

Termodinamica, fisiologia e evoluzione della nutrizione

Dottor Simone Masin

PhD

Università degli Studi di Milano Bicocca



Tre domande non così banali...

- Perché è necessario incorporare materia per continuare a vivere? Cosa ce ne facciamo della materia che assumiamo?
- Esistono viventi che non necessitano di assumere materia per continuare a vivere?
- Quale elemento è il più necessario per la prosecuzione delle attività metaboliche?

Se quelle di prima vi sembravano domande stupide...provate queste!

- Perché il mio cliente si lamenta che, tabelle nutrizionali alla mano, dopo aver corso per un'ora sul tappeto ha smaltito solo calorie equivalenti a una misera fettina di torta?
- Perché dopo due ore di sci si consumano più calorie che dopo due ore di *hard gaining* in palestra?

Termodinamica dei viventi.

Sistemi aperti, chiusi, isolati

- **Sistema aperto** = Sistema fisico che scambia materia ed energia con l'esterno
- **Sistema chiuso** = sistema fisico che scambia energia, ma non materia, con l'esterno
- **Sistema isolato** = sistema fisico che non scambia né materia né energia con l'esterno

Termodinamica dei viventi.

Postulati sull'energia

- I - L'energia non si genera
- II - L'energia non si distrugge

In un sistema fisico isolato la quantità di energia, (calore + lavoro) scambiato con l'esterno è nulla e l'energia complessiva del sistema è costante. L'universo fisico è un sistema isolato.

I viventi sono definiti come sistemi *aperti*

Concetto di entropia

- Funzione Entropia $f(S)$: misura del disordine di un sistema dato. In meccanica quantistica definisce il numero di stati in cui può trovarsi un insieme di particelle (molecole, atomi, particelle subatomiche)
- Minore è l'entropia, maggiore è la capacità di un sistema di compiere lavoro

Se pensate di non avere mai avuto a che fare con l'entropia...

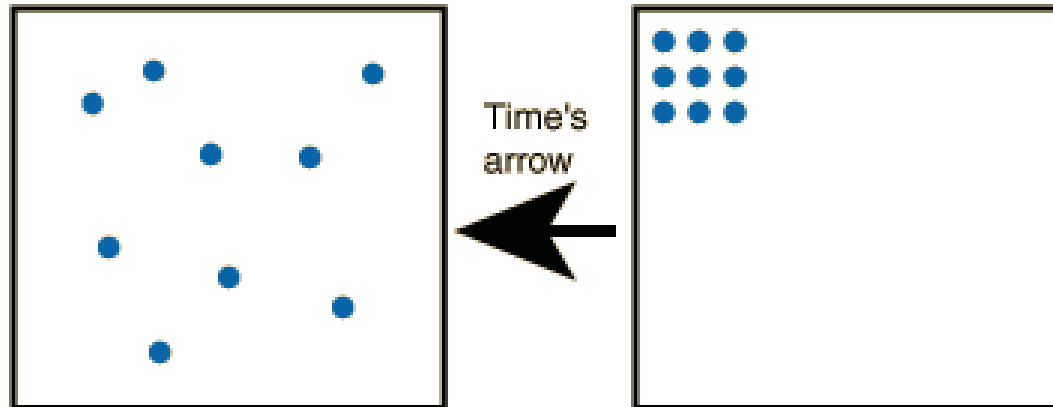
- Il vostro giardino ha una deliziosa macchia di rampicanti. Le foglie in autunno cadranno ovunque sul vialetto (*stato a massima entropia*). Se non le raccogliete (**lavoro+calore**), DA SOLE non si ammucchieranno MAI in un angolo del giardino (**minima entropia**)
- Nella vostra palestra, al mattino pesi e bilancieri sono ordinatamente riposti sulle rastrelliere (*stato a minima entropia*). Alla chiusura, sono tutti a terra o piazzati a caso sulle rastrelliere (*massima entropia*). Da soli non tornano certo a posto. E' necessario del lavoro per ridurre l'entropia...

Secondo principio della termodinamica

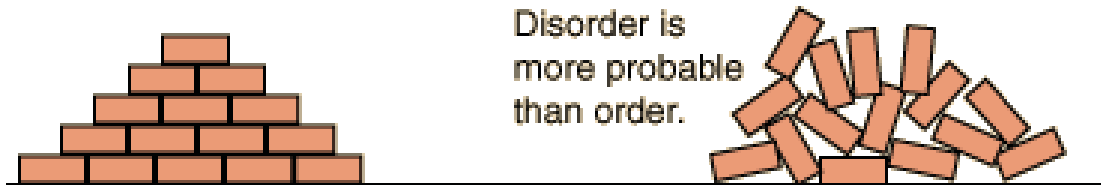
- **II Principio: nei sistemi isolati, l'entropia è una funzione non decrescente > In un sistema isolato l'entropia può soltanto crescere o rimanere costante**
- Morte termodinamica dei sistemi: a entropia massima segue T uniforme e incapacità del sistema di compiere alcun lavoro

Un altro paio di esempi grafici...

If the particles represent gas molecules at normal temperatures inside a closed container, which of the illustrated configurations came first?



If you tossed bricks off a truck, which kind of pile of bricks would you more likely produce?



Sistemi non viventi ed entropia

- Minore è l'entropia del sistema, maggiore il lavoro che esso può svolgere, inteso come cambio di stato. Un bicchiere di Coca cola a 20C° può cambiare la propria temperatura se aggiungete due cubetti di ghiaccio. Finchè persiste il ΔT (differenza di temperatura) tra ghiaccio e bibita, persiste la capacità del sistema di cambiare stato. Al completo scioglimento del ghiaccio, la temperatura torna ad alzarsi e si uniforma > stato di massima entropia e morte termodinamica del sistema

Sistemi viventi ed entropia

- I sistemi viventi sono sistemi aperti. Come tutti i sistemi fisici essi tendono all'aumento di entropia per il II principio della Termodinamica
- Tuttavia essi, finchè permangono in vita, si tengono **LONTANI DAL DISORDINE**.
- Essendo sistemi aperti, per rimanere ordinati, hanno bisogno di **DISORDINARE IL SISTEMA**
- Secondo le definizioni appena viste, i viventi sono quindi **STATI ORDINATI E IMPROBABILI** della materia!

I viventi. Lontani dal disordine



C'era un porcellino d'India in una scatola...

- Analizziamo il sistema fisico costituito da:
- Una scatola in materiale plastico perfettamente coibentata e sigillata
- Un porcellino d'India
- Un cespo di lattuga

Al T_0 , il sistema (considerabile isolato) è a MINIMA entropia. Gli atomi che costituiscono il porcellino d'India, quelli della lattuga e quelli dell'atmosfera sono in uno stato ORGANIZZATO e MOLTO IMPROBABILE...

Se passiamo da T_0 a T_n , cosa succede al sistema?



- La cavia mangia tutta la lattuga, respira ossigeno per il suo metabolismo ossidativo e disperde calore+urine+feci
- Lentamente le molecole all'interno del sistema passano da uno stato molto improbabile ad uno più probabile
- Infine la povera cavia muore, i processi di decomposizione liberano atomi e molecole che costituivano proteine, grassi e strutture scheletriche e il sistema si disordina definitivamente
- **STATO A MASSIMA ENTROPIA**

Significato termodinamico della nutrizione

- I viventi sono macchine che funzionano ossidando substrati. Quasi tutti lo fanno ricorrendo all'ossigeno ambientale (pochi anaerobi usano zolfo o altri elementi)
- L'elemento più importante per i viventi aerobi è l'ossigeno
- In seconda posizione è l'acqua
- Se tutti i viventi necessitano di acqua e ossigeno, la fonte di carbonio che viene ossidata varia a seconda dei gruppi sistematici

Autotrofi ed eterotrofi

- Gli organismi aerobi si dividono in autotrofi, eterotrofi e misti
- Autotrofi: utilizzano come fonte di carbonio la CO₂. Grazie ai fotoni della luce solare assemblano l'anidride carbonica a formare glucosio secondo questa reazione:
- $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} > \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

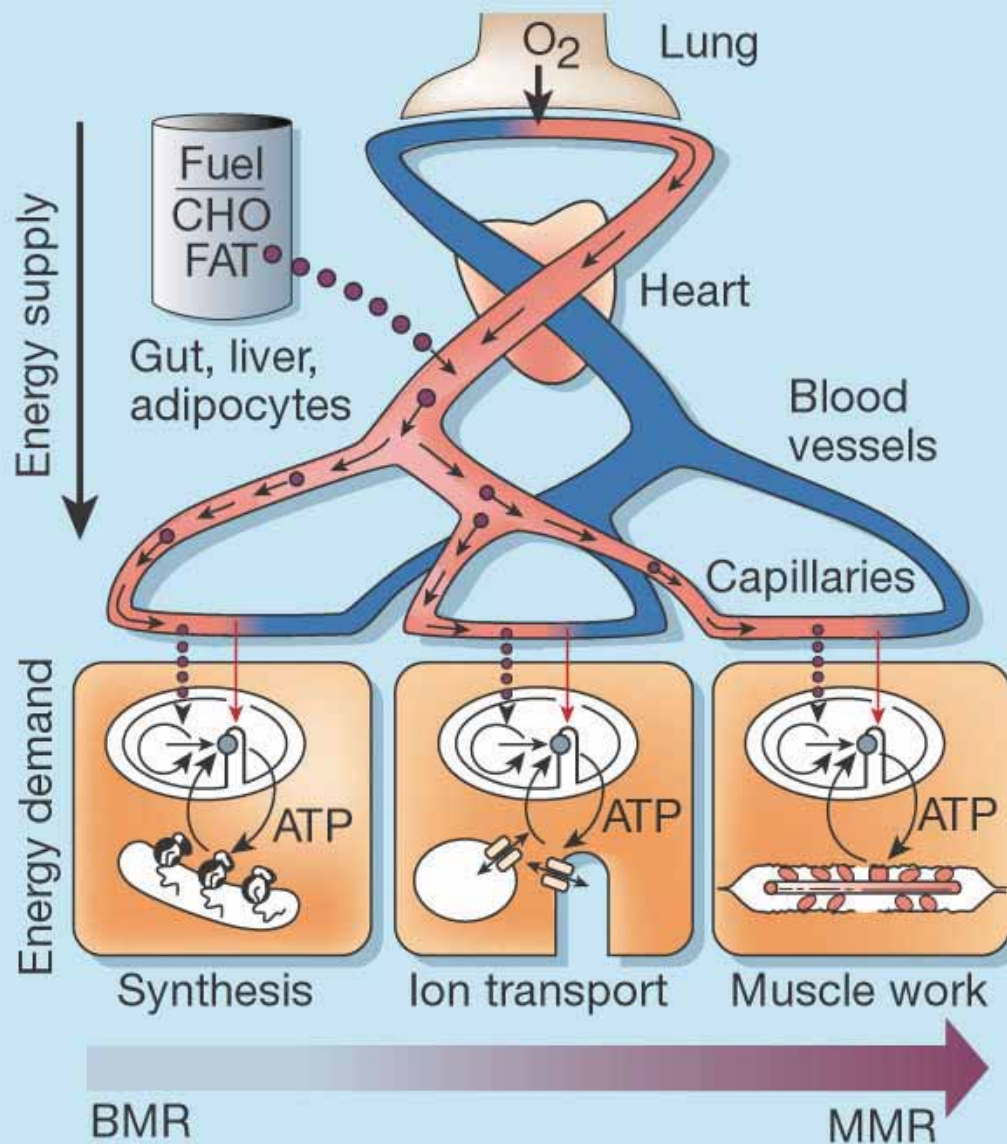
Autotrofi ed eterotrofi

- Eterotrofi: utilizzano come fonte di carbonio il glucosio oppure altri composti organici che prelevano nutrendosi di altri organismi
- Non sono in grado di organizzare sostanza inorganica

Conclusioni-termodinamica

- Qualsiasi approccio all'alimentazione non può prescindere da quanto detto finora perché importanti conseguenze ne discendono:
- 1-Gli eterotrofi si sono evoluti attorno alla necessità primaria di procurarsi il cibo
- 2-Siccome il cibo è sempre di difficile reperimento, tutti i viventi si sono evoluti per **RISPARMIARE ENERGIE** e **CAPITALIZZARE** le risorse
- **Ogni vivente cerca di ottenere il massimo rendimento ossidativo dal cibo disponibile. Questo è alla base dell'insuccesso del dimagrimento programmato (diete)!**

Metabolismo basale, omeotermia e valore energetico degli alimenti



Metabolismo basale

Dispendio energetico di un organismo a riposo in condizioni normalizzate standard, espresso in chilocalorie

- A riposo
- In veglia
- A digiuno da 12 ore
- A temperatura confortevole $20\text{ C}^{\circ} < x < 27\text{ C}^{\circ}$

BMR Calculator

Basal Metabolic Rate Calculator

English Metric

You have a BMR of 1601 kilocalories.
The total number of kilocalories you need in order to maintain your current weight is 2201 per day.
[Learn More About BMR...](#)

Please enter your data:

Female Male

Age: years

Weight: lbs

Height:

Activity level:

Trial version: 29 days left.
Click here [Buy the Full Version - \\$19.95](#)

About Help Calculate

Trovato in Rete...

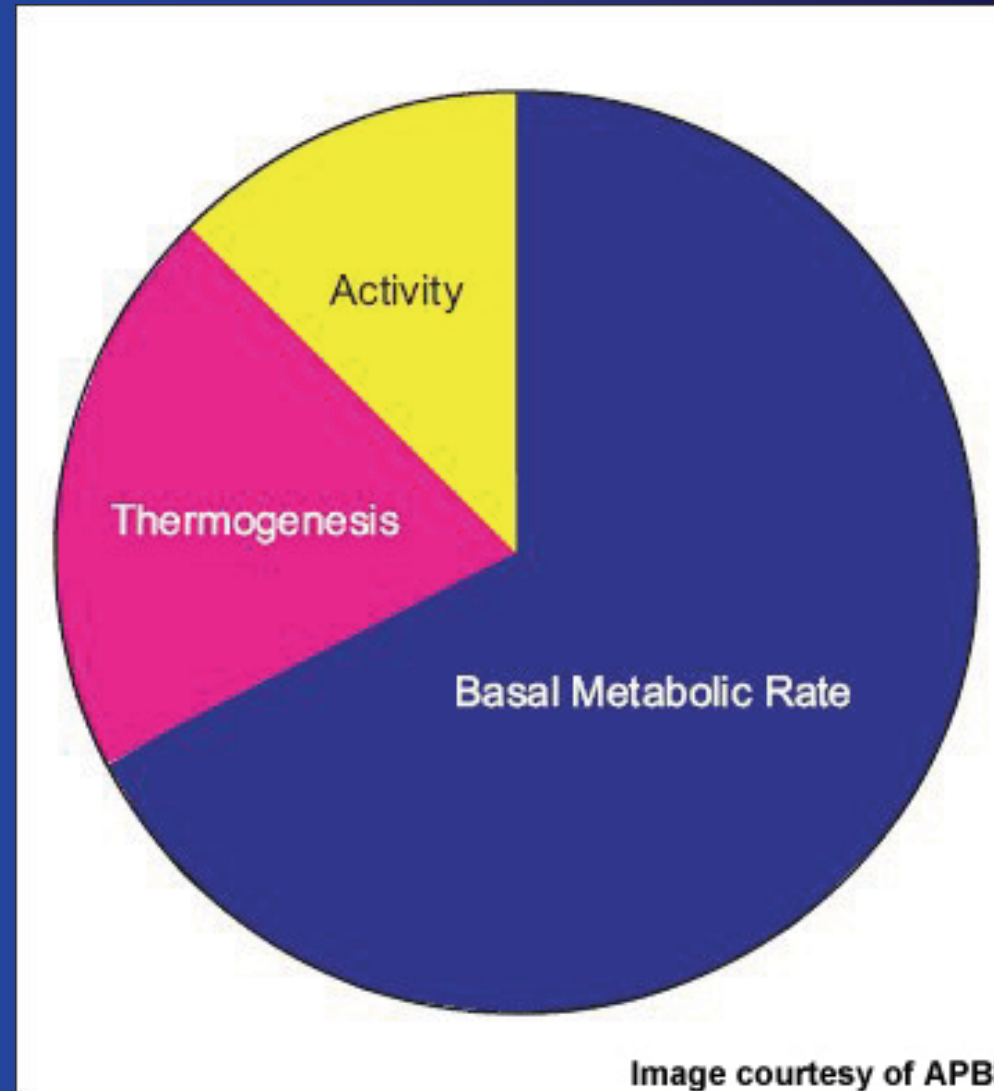
Dove finisce l'energia metabolica?

- Avete idea della ripartizione dell'energia in un vertebrato omeoterma?

Il metabolismo basale negli omeotermi

- Il mantenimento del metabolismo basale e il relativo bilancio energetico nei vertebrati omeotermi è strettamente legato al mantenimento della temperatura corporea
- Il 60/70% dell'energia metabolica quotidiana nella specie *Homo sapiens* è investito nel mantenere costante la temperatura corporea nelle 24h
- L'energia dedicata all'attività fisica contribuisce solo per il 15/20% il resto dell'energia è investito negli altri meccanismi di omeostasi

Cosa influisce sul BMR?



Metabolismo basale (kcal) e peso corporeo

Weight	BMR	Weight	BMR	Weight	BMR
40	5.1	60	6.7	80	7.6
41	5.3	61	6.8	81	7.6
42	5.3	62	6.9	82	7.6
43	5.4	63	6.9	83	7.7
44	5.5	64	7.0	84	7.7
45	5.5	65	7.1	85	7.7
46	5.6	66	7.1	86	7.7
47	5.7	67	7.2	87	7.7
48	5.8	68	7.2	88	7.8
49	5.9	69	7.2	89	7.8
50	6.0	70	7.3	90	7.8
51	6.0	71	7.3		
52	6.1	72	7.4		
53	6.2	73	7.4		
54	6.3	74	7.4		
55	6.4	75	7.4		
56	6.5	76	7.5		
57	6.5	77	7.5		
58	6.6	78	7.5		
59	6.7	79	7.6		

Caloria, chilocaloria, grande caloria o piccola caloria?

- Caloria: unità di misura termodinamica dell'energia.
- *cal* = quantità di energia richiesta per innalzare di un grado Celsius la temperatura di 1g di acqua distillata a pressione normalizzata di 1 atmosfera (da 14,5C° > 15,5C°). Sinonimo: piccola caloria.
- *Kcal-Cal* = *cal* x 1000. Apporto energetico medio di alimento a peso normalizzato ad 1g. Sinonimo: grande caloria

Unità di misura internazionali

- In biologia e medicina uso della caloria e del suo multiplo chilocaloria o grande caloria
- Il Sistema Internazionale (S.I. organo mondiale che norma l'uso delle unità di misura in ambito scientifico) prevede l'uso del Joule come unità di misura di energia, lavoro e calore.
- $\text{Joule} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ (lavoro necessario per esercitare una forza di 1 Newton per 1m)
- $1 \text{ J} = 0,2388459 \text{ cal}$

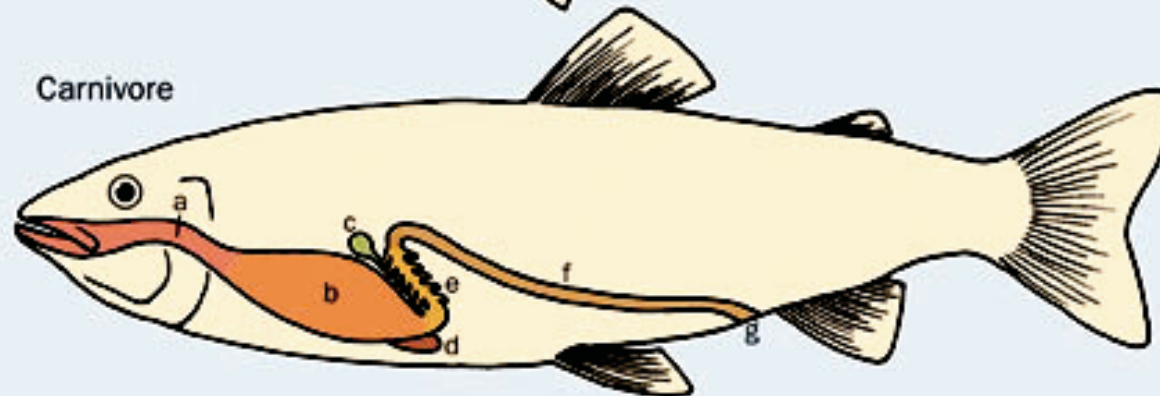
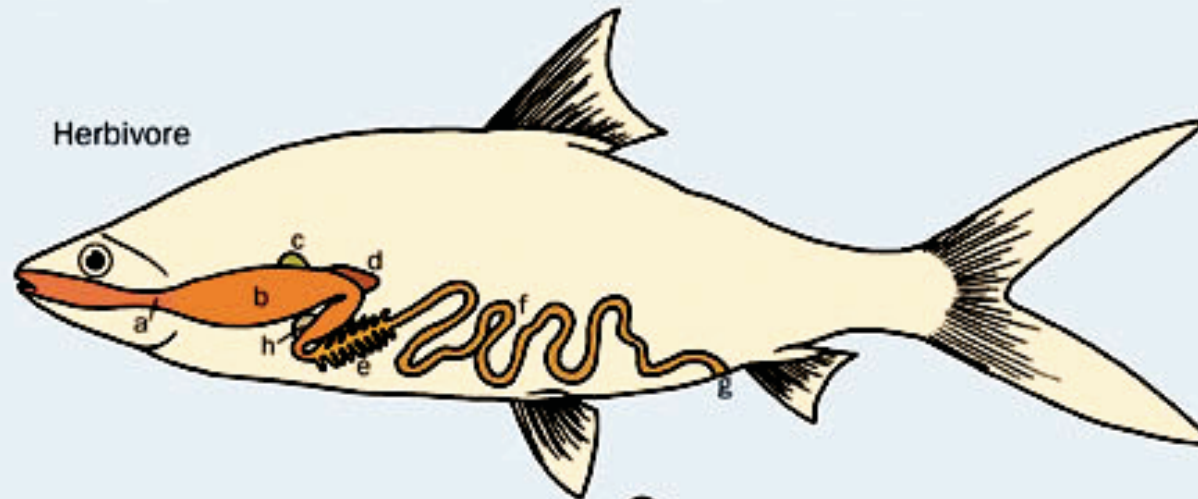
Valore energetico degli alimenti

- Glucosio = 3,92 Kcal
- Proteina = 4 Kcal
- Lipidi = 9 Kcal

Architettura dei vertebrati

- Struttura di base dei vertebrati, il modello “*tubo entro tubo*”
- Tutti i vertebrati sono costruiti **ATTORNO AL LORO APPARATO DIGERENTE**
- Struttura tubulare aperta che decorre dalla bocca all’ano
- Molti Invertebrati hanno apparati digerenti chiusi

Tube entro tubo



a) Esophagus
b) Stomach

c) Gall bladder
d) Spleen

e) Pyloric caeca
f) Intestine

g) Anus
h) Gizzard

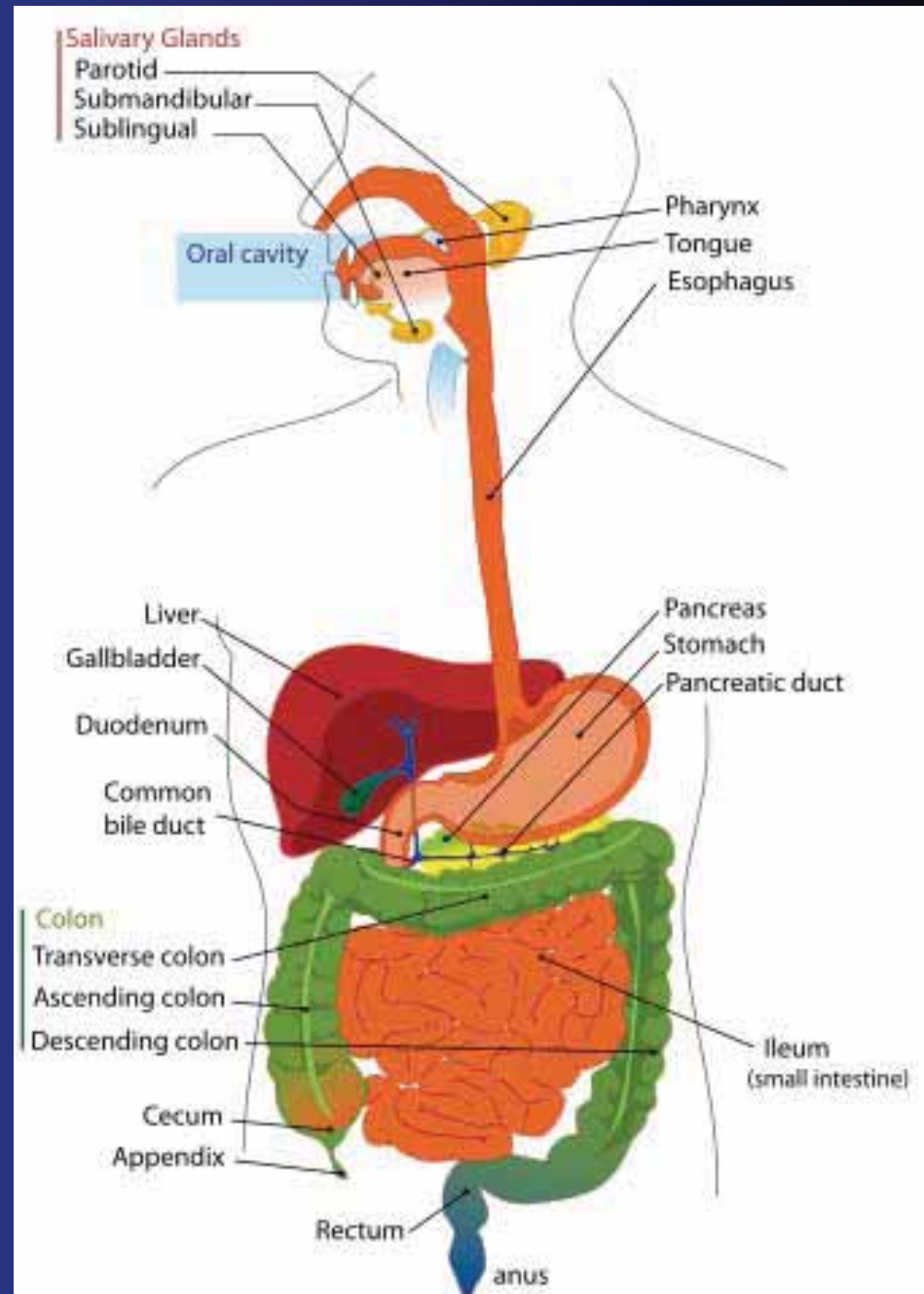
Le funzioni del tratto digerente

- BOCCA: manipolazione del cibo
 - FARINGE: stoccaggio del cibo
 - STOMACO: digestione
 - TRATTO INTESTINALE: assorbimento del cibo
-
- Digerente aperto: l'assunzione di cibo può essere continua e efficiente

Il tratto digerente

Bocca
Faringe
Esofago
Stomaco

Intestino tenue
Intestino crasso
Ano



Tratto digerente ed ecologia alimentare

- Lo schema di base del tratto digerente BOCCA-ESOFAGO-STOMACO-INTESTINO-ANO è piuttosto conservativo in tutti i vertebrati
- Quel che cambia, passando da una specie all'altra sono i rapporti dimensionali tra le varie componenti

Ecologia alimentare

- Erbivoro
- Folivoro
- Granivoro
- Xilofago
- Frugivoro
- Carnivoro
- Saprofago

Tratto digerente ed ecologia alimentare

- La lunghezza del tratto intestinale, la struttura anatomica dello stomaco, assieme alla dentizione possono dirci molto sull'ecologia alimentare di ciascuna specie
- Cosa si è evoluta per mangiare, con che frequenza si ciba, che dimensioni hanno i suoi pasti.

Tratto digerente ed ecologia alimentare

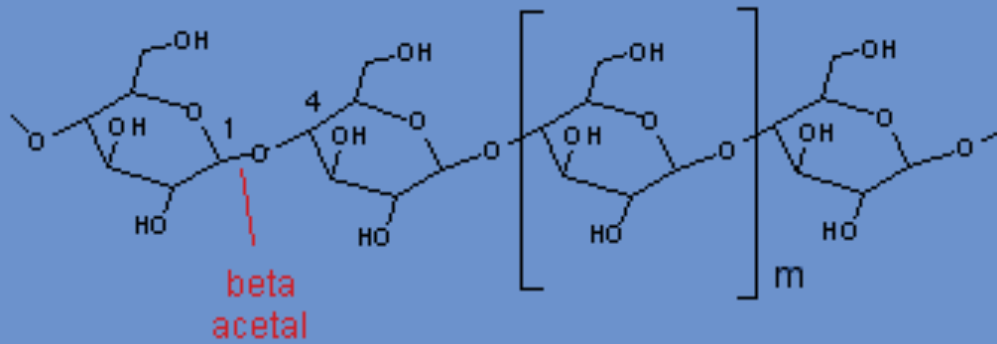
- Carnivori puri hanno tratto intestinale corto e privo di concamerazioni e ciechi
- Gli alimenti proteici sono facilmente digeribili e non necessitano di batteri specializzati per la digestione
- Al tempo stesso, la fermentazione nel tratto intestinale è indesiderabile e nociva

Tratto digerente ed ecologia alimentare

- Erbivori e i folivori al contrario hanno intestini molto lunghi e ricchi di concamerazioni (fermentatori intestinali)
- Stomaci concamerati e complessi che consentono alle comunità batteriche di insediarsi (ruminanti)
- Anche l'anatomia ne è influenzata: addome grosso e quarti posteriori voluminosi (elefante, iguana, coniglio)
- Perché questa simbiosi?

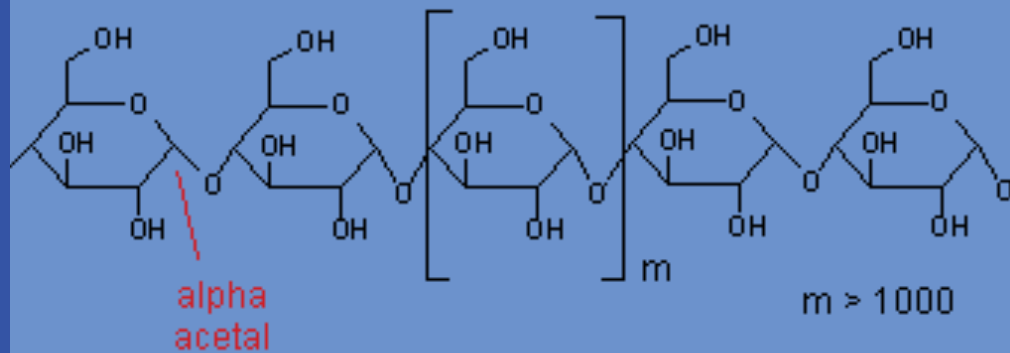
Amido e cellulosa

Cellulose



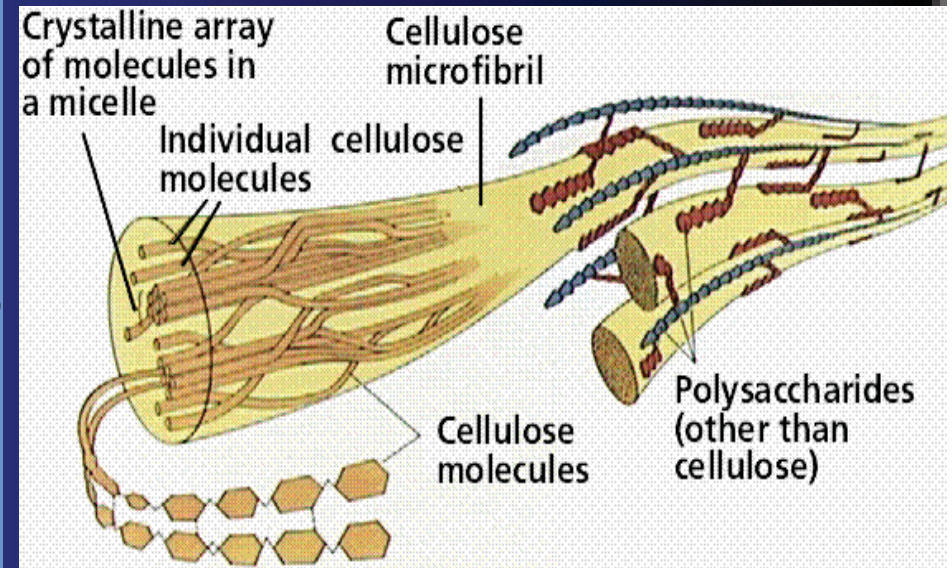
$m = 2000 - 26,000$

Starch



$m > 1000$

C. Ophardt, c. 2003



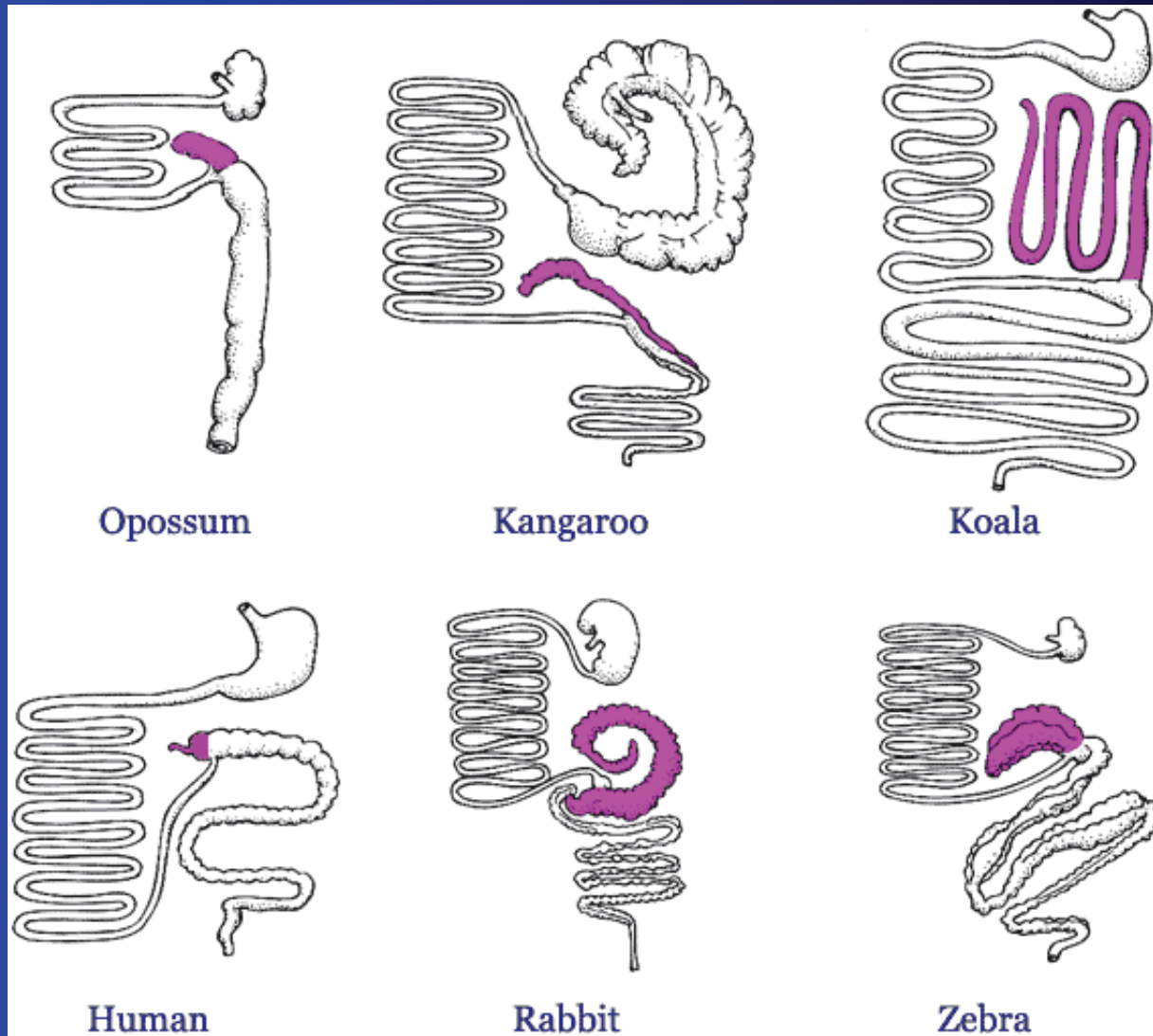
Digerire il materiale vegetale

- Nella eterna lotta tra erbivori e piante, queste ultime si difendono accumulando riserve di carboidrati **DIFFICILI DA SCINDERE**
- Per rendere la vita ardua ai loro predatori...
- Cellulose, tannini, alcaloidi...
- **MANGIARE PIANTE E' POCO REMUNERATIVO**

Digerire il materiale vegetale

- Nessun vertebrato è in grado di elaborare gli enzimi necessari a scindere la cellulosa
- Per questo motivo si realizza la simbiosi con batteri e protozoi che sono in grado di farlo
- I vertebrati ospitano comunità di unicellulari che trasformano la cellulosa e le altre sostanze non digeribili in carboidrati sfruttabili
- Il rumine e le concamerazioni intestinali sono strutture che consentono di alloggiare le comunità batteriche
- Come pure il nostro intestino cieco!

I ciechi intestinali a confronto



E la nostra specie?

- Riuscire a estendere alla nostra specie le considerazioni appena fatte significa capire qualcosa di fondamentale...
- **COSA CI SIAMO ADATTATI A MANGIARE?**

Esiste la dieta perfetta?



Diete e approcci alla dieta

- Alcune diete sono concepite e progettate sulla base delle sole evidenze fisiologiche (fabbisogno proteico, calorico, ecc..)
- Altre diete sono costruite su evidenze paleontologiche
- Altre ancora su specifiche dinamiche di ingestione che coinvolgono la psicologia della nutrizione

L'unicità della nostra specie

- Molte specie animali a largo areale di distribuzione mostrano grosse differenze nell'ecologia alimentare a seconda dei luoghi.
- ma NESSUNA specie è flessibile come l'uomo.
- Dalla dieta quasi completamente carnivora degli Inuit a quella quasi vegetariana di molte popolazioni degli altipiani indiani. Alcune popolazioni africane hanno sangue bovino e latticini alla base della loro dieta.
- Disponibilità dei cibi, religioni e tradizioni si intrecciano

Come risolvere il problema dell'ecologia alimentare umana?

- 1- Un primo approccio potrebbe essere quello di **CONFRONTARE** il nostro tratto digerente con quello delle specie a noi più vicine filogeneticamente...
- 2- Oppure si potrebbero **STUDIARE** le evidenze paleontologiche per capire quel che mangiavano gli esseri umani prima della rivoluzione agricola...
- 3- Oppure, restando nel presente, mettere in **RELAZIONE** diverse diete con la sopravvivenza di coloro che le adottano

Problemi e soluzioni...

- In realtà, ciascuno dei tre approcci che abbiamo visto presenta vantaggi e svantaggi...
- Ciascuno di essi, usato da solo, non è in grado di darci risposte univoche...
- VEDIAMO PERCHE'

L'approccio comparato

- Confrontare l'anatomia e la biologia dei Primati a noi più vicini, scimpanzè e bonobo (*P. troglodytes* e *P. paniscus*), ci aiuta grandemente a farci un'idea sulla frequenza dei pasti, sulla loro scansione temporale e sulla composizione base della nostra dieta
- Ma gli stili di vita sono irrimediabilmente divergenti e molte indicazioni poco applicabili!
- Esempi: stagionalità della dieta proteica/
introduzione di acqua durante i pasti

L'approccio paleontologico

- Confrontare l'ecologia alimentare delle popolazioni umane prima della rivoluzione agricola (8.000 anni fa) è molto importante per capire quali modificazioni dietologiche hanno coinvolto il nostro modo di mangiare
- Ci da un approccio innovativo per capire a quali nutrienti porre attenzione (NaCl , CaCO_3 , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
- Ma ci pone il problema della longevità e del diverso contesto ambientale in cui viviamo oggi
- Esempio: **Diete iperproteiche**

L'approccio medico-statistico

- Confrontare stili alimentari diversi di persone che vivono nello stesso contesto ambientale è quel che la medicina fa per cercare di capire se una dieta produce benessere o meno.
- Il campione dev'essere **RAPPRESENTATIVO** e le persone devono essere il più uniformi possibili quanto al cosiddetto “rumore di fondo”
- In altri termini, bisogna cercare di ridurre i fattori che confondono...

L'approccio medico-statistico

- Questo genere di studi ci consente di capire quale dieta, tra le molteplici che la nostra specie ha adottato, sia quella che garantisce il maggior benessere
- Studi del genere hanno permesso di divulgare l'effetto benefico della dieta mediterranea o del pesce crudo nelle diete
- **ATTENZIONE:** La dieta di benessere è **DIVERSA** dalla dieta performante!

Diete di corto e lungo periodo

- Diete performanti adottate da atleti di discipline sportive di *endurance* o diete per *bodybuilder* solitamente risultano nocive se adottate sul lungo periodo o per tutta la vita
- Affaticamento renale, obesità, diabete di tipo II, neoplasie al tratto digerente e intestinale, gotta sono le patologie più frequenti per chi persegue una dieta di performance per periodi prolungati!

Problemi nell'approccio medico-statistico

- Difficile reclutare campioni omogenei di volontari
- Difficile eliminare i rumori di fondo (fumo, droghe, farmaci, malattie). Anche perchè spesso i volontari li omettono!
- Difficile e costoso seguire le “cavie” fino alla morte. Gli esseri umani vivono più a lungo dei ratti da laboratorio!
- Per questi motivi spesso le evidenze dietologiche non sono granitiche!

Nature VS Nurture

Conflitto tra natura e cultura

Due casi di studio

Caso n°1: consumo di sale nell'uomo



Caso n°1. Consumo di sale e dipendenza acquisita nell'uomo

- La nostra specie è ghiotta di sale
- NaCl è indispensabile per un corretto bilancio osmotico
- Gli occidentali ne assumono più del doppio del fabbisogno quotidiano: pericoloso!
- Uno studio recente ha dimostrato l'assuefazione al cloruro di sodio da parte di *Homo sapiens*

COME SPIEGHIAMO QUESTA DINAMICA?

Dipendenza da NaCl

- Il fabbisogno quotidiano di NaCl è stimato attorno ai 5g/die
- Esiste un “appetito specifico” per il sale, che ci spinge a consumarne il più possibile.
- Popolazioni non abituate all’aggiunta di sale nelle pietanze manifestano una rapida assuefazione all’uso di questo condimento
- Consumo di sale associato al gusto per le bevande zuccherate. Uno studio su più di 1600 bambini ha evidenziato una significativa associazione tra consumo di sale e bevande zuccherate (da *Hypertension*, 2009).

Conclusione: natura e cultura

- Il sale in natura è un elemento essenziale per il mantenimento dell'omeostasi cellulare
- Elemento molto raro e difficile da reperire per mammiferi terrestri come gli esseri umani
- Abbiamo sviluppato un appetito specifico per questo elemento
- Che si trasforma in dipendenza quando si verifica sovradosaggio!
- Un rischio causato dalla collisione tra natura e cultura!

Caso n°2. Consumo di cibi ad elevato tenore energetico nel ratto



Caso n°2. Assuefazione da consumo di junk food nel ratto

- Paul M Johnson and Paul J Kenny 2010. *Dopamine D2 receptors in addiction-like reward dysfunction and compulsive eating in obese rats*. Nature Neurosciences.
- Ratti da laboratorio sono stati alimentati con cibi ad elevato contenuto lipidico e carboidratico
- Saggi progressivi sul livello di recettori D2 per la dopamina nel cervello dei ratti a 2-4-6-8 settimane hanno evidenziato un calo statisticamente significativo del numero di tali recettori nel tempo
- Il consumo di cibo-spazzatura innalza la soglia di attivazione del sistema neurale dopaminergico di gratificazione

Caso n°2. Assuefazione da consumo di junk food nel ratto

- Ratti sottoposti a dieta iperlipidica mostrano assuefazione e modificazioni neurali simili a quelle che si verificano nel cervello di tossicodipendenti
- Se all'inizio dell'esperimento i cibi iperlipidici garantivano gratificazione, alla fine le dosi dovevano essere aumentate!
- Se i ratti di controllo venivano infettati con virus modificati per “spegnere” i recettori D2, mostravano sintomi di dipendenza simili ai ratti sperimentali
- Somministrare ai ratti uno stimolo doloroso ogni volta che si avvicinavano al distributore di cibo non li scoraggiava dal provarci

Conclusione: natura e cultura

- Una sana fame per alimenti ad elevato tenore lipidico è certamente utile per un animale selvatico o per un uomo di Neanderthal
- Garantisce che, dovendo scegliere tra una varietà di cibi, l'animale scelga sempre il cibo più energetico
- In presenza di una quantità illimitata di tali cibi questo adattamento diventa disastroso!

Grazie per la vostra attenzione