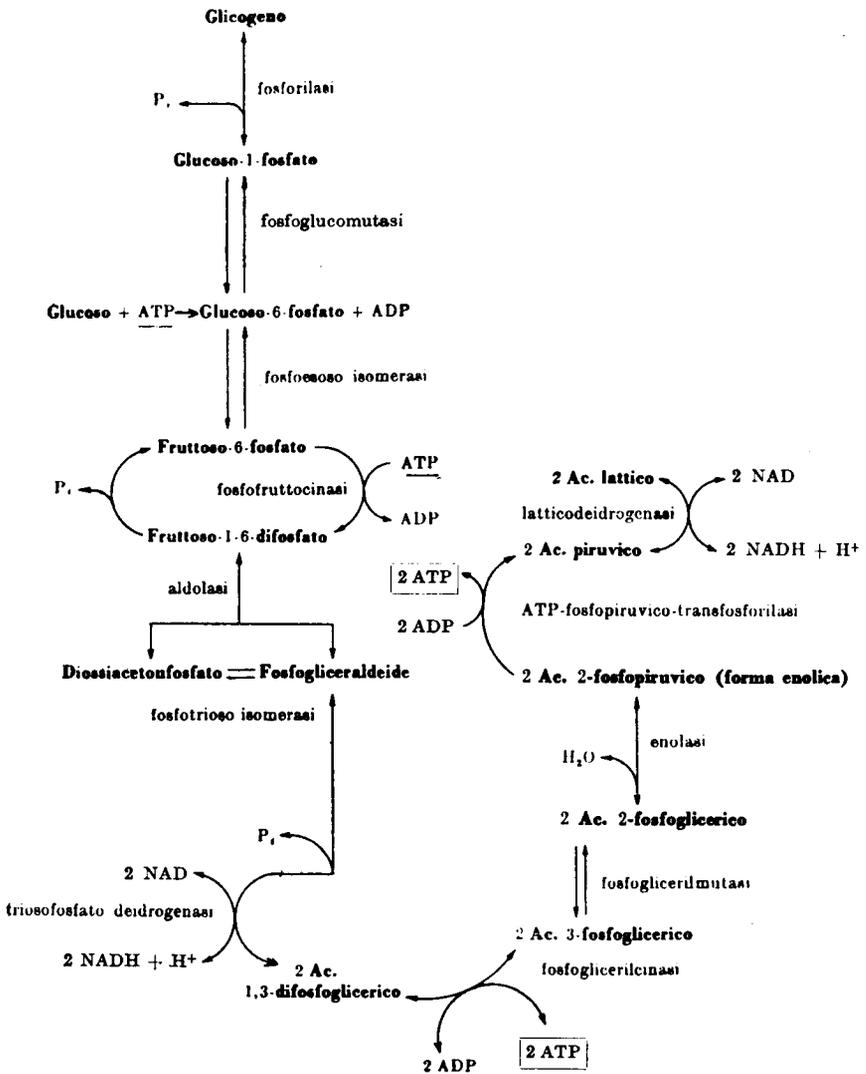


Fig. 8 - Glicolisi anaerobia.

Tale processo avviene sempre in assenza di ossigeno; se lo stato di anaerobiosi perdura, l'acido piruvico, formatosi nella glicolisi, viene ridotto ad acido lattico. Nell'organismo questa condizione si verifica solamente in

seguito ad una prestazione atletica molto intensa; in ogni caso l'eccesso di acido lattico eventualmente formatosi deve successivamente venire allontanato e portato a tessuti ad alta capacità metabolica, dove, in presenza di ossigeno, viene in parte risintetizzato a glicogeno ed in parte ossidato a  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ , come indicato nella Fig. 9 che rappresenta il ciclo di Cori.

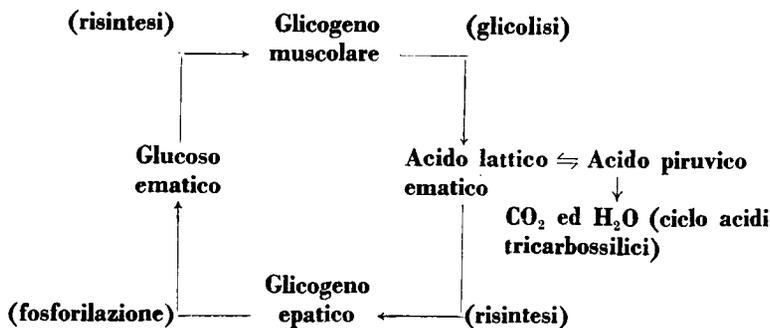


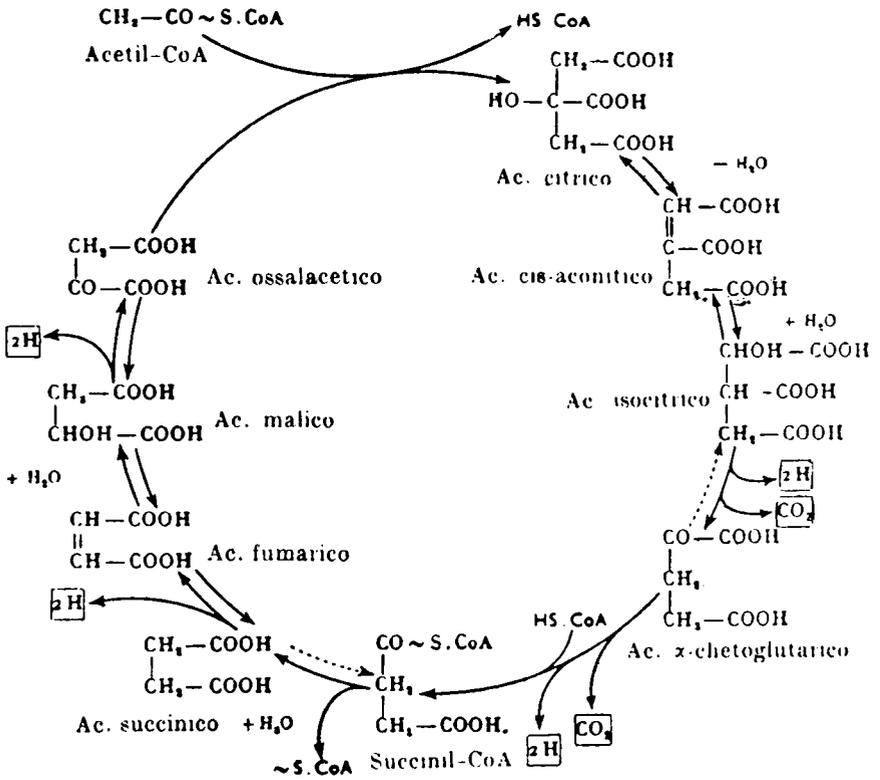
Fig. 9 - Ciclo di Cori.

In normali condizioni di aerobiosi, cioè quando l'atleta espleta l'esercizio muscolare con sufficiente apporto di ossigeno, non si forma acido lattico, e l'acido piruvico prosegue il suo destino metabolico attraverso una serie di reazioni che prende il nome di « *ciclo degli acidi tricarbossilici* » o « *ciclo di Krebs* », rappresentato nella Fig. 10.

In questo ciclo l'acido piruvico perde inizialmente una molecola di  $\text{CO}_2$  e si trasforma in un acetato attivo, detto acetil-coenzima A (acetil-CoA:  $\text{CH}_3\text{-CO} \sim \text{SCoA}$ ), che successivamente, unitamente all'acetil-CoA derivato dal catabolismo degli acidi grassi (vedi avanti) e di diversi aminoacidi, viene demolito a  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ .

Come si può vedere dalla Fig. 10, per ogni acetil-CoA si formano due molecole di  $\text{H}_2\text{O}$ , due molecole di  $\text{CO}_2$  e 8 atomi di H: questi atomi di H, legandosi a particolari molecole di substrato, che in questo modo si riducono, entrano nella catena respiratoria cellulare, dove, per una serie di processi di ossido-riduzione, si libera energia che viene convogliata nella formazione di molecole di ATP ed in esse immagazzinata (vedi avanti: la liberazione di energia).

La glicolisi rappresenta la principale via di demolizione dei glucidi ai fini energetici; tuttavia esistono anche altre vie alternative, quale ad esempio il ciclo dei pentosi o « shunt dell'esosomonofosfato »; anche in questo ciclo, oltre ad acqua ed anidride carbonica, per ogni molecola di glucosio si possono formare molecole di ATP altamente energetiche.



**Ciclo di KREBS**

Fig. 10 - Ciclo degli acidi tricarbossilici o ciclo di Krebs.

**4.2) Metabolismo dei lipidi.**

I lipidi degli alimenti sono in parte di origine animale ed in parte di origine vegetale: la percentuale di calorie assegnata ai grassi in una alimentazione razionale oscilla intorno al 20% della dieta.

Nei processi di digestione ed assorbimento dei lipidi hanno un'importanza fondamentale gli enzimi lipolitici ed i sali biliari. Questi enzimi (detti idrolasi) catalizzano la scissione fra l'acido grasso e l'alcool che costituiscono il lipide.

Nella saliva non è contenuto nessun enzima che agisce sui grassi, mentre esiste una lipasi gastrica che è attiva però solo sui grassi più fine-

mente emulsionati; la vera digestione di queste sostanze avviene nell'intestino tenue ad opera della lipasi pancreatica o steapsina e della lipasi enterica, che idrolizzano i lipidi nei loro costituenti. Questo processo è favorito dai sali biliari, i quali per la loro proprietà di diminuire fortemente la tensione superficiale che esiste all'interfacie grassi/acqua facilitano la formazione di una emulsione, necessaria all'assorbimento di queste sostanze.

Tale assorbimento avviene attraverso le cellule che rivestono i villi intestinali; successivamente i costituenti lipidici si ricombinano, almeno in parte, in queste cellule per formare nuovamente grassi neutri. Il grasso così riformatosi viene sospinto verso l'interno del villo passando nel vaso chilifero centrale del villo stesso dove, sotto forma di fine emulsione, viene portato alla linfa, che assume un aspetto bianco lattescente e che prende così il nome di chilo. Il chilo poi, attraverso il dotto toracico sinistro, si versa infine nel sangue della circolazione generale.

I grassi assorbiti vengono quindi in gran parte convogliati ed immagazzinati negli organi di deposito, quali i mesenterici, i tessuti connettivi sottocutanei ed intramuscolari.

Nel sangue è presente una quota lipidica pressochè costante, indipendente dalla dieta, che è l'espressione del metabolismo lipidico dei tessuti: infatti il grasso può essere trasferito dai depositi ad altri tessuti. Si è già parlato della distinzione dei lipidi in lipidi cellulari e lipidi di deposito: i primi hanno una costituzione chimica indipendente dai grassi ingeriti, ossia ogni specie animale, partendo da materie prime pressochè uguali, produce il proprio particolare tipo di grasso cellulare. I secondi rappresentano la quota variabile dei lipidi dell'organismo, che si modifica con le condizioni di nutrizione e con le necessità energetiche. Rappresentano infatti la più ampia riserva calorica dell'organismo, ed inoltre servono come isolanti termici oltre ad esplicare una azione protettiva ed estetica.

Per quanto riguarda il metabolismo, i lipidi vengono idrolizzati nei singoli componenti, glicerolo ed acidi grassi, dagli enzimi dei tessuti. Il glicerolo segue poi le tappe della glicolisi, entrando nel ciclo di Krebs, mentre la demolizione degli acidi grassi avviene per il distacco successivo degli ultimi due atomi di carbonio della catena, entrando nel ciclo di Krebs sotto forma di acetyl-CoA (v. Fig. 11).

Ossia le lunghe catene degli acidi grassi perdono gradualmente due atomi di carbonio per volta (unità bicarboniosa) per cui, ad es., da 10 atomi di C si riduce ad 8 atomi di C con liberazione di una unità bicarbo-

niosa; quindi da 8 atomi di C si riduce a 6 atomi di C, con liberazione di un'altra unità bicarboniosa, e così via. Sono queste unità bicarboniose che, sotto forma di acetil-CoA, entrano nel ciclo di Krebs.

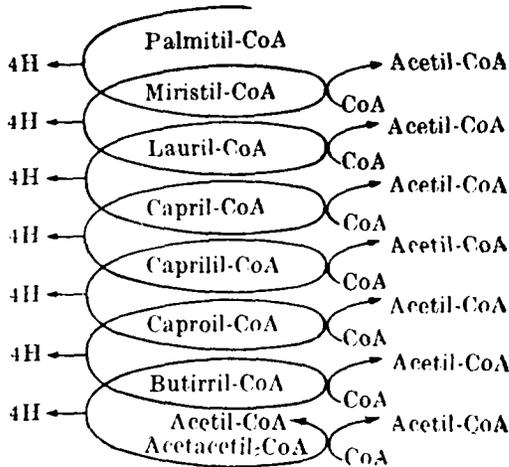
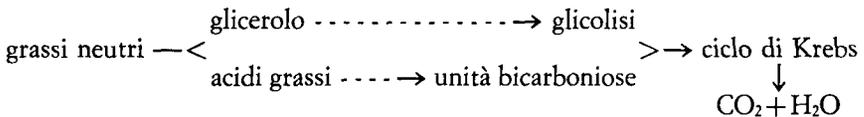


Fig. 11 - Demolizione degli acidi grassi.

Il destino quindi dei grassi è, in ultima analisi, quello di essere ossidati, attraverso il ciclo di Krebs, a CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O, come riassunto nello schema seguente:



E' evidente quindi la notevole importanza dei lipidi nella produzione di energia e di questo deve essere tenuto presente nella specifica preparazione alle prestazioni atletiche.

### 5) La liberazione di energia.

Con il termine di energia si indica la capacità di produrre lavoro nelle sue molteplici forme; le macchine sfruttano l'energia potenziale del carburante, racchiusa nelle molecole di benzina e la trasformano in energia di moto, come avviene per esempio nell'automobile.

Allo stesso modo tutti gli organismi sfruttano l'energia racchiusa negli alimenti e la utilizzano per compiere il lavoro chimico di sintesi dei nuovi

costituenti cellulari e, trasformata in altre forme, per compiere vari tipi di lavoro, come il lavoro meccanico (ad es. la contrazione muscolare), elettrico od osmotico. Tuttavia nelle macchine costruite dall'uomo, il carburante brucia liberando l'energia chimica di legame sotto forma di calore, che viene poi trasformato in altre forme di energia; l'organismo umano, funzionando a temperatura relativamente costante, non può trasformare calore in lavoro. Essa deve liberare ed utilizzare l'energia chimica in condizioni di temperatura non solo costante, ma anche poco elevata: è per questo che le cellule devono possedere meccanismi molecolari che lavorano con alti rendimenti in tali condizioni. Questi meccanismi molecolari permettono che l'organismo conservi ed accumuli l'energia in composti ricchi di energia chimica, che è l'unica forma di energia utilizzata dal nostro organismo. L'energia liberata dalla degradazione metabolica dei glucidi e dei lipidi viene cioè immagazzinata in molecole particolari che sono di solito dei composti organici del fosforo, quali ad es. l'ATP.

L'organismo trasforma infine in lavoro l'energia accumulata in questi composti ricchi di energia.

Si è visto che il principale meccanismo attraverso il quale si forma ATP è la catena di trasporto degli elettroni o catena respiratoria cellulare. Nella cellula, e più precisamente in particolari particelle cellulari dette

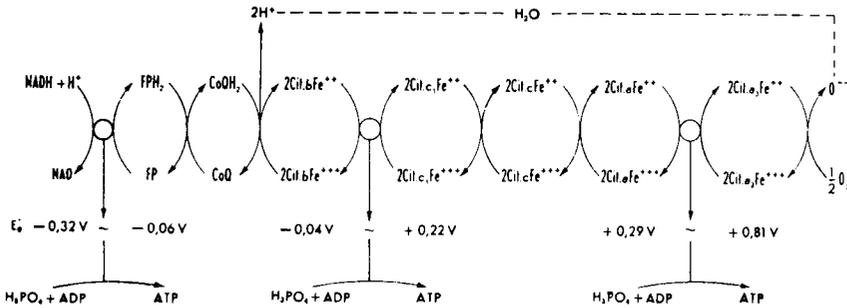


Fig. 12 - Catena respiratoria cellulare.

mitocondri, si trovano molecole a diverso potenziale elettrico e gli elettroni che si liberano dal catabolismo dei lipidi e dei glucidi vengono trasferiti dalle molecole a potenziale più negativo fino a quelle a potenziale più positivo (v. Fig. 12).

Nello schema della Fig. 12 si può rilevare che la scala dei potenziali fra NAD (difosfopiridinnucleotide) ed ossigeno si estende fra  $-0,32$  Volts e  $+0,81$  Volts, con una caduta di potenziale di  $1,13$  Volts: è proprio questa differenza di potenziale che condiziona il trasferimento degli elettroni. In ogni stadio di questo trasferimento di elettroni, una certa quantità di energia diviene disponibile per la formazione di ATP da ADP e fosfato inorganico ( $H_3PO_4$ ). L'energia quindi viene immagazzinata nelle molecole di ATP e più precisamente nei due ultimi legami fosforici della molecola, denominati appunto *legami altamente energetici* ed indicati con il simbolo  $\sim$ .

La scissione dei legami fosforici dell'ATP trasforma l'ATP stesso in ADP e AMP e libera contemporaneamente l'energia immagazzinata; essa può essere dissipata in calore o trasformata, in presenza di opportuni trasformatori, in altre forme di energia. Così nel muscolo, la miosina (trasformatore) scinde l'ATP e l'energia che ne deriva viene trasformata nell'energia meccanica della contrazione muscolare (v. Fig. 13).

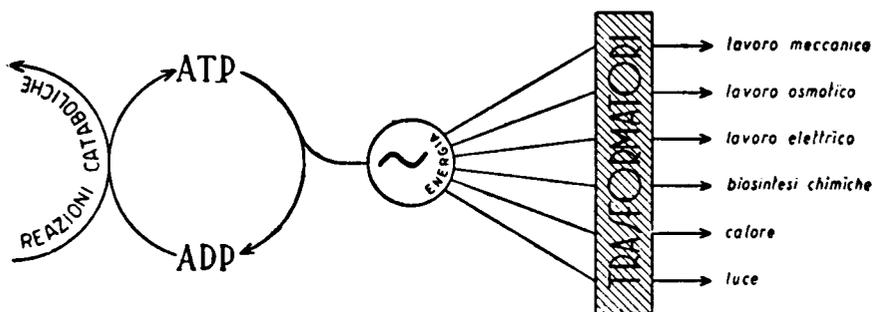


Fig. 13 - La dinamo energetica.

E' importante tener presente che la concentrazione dell'ATP è in genere piuttosto piccola ed è quindi necessario che l'ATP venga continuamente risintetizzato a spese delle reazioni cataboliche. Da qui la necessità di una costante ed equilibrata dieta alimentare che renda possibile un'introduzione nell'organismo di alimenti ad alto livello energetico; questi, tramite le reazioni metaboliche intraorganiche, vengono degradati a prodotti di

rifiuto a basso livello energetico: in tal modo si ha la produzione della energia indispensabile per tutte le attività vitali in generale e per le prestazioni atletiche in particolare (v. Fig. 14).

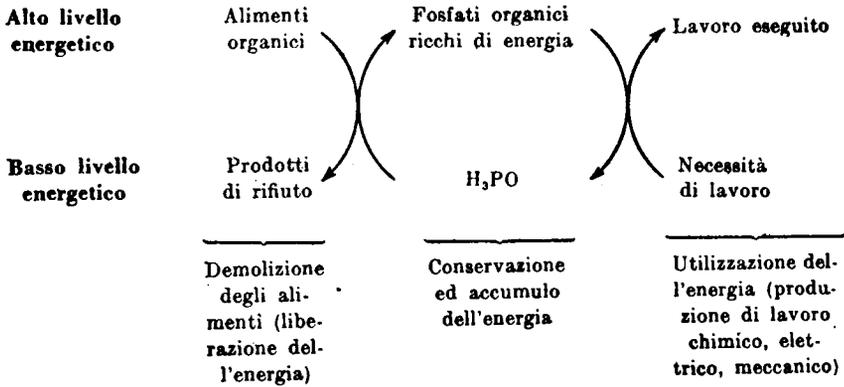


Fig. 14 - Trasformazione dell'energia in lavoro.