

# Alimentazione, nutrizione ed energia

Gli animali hanno bisogno di cibo

1. come combustibile, ovvero energia per vivere e mantenere le funzioni corporee;
2. come materia prima per sviluppare e mantenere i meccanismi cellulari ed il loro metabolismo, per crescere e riprodursi.

L'energia chimica ed i composti organici di cui hanno bisogno gli animali derivano dalle piante e quindi indirettamente dall'energia solare.

L'assunzione e l'ingestione di cibo prendono il nome di **ALIMENTAZIONE**.

Qualsiasi cibo è costituito da sostanze molto complesse che non possono essere incorporate dall'organismo o usate come materiale nutritivo, senza essere scisse in composti più semplici; questa scissione prende il nome di **DIGESTIONE**.

La necessità di introdurre cibo a scopo energetico insieme alla necessità di componenti specifici dell'alimentazione, appartiene a quello che noi chiamiamo **NUTRIZIONE**.

## Alimentazione

il cibo viene ottenuto con diverse modalità

Tipo di cibo	Metodo di alimentazione	Animali che usano il metodo
Particelle piccole	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Vacuoli digestivi</li><li>2. Ciglia</li><li>3. Muco</li><li>4. Tentacoli</li><li>5. Setole, filtrazione</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Amebe, Radiolari</li><li>2. Ciliati, Spugne, Bivalvi, Girini</li><li>3. Gasteropodi, Tunicati</li><li>4. Oloturia</li><li>5. Piccoli crostacei, aringa, Procellarie, balene, fenicotteri</li></ol>
Particelle grosse o masse	<ol style="list-style-type: none"><li>1. ingestione di masse inerti</li><li>2. Raschiamento, masticazione,</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Mangiatori di detriti, lombrichi</li><li>2. Riccio di mare, lumache, insetti e</li></ol>

	perforazione 3. Cattura ed inghiottimento della preda	vertebrati 3. Celenterati, Pesci, serpenti, uccelli, pipistrelli
Liquidi e tessuti molli	1. Suzione linfa dalle piante, nettare 2. ingestione di sangue 3. suzione di latte o di secrezioni simili 4. Digestione esterna 5. Assunzione attraverso la superficie corporea	1. Afidi, api, colibrì 2. Sanguisughe, acari, insetti, pipistrello vampiro 3. Mammiferi neonati e uccelli 4. Ragni 5. Parassiti, tenie
Materiali organici disciolti	1. Assunzione da soluzioni diluite	1. invertebrati acquatici (probabilmente di secondaria importanza)
Apporto simbiotico di sostanze nutritive	1. Azione di alghe simbiotiche intracellulari	1. Parameci, spugne, coralli, idre, platelminti, bivalvi

## Digestione

Gli alimenti utilizzati dagli animali sono costituiti da tre principali classi di composti: le proteine, i grassi e i carboidrati.

Sono in prevalenza grosse molecole e anche le più piccole (gli zuccheri) hanno pesi molecolari di qualche centinaio.

Perché il cibo possa essere utilizzato dall'organismo a scopo energetico e a scopo strutturale le grosse molecole alimentari devono essere scisse in unità più semplici che, una volta assorbite, possono essere o incorporate come tali dall'organismo oppure metabolizzate per fornire energia.

### Digestione intracellulare ed extracellulare

La digestione intracellulare è tipica degli organismi unicellulari, dove viene sfruttato il vacuolo digestivo e gli enzimi responsabili della digestione di proteine, carboidrati e grassi.

Alcuni animali come i celenterati hanno una digestione in parte intracellulare ed in parte extracellulare. La digestione comincia nella cavità digerente, celenteron, e frammenti di cibo parzialmente digerito passano all'interno delle cellule che costituiscono la parete di questa cavità, dove vanno incontro alla digestione completa.

La digestione extracellulare presenta chiaramente un vantaggio: essa permette l'ingestione di grosse particelle di cibo, laddove la digestione intracellulare è limitata a particelle tanto piccole da poter essere assunte da singole cellule dell'organismo.

La digestione extracellulare è generalmente connessa alla presenza di un apparato digerente sviluppato, in cui gli enzimi secreti possono agire sul materiale alimentare.

Il tratto digerente può presentare una sola apertura all'esterno, come nei celenterati, nelle stelle marine e nei turbellari. In questi animali, il materiale non digerito viene espulso dalla stessa apertura che è servita da bocca.

Negli animali più complessi il tratto digerente ha due aperture, una bocca ed un ano: questo permette una digestione a catena di montaggio.

### Digestione enzimatica

Gran parte dei composti che costituiscono gli alimenti sono rappresentati o da molecole di grosse dimensioni (proteine), o da molecole insolubili in acqua (grassi) o da molecole sia grosse che insolubili (amido e cellulosa).

Le proteine, gli amidi e la cellulosa sono polimeri formati da costituenti più semplici per eliminazione di molecole d'acqua; i grassi sono esteri di acidi grassi e glicerolo e anch'essi si formano con eliminazione di molecole d'acqua.

La scissione di questi composti nei costituenti più semplici richiede quindi acqua e prende il nome di idrolisi.

L'idrolisi è una reazione spontanea che avviene con liberazione di energia, sotto forma di calore. L'idrolisi spontanea dei componenti alimentari procede ad un ritmo enormemente lento e deve essere quindi accelerata dalla presenza di catalizzatori.

I catalizzatori prodotti dagli organismi viventi sono chiamati enzimi, e la loro presenza è essenziale nei processi digestivi.

Tutti gli enzimi sono di natura proteica.

L'alta temperatura, la forte acidità, gli enzimi proteolitici e i metalli pesanti che si legano alle proteine possono inattivare l'enzima.

L'attività di tutti gli enzimi è notevolmente influenzata dal pH della soluzione.

Gran parte degli enzimi mostrano attività più spiccata in corrispondenza di un certo pH, che viene chiamato pH ottimale di quell'enzima.

I due enzimi più conosciuti responsabili della digestione delle proteine sono la pepsina, che ritrova nello stomaco dei vertebrati e la tripsina prodotta dal pancreas dei vertebrati.

La pepsina ha un pH ottimale che corrisponde ad una soluzione fortemente acida, all'incirca pH 2, e la tripsina ad una soluzione leggermente alcalina, circa 8.

La velocità delle reazioni enzimatiche è notevolmente influenzata dalla temperatura: un lieve aumento della temperatura accelera la reazione, mentre con un forte aumento le proteine coagulano e gli enzimi vengono quindi inattivati. Al di sopra dei  $50^{\circ}\text{C}$  si perde gran parte dell'azione dell'enzima.

L'optimum di temperatura non è caratteristica specifica di un enzima, ma dipende dalla durata dell'esperimento.

## Digestione delle proteine

Le proteine sono polimeri costituiti da aa legati tra loro da legami peptidici. Un aa è un acido organico relativamente semplice che porta, sull'atomo di C vicino al gruppo acido (o gruppo carbossilico  $-\text{COOH}$ ), un gruppo amminico ( $-\text{NH}_2$ ). il legame peptidico si forma tra gruppo carbossilico e gruppo amminico con eliminazione di una molecola d'acqua.

Sono circa 20 gli aa diffusi praticamente in tutti gli esseri viventi, anche se in proporzioni molto variabili. Questo significa che quando le proteine sono idrolizzate ad aa, questi diventano a loro volta i blocchi per la costruzione di specifiche proteine richieste dall'organismo.

Gli enzimi che digeriscono le proteine, a seconda del livello della molecola proteica su cui agiscono, si dividono in 2 classi: le **esopeptidasi** che idrolizzano i peptici terminali della lunga catena proteica e le **endopeptidasi** che agiscono all'interno della catena proteica.

Le 2 endopeptidasi più conosciute, che intervengono nella digestione dei vertebrati, sono la pepsina e la tripsina.

La pepsina è secreta dallo stomaco come precursore inattivo, il pepsinogeno. Oltre a questo, lo stomaco secerne HCl che impartisce al suo contenuto un pH molto basso.

Se posto in ambiente acido, ad un pH inferiore a 6 il pepsinogeno viene attivato in maniera autocatalitica e forma l'enzima attivo, la pepsina.

La pepsina idrolizza specificamente i legami peptidici tra un aa che possiede un gruppo fenolico (tirosina o fenilalanina) e un acido carbossilico (acido glutammico o acido aspartico). La pepsina attacca perciò soltanto alcuni dei legami peptidici di una grossa proteina, mentre lascia intatti gli altri.

La digestione da parte della pepsina riduce quindi la proteina ad una serie di catene più brevi, o frammenti, che sono ulteriormente attaccabili dallo stesso enzima.

La tripsina è secreta dal pancreas, anch'essa sotto forma inattiva, come tripsinogeno. Questo è attivato nell'intestino dall'enzima enterochinasi, secreto a sua volta dalle ghiandole della parete intestinale. il tripsinogeno è attivato anche dalla tripsina attiva, quindi la sua attivazione procede sempre più rapidamente man mano che si forma tripsina.

Questa è conosciuta come attivazione autocatalitica.

La tripsina agisce in maniera ottimale in ambiente leggermente alcalino, a pH compreso tra 7 e 9. Questo enzima idrolizza i legami peptici adiacenti ad aa basici (come lisina ed arginina, che sono aa con 2 gruppi amminici).  
i frammenti proteici e le catene peptidiche formate dall'azione di pepsina e tripsina vanno incontro ad ulteriore digestione da parte delle esopeptidasi, che attaccano solo i legami peptidici terminali. La carbossipeptidasi, secreta dal pancreas, idrolizza i legami peptidici terminali adiacenti ad un gruppo carbossilico libero, e l'aminopeptidasi, secreta dall'intestino, idrolizza i legami peptidici adiacenti ad un gruppo libero amminico. Infine, le dipeptidasi idrolizzano il legame peptidico di frammenti costituiti da due soli aa.

### Digestione dei grassi

i grassi ordinari, sia di origine animale che vegetale, sono esteri che si formano da una molecola di glicerolo (un alcool trivalente) e tre molecole di acid grassi a catena lunga.

Essi sono altamente insolubili in acqua, il rende difficoltosa la loro idrolisi da parte degli enzimi.

il pancreas dei vertebrati secreta un enzima che idrolizza i grassi, la lipasi, ma perché questa entri in contatto con i grassi è necessaria la presenza di un tensioattivo.

Questa funzione viene svolta dagli acidi biliari che sono secreti dal fegato.

L'azione degli acidi biliari, insieme ai movimenti dell'intestino, porta all'emulsione dei grassi e quindi facilita l'attacco degli enzimi; gli acidi grassi che ne derivano, mantenuti in soluzione grazie ai sali biliari, vengono poi successivamente assorbiti.

il glicerolo è idrosolubile e viene facilmente assorbito e metabolizzato. Una certa quantità di grassi cmq può essere assorbita dall'epitelio intestinale senza recedente idrolisi; le minute goccioline che si formano con l'emulsione ad opera della bile, vengono assunte direttamente dalle cellule epiteliali.

Alcune sostanze appartenenti ai grassi, tra cui le cere, non vengono idrolizzate dalle normali lipasi. Le cere sono esteri di una molecola di un alcol a lunga catena con una molecola di acido grasso; se queste potessero essere idrolizzate, il metabolismo dei singoli componenti produrrebbe una notevole quantità di energia. Per cera noi intendiamo comunemente la cera d'api che non viene digerita dai vertebrati e quindi non ha valore nutritivo.

## Digestione delle cere

Esistono particolari uccelli indicatori del Sud Africa che possono digerire la cera perché nel loro tratto intestinale ci sono batteri simbiotici che producono gli enzimi necessari per attaccare la cera.

In molti animali marini però le cere rivestono un ruolo importante.

Le cere si trovano infatti in molti molluschi cefalopodi, anemoni di mare, coralli e molti pesci.

I produttori primari delle cere sembrano essere i piccoli crostacei del plancton, in particolare i copepodi.

In alcuni di questi, le cere possono rappresentare il 70% del peso secco dell'animale.

L'alimentazione dei copepodi è costituita da fitoplancton che non possiede cera.

Diatomee e dinoflagellati accumulano particelle di olii che sono in prevalenza trigliceridi. Gli acidi grassi presenti nelle cere dei copepodi sembrano essere del tutto simili agli acidi caratteristici del fitoplancton, ed è attendibile pensare che questi vengano utilizzati direttamente per la produzione della cera da parte dei copepodi.

Questi crostacei planctonici rappresentano l'anello di congiunzione più importante tra le microscopiche alghe fotosintetiche ed i consumatori del mare. Per quanto riguarda l'entità di questo fenomeno, si può calcolare che almeno metà della produzione fotosintetica terrestre viene per una volta almeno convertita a cera.

I pesci che si alimentano di copepodi (aringhe, acciughe, sardine e celani) possiedono la lipasi per la cera nel loro tratto digerente.

Gli alcoli vengono ossidati ad acidi grassi che quindi entrano a far parte dei grassi neutri come trigliceridi.

In qualche altro pesce la quantità di lipasi che attacca la cera è molto inferiore e questo lascia aperto il problema. Si potrebbe pensare infatti che questi composti possano essere immagazzinati e non metabolizzati.

## Digestione dei carboidrati

Gli zuccheri semplici, come glucosio e fruttosio, vengono assorbiti come tali ed utilizzati direttamente attraverso le normali vie metaboliche.

i disaccaridi, come saccarosio o lattosio, prima di essere assorbiti e quindi utilizzati devono essere scissi in monosaccaridi.

L'enzima che idrolizza il saccarosio è l'invertasi, che è secreto nell'intestino, mentre è assente nei sistemi enzimatici cellulari.

Se il saccarosio viene iniettato nel corpo di un vertebrato, esso viene completamente secreto, immutato con le urine.

Un'enorme quantità di piante immagazzina amido come principale riserva di energia. L'amido è un polimero di singole unità di glucosio. È relativamente insolubile, ma è idrolizzato dall'enzima amilasi, secreto con la saliva dell'uomo ed in maggior quantità dal pancreas.

Pur essendo insolubile, l'amido è ben digerito da molti animali. Cmq l'attacco da parte dell'amilasi è reso più facile se il cibo è stato precedentemente trattato con il calore: è per questa ragione che l'uomo cuoce i cibi contenenti amido.

È molto probabile che in altri animali la funzione della cottura venga svolta da batteri che contribuiscono ad una prima scissione dell'amido, rendendolo così più aggredibile dalle amilasi.

### **Digestione simbiotica della cellulosa**

il materiale strutturale più importante delle piante è la cellulosa, un polimero del glucosio che è estremamente insolubile e refrattario ad attacchi chimici.

Gli enzimi che digeriscono la cellulosa, le cellulasi, sono assenti dalle secrezioni digestive dei vertebrati, tuttavia molti di questi digeriscono la cellulosa e dipendono da essa come principale fonte di energia.

In molti casi la digestione della cellulosa viene effettuata ad opera di microrganismi simbiotici che vivono nel tratto digerente di diversi animali.

### **Digestione della cellulosa negli invertebrati**

La tereidina è un mollusco bivalve in grado di perforare il legno producendo una cellulasi.

Rimane cmq rimane incerta la fonte dell'enzima (se sia il tratto digerente oppure l'attività di microrganismi).

il pesciolino d'argento (*Ctenolepisma lineata*) digerisce la cellulosa e può sopravvivere se alimentato con una dieta costituita da sola cellulosa, pur non mostrandosi soddisfatto di un'alimentazione del genere, specie se prolungata nel tempo. Questo pesciolino è in grado di produrre cellulasi.

il tratto intestinale delle termiti che digeriscono il legno è letteralmente ripieno di batteri e di molti tipi di flagellati. Alcuni dei flagellati sono stati isolati e tenuti in coltura, permettendo così un accurato studio del ruolo da questi svolto nella digestione della cellulosa.

I flagellati simbiotici delle termiti sono organismi anaerobici obbligatori. Questa sensibilità all'ossigeno può essere utilizzata per rimuovere i flagellati dagli animali che li ospitano, ottenendo così delle termiti prive di questi protozoi. Se le termiti sono esposte ad ossigeno con una pressione di 3,5 atm, in circa mezz'ora tutti i flagellati soccombono e le termiti escono del tutto illese dal trattamento.

Pur venendo alimentate con il legno, le termiti così trattate non possono sopravvivere. Esse hanno ancora i loro batteri intestinali, ma il risultato di questo esperimento indica che i protozoi simbiotici, e non i batteri, sono responsabili della digestione della cellulosa.

Se le stesse termiti vengono reinfettate con i propri flagellati, esse possono di nuovo digerire la cellulosa e sopravvivere.

### **Digestione della cellulosa nei vertebrati**

Molti mammiferi sono erbivori e la loro vita dipende dalla capacità di digerire la cellulosa.

### **Ruminanti**

Lo stomaco di un ruminante è costituito da diversi compartimenti o meglio, il vero stomaco digestivo è preceduto da ampi compartimenti, il primo dei quali è rappresentato dal cosiddetto rumine. Nel rumine, il cibo mescolato alla saliva, va incontro ad una pesante fermentazione. A questo livello è presente una ricca flora di batteri e protozoi: questi microrganismi sono in grado di scindere la cellulosa e renderla quindi disponibile per un'ulteriore digestione. I prodotti della fermentazione (costituiti per lo più da acido acetico, acido propionico ed acido butirrico) sono assorbiti e quindi utilizzati; l'anidride carbonica ed il metano ( $CH_4$ ), formati anch'essi nel processo di fermentazione vengono emessi all'esterno con l'eruttazione.

La ruminazione è la rigurgitazione e la rimasticazione del materiale fibroso non digerito, che viene poi di nuovo deglutito. Da questo processo è derivato il nome dato ai ruminanti. Ogni volta che il cibo rientra nel rumine, esso va incontro ad un'ulteriore fermentazione.

Arrivato nel 4° stomaco (equivalente allo stomaco digestivo degli altri mammiferi) la massa viene attaccata da normali succhi digestivi.

L'energia che deriva dagli acidi organici prodotti dal rumine copre il 70÷ del fabbisogno energetico dell'animale.

La saliva di un ruminante è poco più di una soluzione diluita di bicarbonato di sodio che ha la duplice funzione di tampone e di ambiente di fermentazione adatto ai microrganismi.

### Animali non ruminanti

La digestione della cellulosa dovuta alla presenza di microrganismi riguarda anche mammiferi erbivori non ruminanti. Gli alimenti che contengono cellulosa sono generalmente voluminosi: la loro fermentazione è relativamente lenta e richiede tempo. È necessario anche un discreto spazio, ed è per questo che la parte del tratto digerente che viene usata per la fermentazione è generalmente di dimensioni notevoli.

In alcuni animali lo stomaco è ampio e costituito da diversi compartimenti: in questo caso la digestione è molto simile alla digestione dei ruminanti. In altri invece, gran parte della fermentazione della cellulosa ha luogo in un grosso diverticolo dell'intestino crasso, il cieco.

La fermentazione batterica che ha luogo nel cieco è molto simile alla fermentazione del ruminante, ma quest'ultima presenta tre grossi vantaggi. Innanzitutto la fermentazione del rumine avviene nella parte anteriore del tratto gastrointestinale: questo comporta che i prodotti della digestione possono poi passare attraverso l'intestino ed andare incontro ad un'ulteriore digestione e assorbimento.

Il secondo vantaggio del sistema adottato dai ruminanti è che la frantumazione meccanica del cibo viene più volte ripetuta, in quanto le particelle più grosse non digerite possono essere rigurgitate e masticate molte volte.

Il terzo, e forse il maggiore vantaggio del sistema dei ruminanti con fermentazione batterica nella parte anteriore del tratto gastrointestinale, è la possibilità di riciclare l'azoto dell'urea che altrimenti verrebbe escreto e quindi perso dall'organismo.

### Coprofagia

Lo svantaggio di una fermentazione della cellulosa dislocata nella parte posteriore dell'intestino può essere superato in un modo piuttosto

interessante. Molti roditori elaborano dal contenuto del cieco un particolare tipo di feci che vengono reingerite: in questo modo il cibo passa una seconda volta lungo l'intero tratto digerente. Questi animali formano due tipi di feci: quelle che tutti conosciamo e che hanno l'aspetto di pallottoline di colore scuro, e altre morbide, più grandi e più chiare che non vengono lasciate cadere dall'animale, ma vengono ingerite per assunzione diretta dall'ano. Questo secondo tipo di feci rimangono separate anche nell'emissione dal retto e la loro reingestione permette una più completa digestione e utilizzazione del cibo.