

Laboratorio di
Risorse- Economia- Ambiente

Lezione 5- prima parte

Martedì 10 marzo 2020

Energetica degli eterotrofi

La suddivisione in diverse componenti del flusso di energia solare che raggiunge la superficie terrestre è riassunto nella tabella presentata nella lezione scorsa. I numeri riportati sono indicativi dell'ordine di grandezza della potenza media (in TW) delle diverse componenti. Come abbiamo detto soltanto una percentuale minima dell'energia solare viene catturata nella fotosintesi globale (100 TW, circa lo 0,1 % del flusso totale) questa minima quantità è la base energetica dell'intera biosfera. Inoltre il dato riguardante la terra ferma, mostra che l'uomo di appropria del 10% della fotosintesi totale e ne disturba una quota molto elevata (i 40 TW indicati fra parentesi). Come detto nella lezione precedente il flusso di energia dall'interno del pianeta (30 TW) pur essendo minimo (e sfruttato dall'uomo solo nelle sorgenti concentrate) è essenziale per la dinamica geo-tettonica che garantisce tutti i fenomeni che rinnovano la crosta terrestre e determinano la redistribuzione dei nutrienti essenziali inorganici.

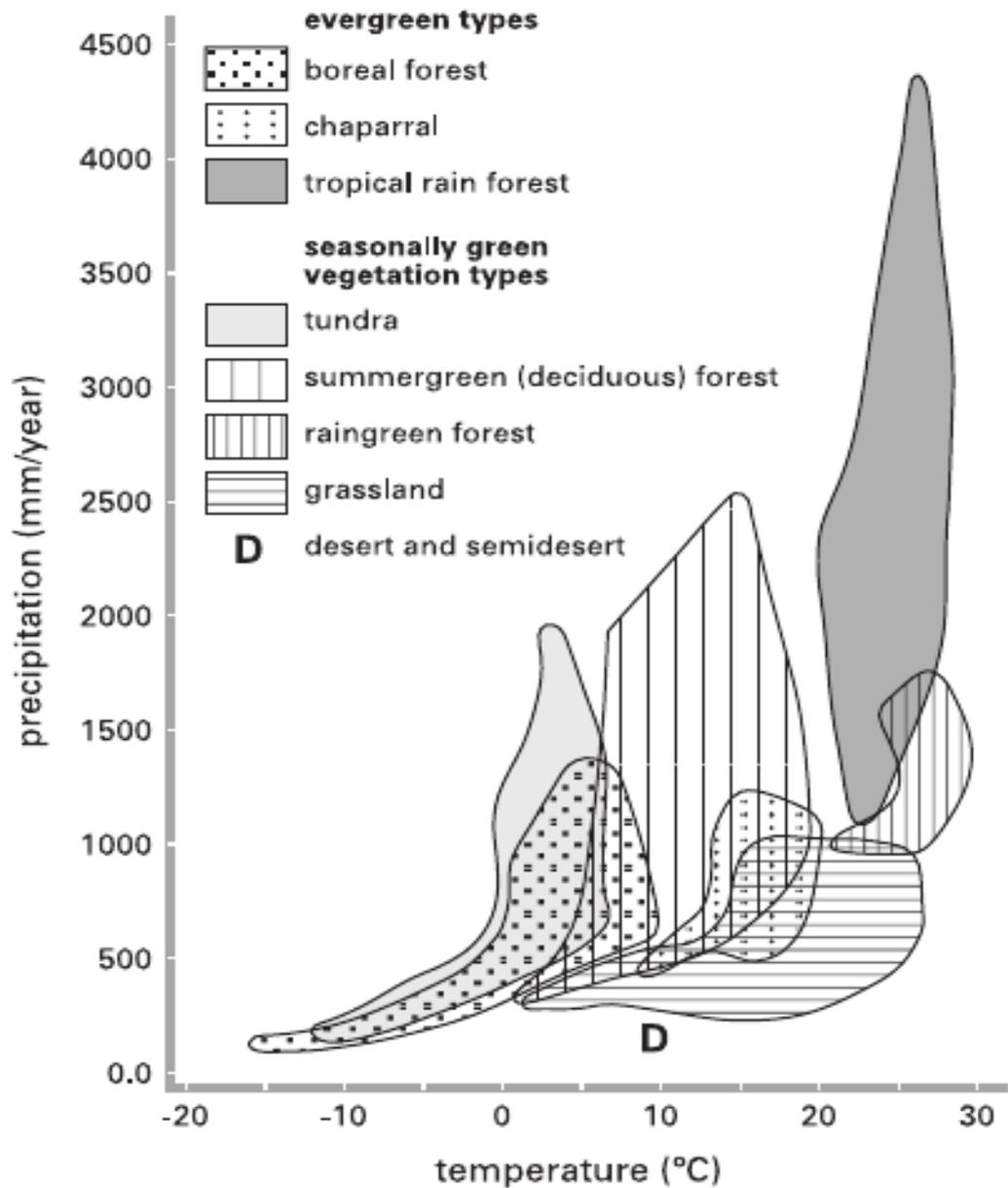
Budget energetico terrestre

Terra (mari e terre emerse)	Natura TW	
Radiazione solare	80000	%
Evaporazione	40000	50
Calore sensibile	20000	25
Correnti termoaline	1000	1,25
correnti eoliche	1000	1,25
Fotosintesi	100	0,125
Flusso geotermico totale	15-30	0,02-0,04

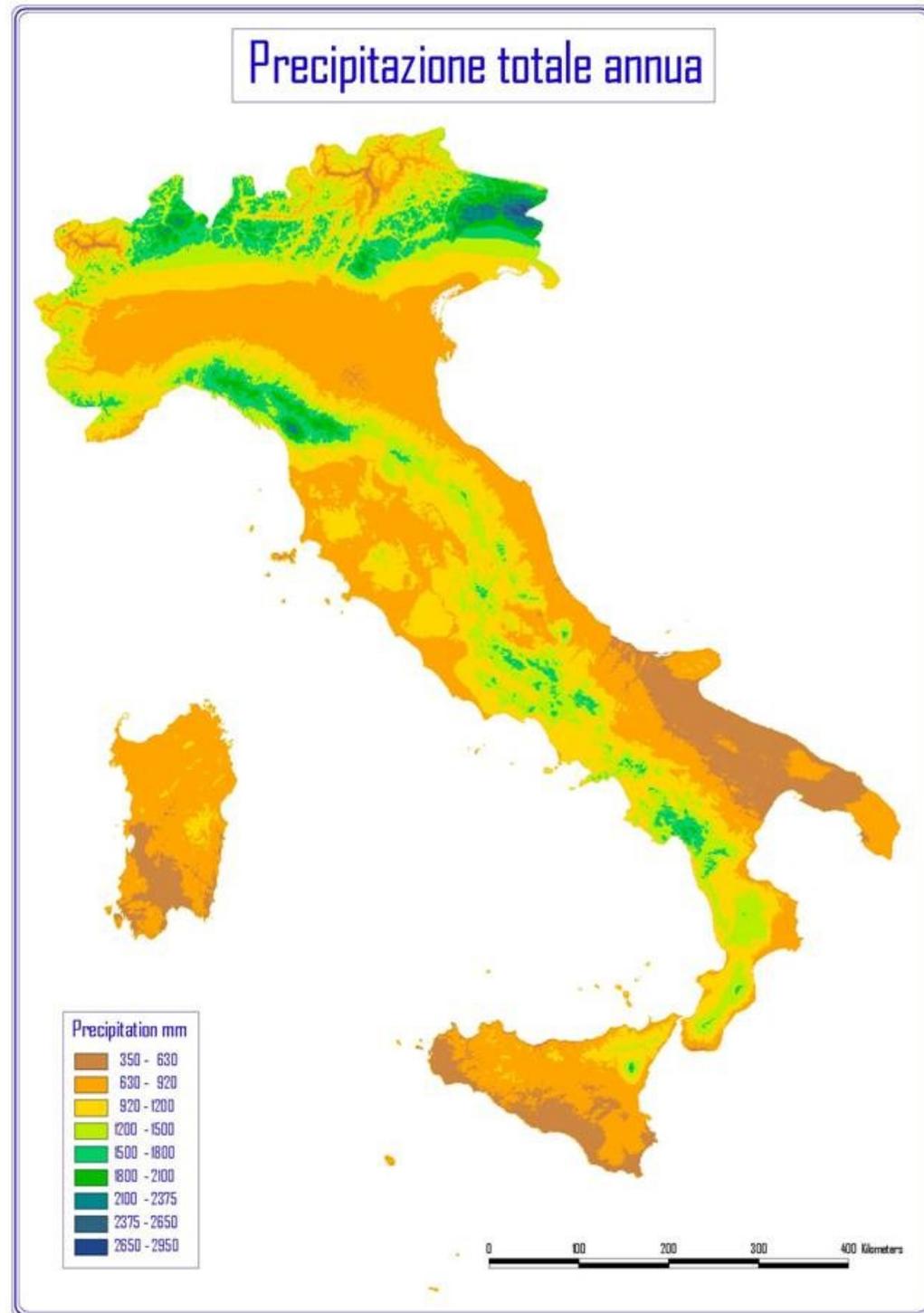
Solo terre emerse	Natura	Uomo
Radiazione solare	30000	0,004
Evaporazione	5000	nu
Traspirazione	3000	nu
correnti eoliche	300	0,01
Fotosintesi	60	6-(40)
Potenza idrica (fiumi)	3	0,3
Transizione osmotica (Mare-fiumi)	3	nu
Onde oceaniche	3	0,0001
Maree	1	0,0001
Sorgenti geotermiche (concentrate)	0,3	0,01
Uso antropico dell'energia		17

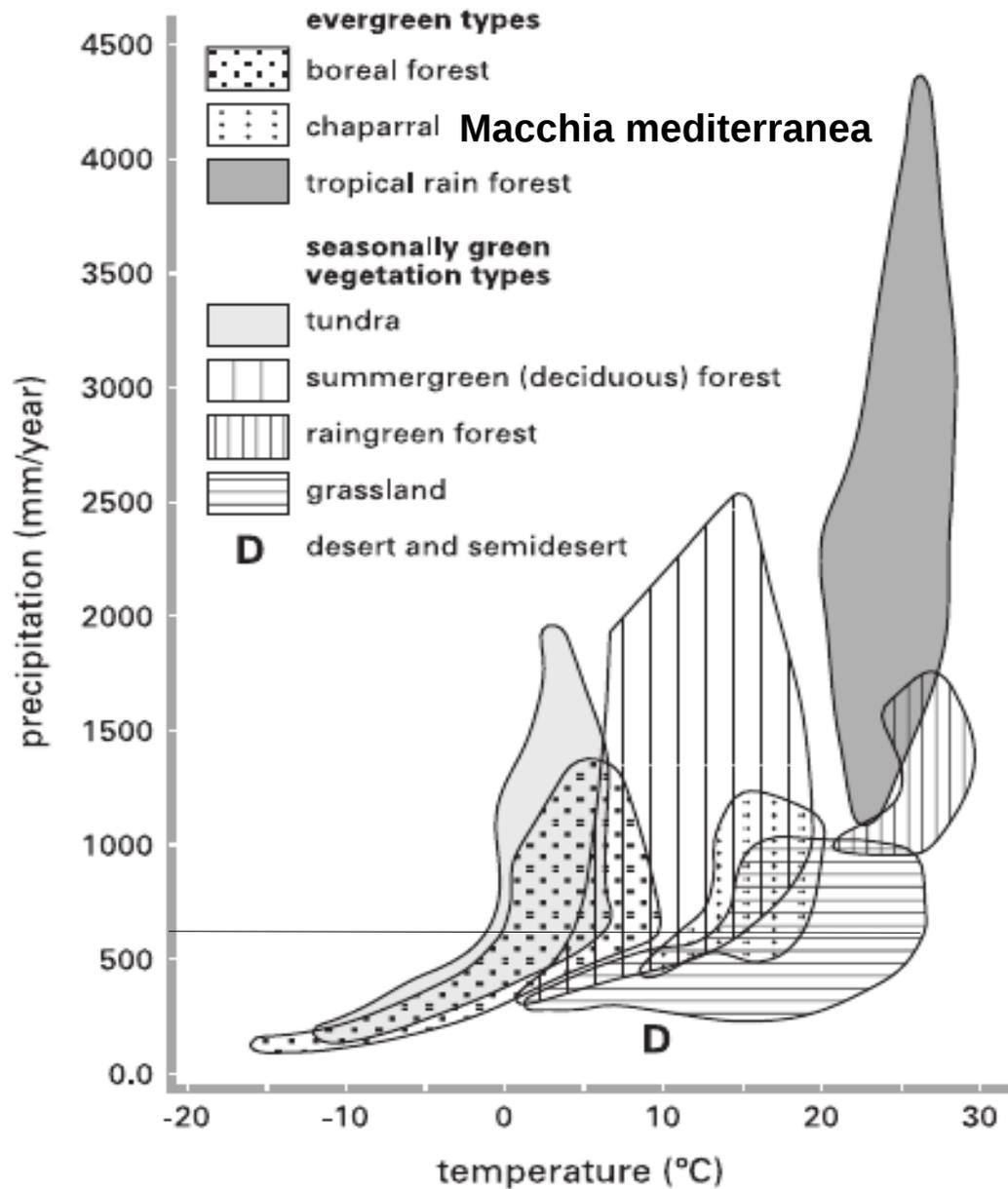
Nella tabella precedente può sorprendere la limitatezza del flusso energetico catturato dagli organismi fotosintetici, ma il resto del flusso di energia solare non deve essere considerato "sprecato" per la biosfera. Esso energizza il ciclo dell'acqua, la dinamica atmosferica e alcuni aspetti di quella oceanica che sono indispensabili al funzionamento della biosfera cioè all'esistenza della vita sulla Terra.

L'importanza del flusso di energia solare che energizza il ciclo dell'acqua è evidenziato dal legame fra disponibilità di acqua, sotto forma di precipitazioni e lo sviluppo dei diversi biomi terrestri. Nella figura successiva sono riportati i domini di esistenza dei diversi tipi di vegetazione naturale (biomi) ed il confronto con le cartine delle precipitazioni e delle temperature medie in Italia.

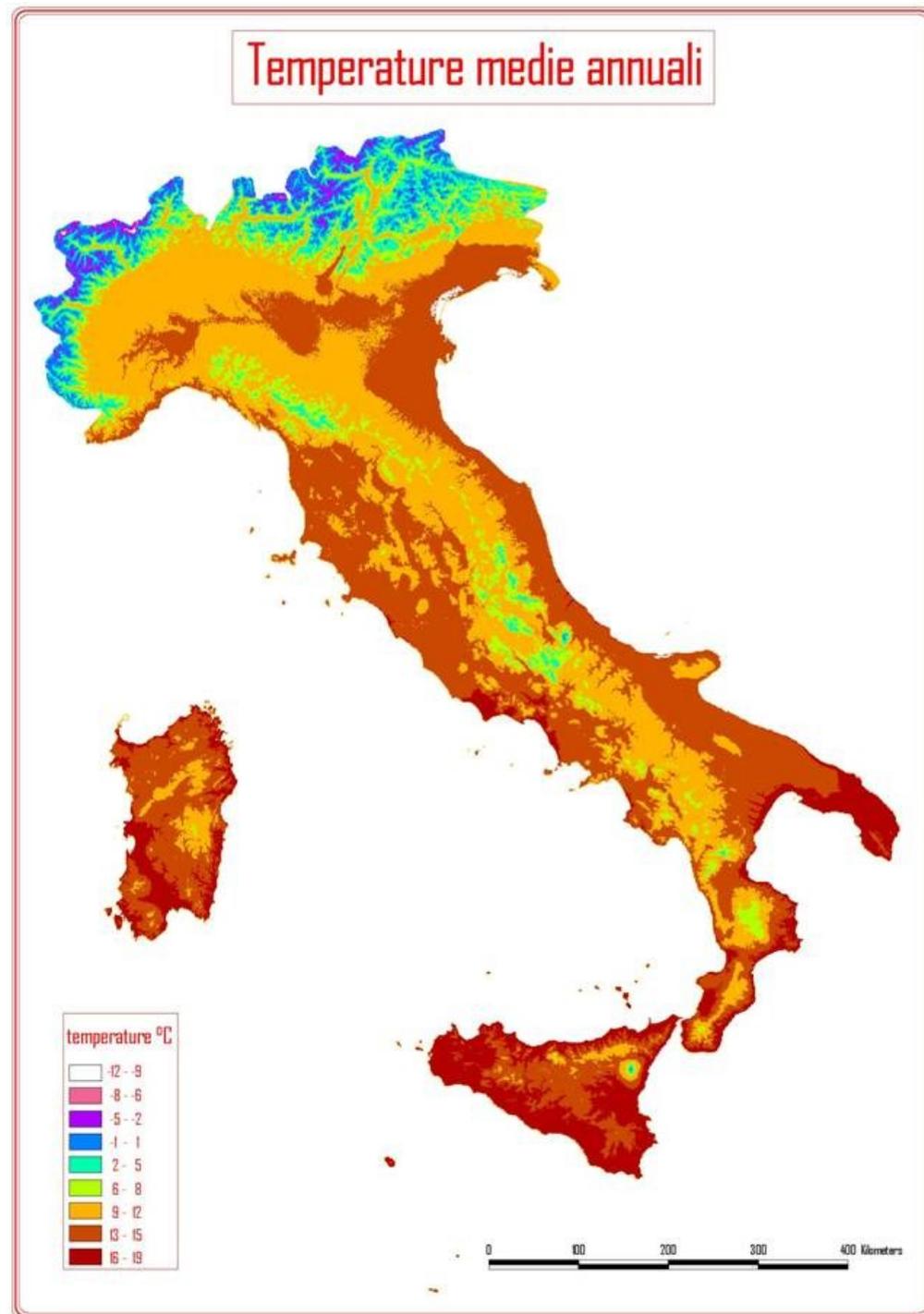


3.4 Average annual temperature, precipitation, and major biomes. Based on Lieth and Whittaker (1975).

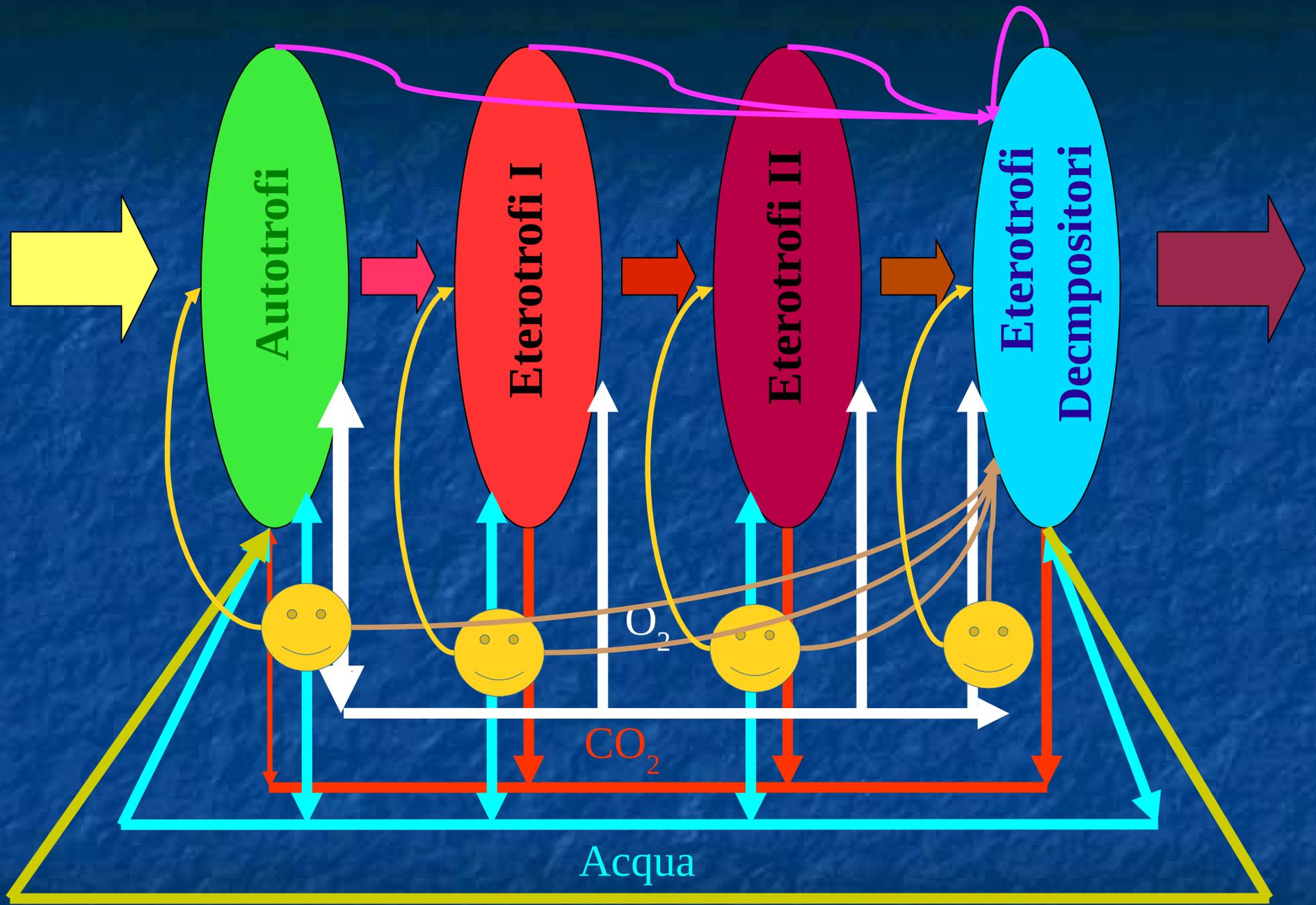




3.4 Average annual temperature, precipitation, and major biomes. Based on Lieth and Whittaker (1975).



Sul flusso solare si basa dunque l'esistenza della biosfera. La biosfera può essere divisa in diversi comparti ognuno contenente le categorie di organismi in base alla modalità con cui si procurano l'energia e le sostanze necessarie per l'accrescimento e la costruzione dei tessuti. Nella lezioni precedenti abbiamo visto una rappresentazione semplificata della biosfera. Ora ne vediamo una più complessa. Il primo comparto è quello dei produttori primari o autotrofi questi intercettano la radiazione solare e attraverso meccanismi che rendono disponibile energia chimica per i comparti dei consumatori primari (eterotrofi primari), secondari (eterotrofi secondari) e per i decompositori (batteri e funghi) che rimettono in circolo i nutrienti nel suolo.



Elementi chimici essenziali: N, Na, Ca, K, Si, Mg, P, S, Al, Cu, Fe ...

Legenda



processi metabolici (catabolismo) in cui glucidi (zuccheri), lipidi (grassi) e protidi (proteine) vengono digeriti e ridotti a forme chimiche più semplici ed energia o meglio potenza (cioè flussi nel tempo di calore e lavoro).



Ossigeno



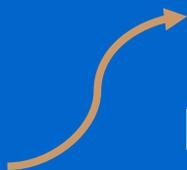
Anidride Carbonica



Elementi chimici



Acqua

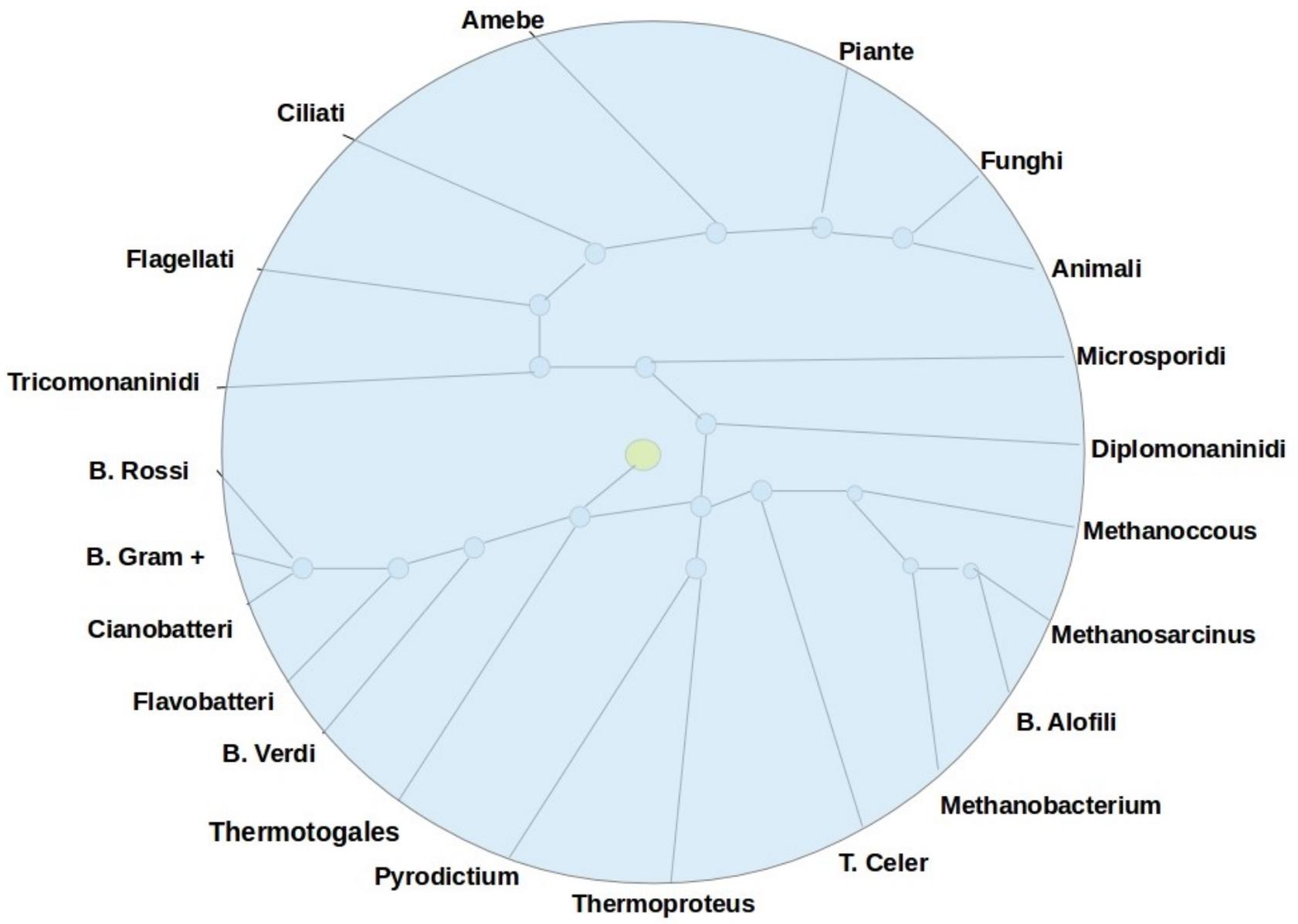


Deiezioni



Morte

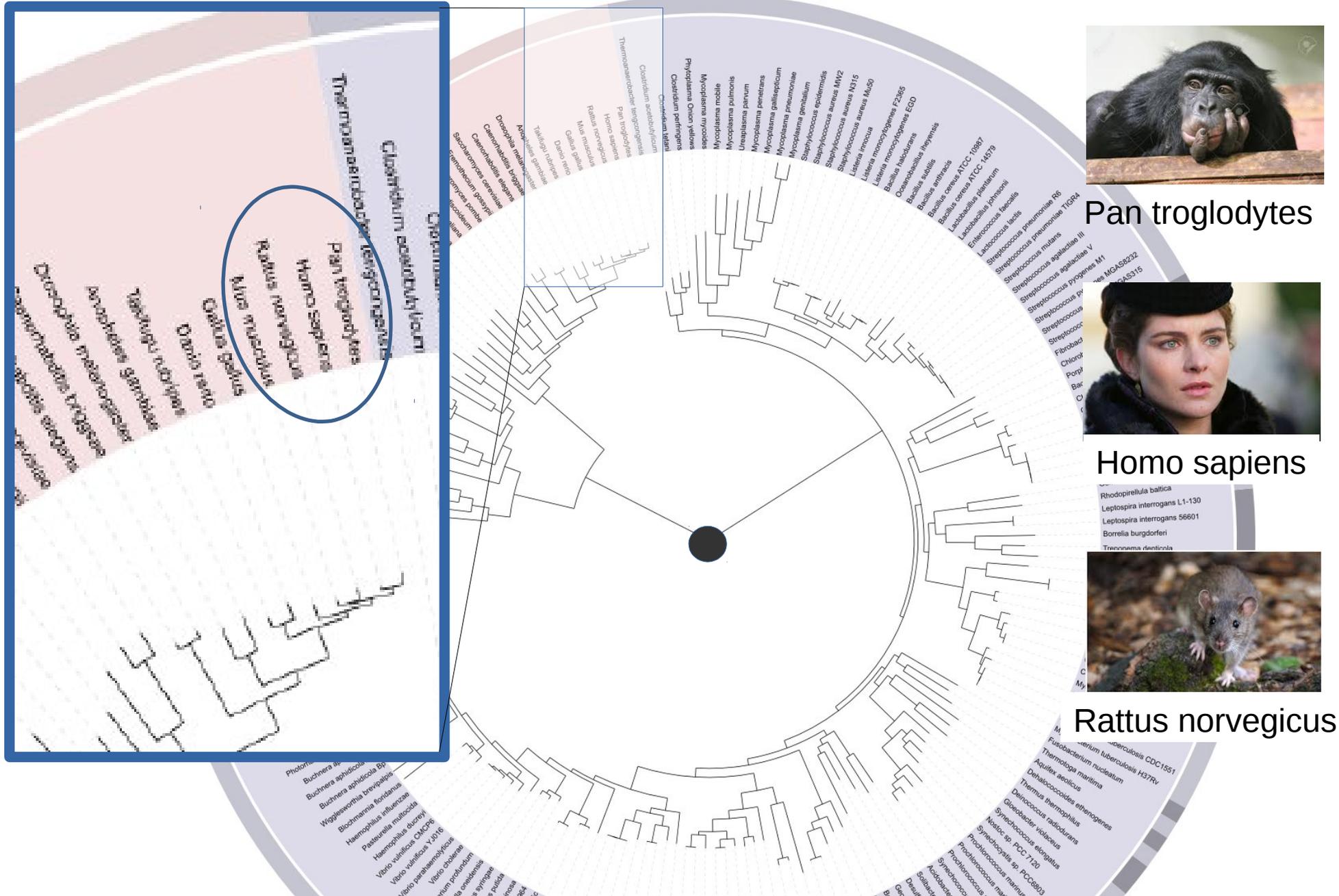
L'intrico della biosfera può essere compreso, a colpo d'occhio, alla luce della teoria dell'evoluzione il cui svolgimento può essere rappresentato nel migliore dei modi come nella figura seguente. Non si tratta di un albero ramificato, ma piuttosto di un cespuglio che si sviluppa da un seme centrale (un organismo antenato comune a tutti gli organismi, Last Ultimate Common Ancestor, LUA o LUCA, rappresentato dal cerchio verde al centro della figura) che ha via via perduto i rami interni e del quale oggi esiste solo la superficie esterna. Una rappresentazione più dettagliata delle principali divisioni di organismi è riportata nella figura ulteriore.



Il cladogramma è la rappresentazione, in cladistica, del grado di somiglianza reciproca tra vari soggetti esaminati in rapporto alla linea filogenetica.

Per quanto riguarda la Zoologia: il Cladogramma descrive gli elementi strutturali della conoscenza dell'organismo. In un cladogramma le linee rappresentano caratteri generali di un taxon (raggruppamento), nell'albero filogenetico le linee rappresentano le specie ancestrali. Con albero filogenetico si intende un cladogramma interpretato in senso evolutivo, rappresentando l'evoluzione dei caratteri.

In quello che segue, generato grazie allo studio del genoma, si capisce la collocazione tassonomica dell'uomo (*Homo sapiens*) nella biosfera.



Un cladogramma che collega tutti i gruppi più importanti di organismi viventi al LUA o LUCA- il punto nero nel centro. -
 Questo grafico è derivato da una sequenza di dati completa del genoma.

L'energetica degli organismi eterotrofi (animali, funghi e molte specie di batteri) può essere descritta a partire dallo studio del costo energetico delle diverse funzioni dell'energia negli organismi. Si parte dalla domanda:

A cosa serve l'energia? E si individuano diverse funzioni in cui l'energia è indispensabile.

Il metabolismo basale è il flusso minimo di energia che attiva le funzioni vitali, respirazione, circolazione sanguigna, attività cerebrale e nervosa, tenore muscolare, funzione epatica, funzione renale in un organismo a riposo, ma in stato di veglia.

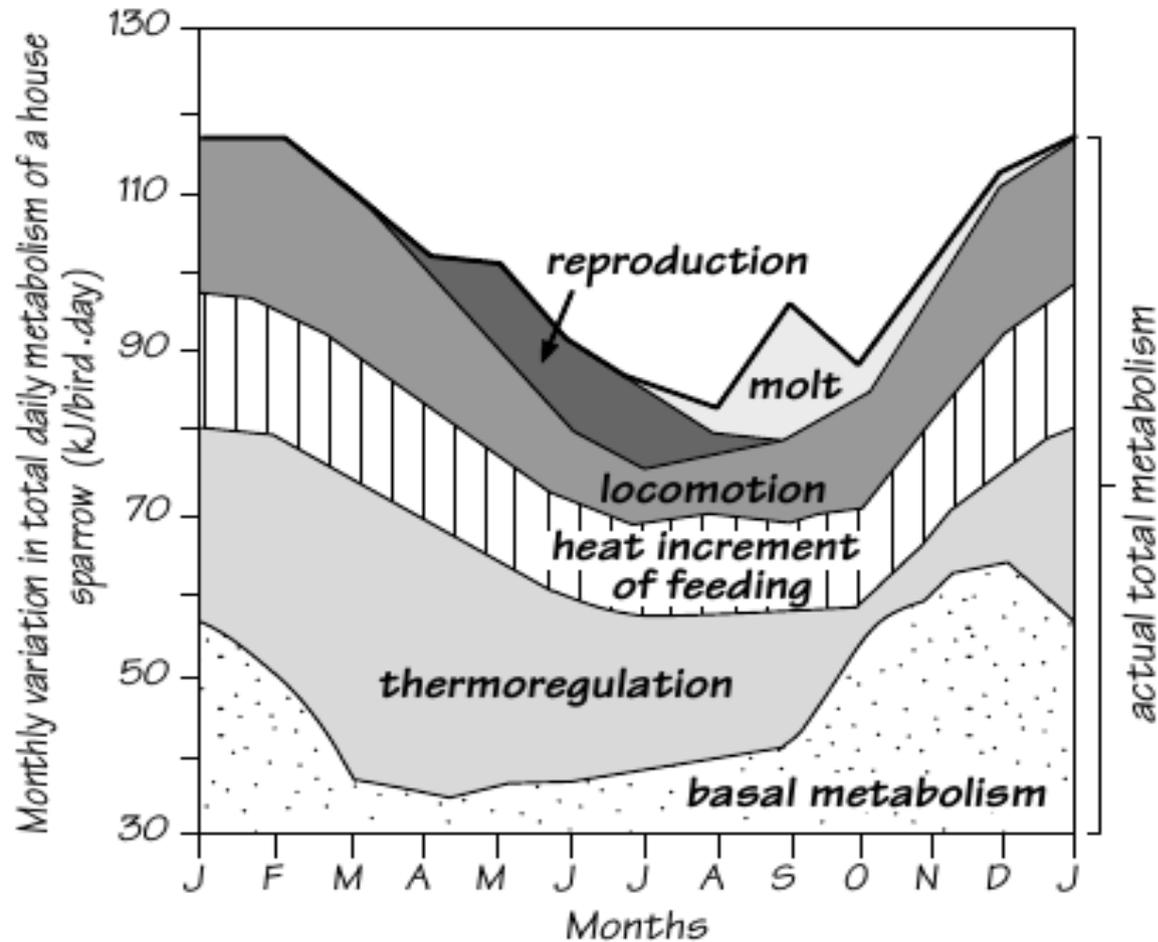
Gli altri usi dell'energia riportati nella prossima illustrazione si spiegano da soli.

A cosa serve l'energia (la potenza)?

- **Metabolismo basale. (Basal Metabolic Rate)**
- **Termoregolazione (Strategie. Isolamento naturale termico: grasso e pelliccia. Attività muscolare. Sistema circolatorio periferico. Creazione di un microclima)**
- **Corteggiamento, riproduzione e cure parentali**
- **Difesa dai predatori**
- **Ricerca e acquisizione del cibo**

Per apprezzare il ciclo energetico annuale degli animali, cioè la dipendenza dell'energetica degli autotrofi dal ciclo delle stagioni, ci riferiamo, come d'esempio, al caso del passerotto domestico americano, osservando l'andamento delle varie componenti del metabolismo totale dell'animale nel corso dell'anno.

Energetica degli eterotrofi. Metabolismo totale.



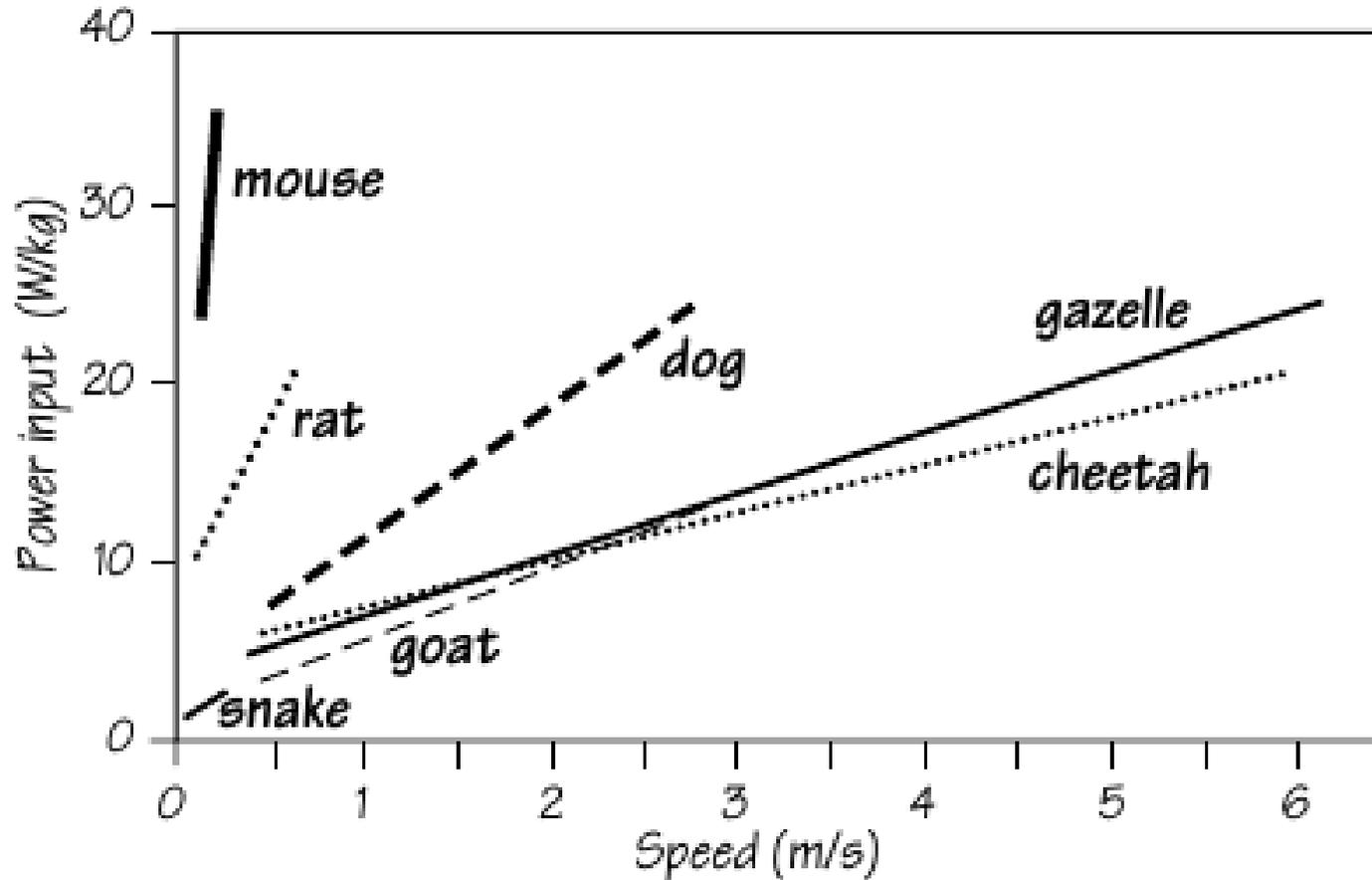
Molt = muta

Annual march of total metabolism for an American domestic sparrow.

Nell'energetica degli eterotrofi un ruolo premimente riveste la locomozione. Le diverse strategie di locomozione che si sono evolute hanno costi e benefici che rispondono alle sfide ambientali che gli organismi si trovano ad affrontare. Risulta ovvio il fatto che la spesa energetica dipenda dalla velocità di spostamento a parità di peso. Nella figura che segue è riportata la potenza (energia per unità di tempo) per Kg in funzione della velocità di spostamento in metri al secondo (m/s) per diversi animali comuni.

Energetica degli eterotrofi

Locomozione e Spostamento

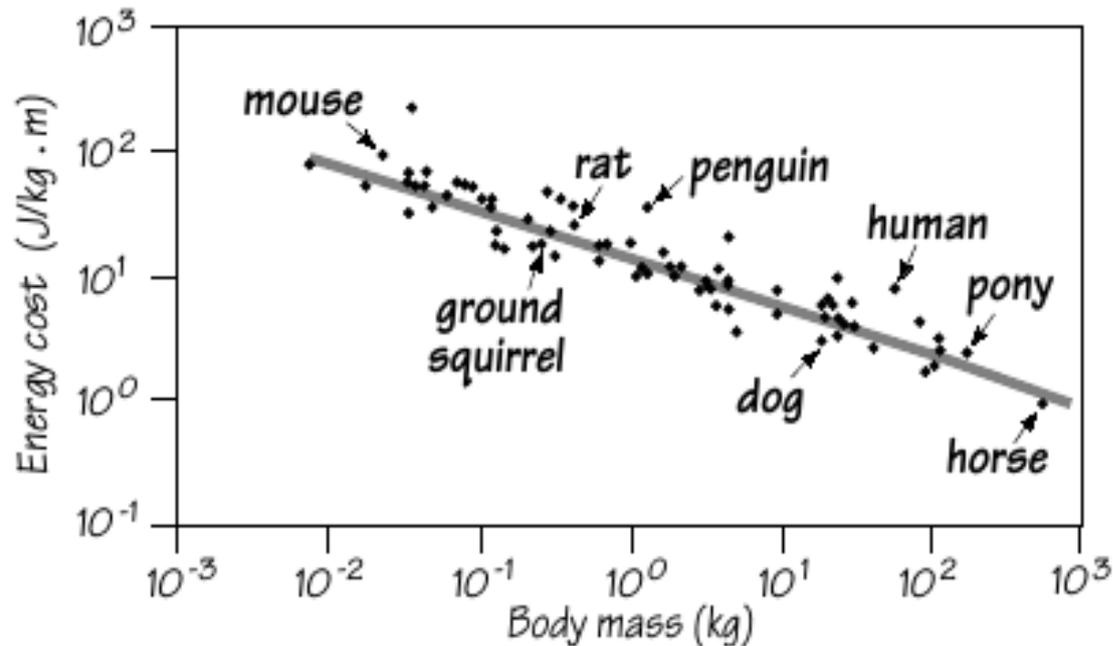


Dipendenza del costo energetico dalla velocità di spostamento e dalla massa corporea.

Il costo energetico della locomozione misurato in Joule per Kg per Metro $-J/(Kg\ m)-$ è inversamente proporzionale alla massa corporea.

Energetica degli eterotrofi

Locomozione e Spostamento



Metabolic energy cost of running for mammals.

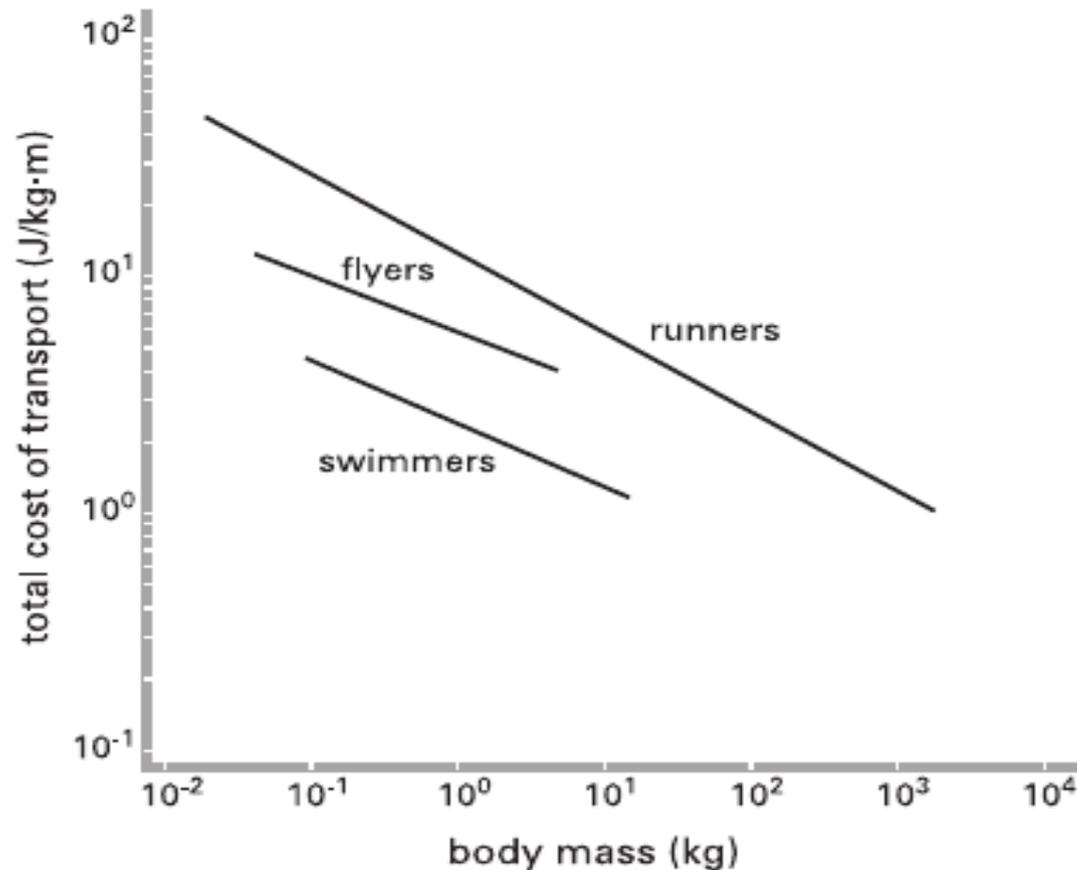
Costo energetico in funzione della massa corporea dei cursori.
Si noti che il costo energetico assoluto è maggiore per gli animali più pesanti, ma è il costo a parità di Kg spostati e metri percorsi che è minore per gli animali più pesanti.

Il costo energetico totale della locomozione sempre misurato in Joule per Kg per Metro - $J/(Kg\ m)$ - è più elevato per i cursori (animali che corrono sulla terra ferma) piuttosto che per quelli che volano. Il costo energetico più basso è quello dei nuotatori.

Energetica degli eterotrofi

Locomozione e Spostamento

Costi delle diverse strategie

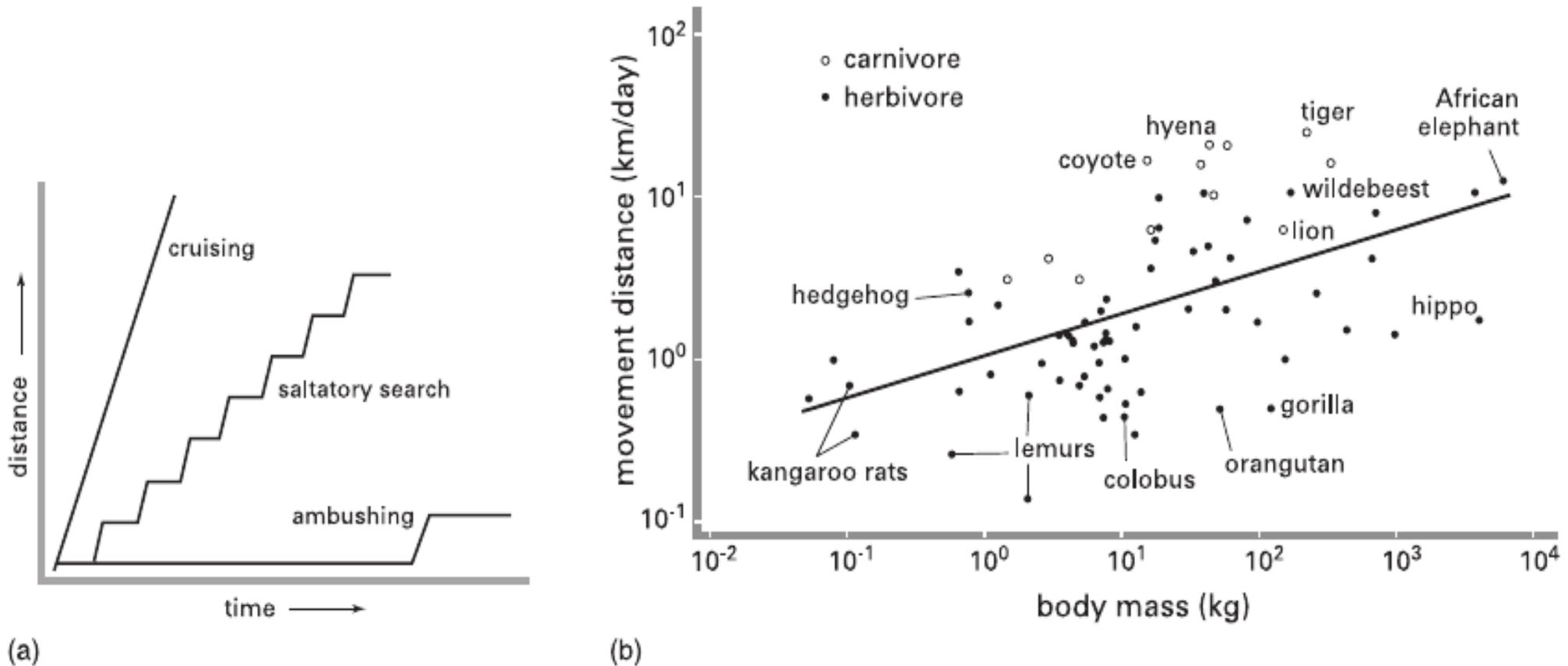


4.4 Energy cost of transport. Running is always the most, and swimming the least, energy-intensive mode of locomotion. Flying falls in between, but only a few flyers are heavier than 10 kg. Based on Schmidt-Nielsen (1972), Tucker (1975), and T. M. Williams (1999).

Nella ricerca di cibo si individuano diverse strategie schematizzate in tre modalità: cruising (animali che battono il territorio), l'agguato e una strategia mista. Se si misura i movimenti in cerca di cibo di diverse specie animali e si riportano in un grafico cartesiano in funzione della massa corporea si ottiene una dipendenza approssimativamente lineare crescente in cui i carnivori tendono a spostarsi maggiormente degli erbivori e gli animali a massa maggiore più di quelli a massa minore.

Energetica degli eterotrofi.

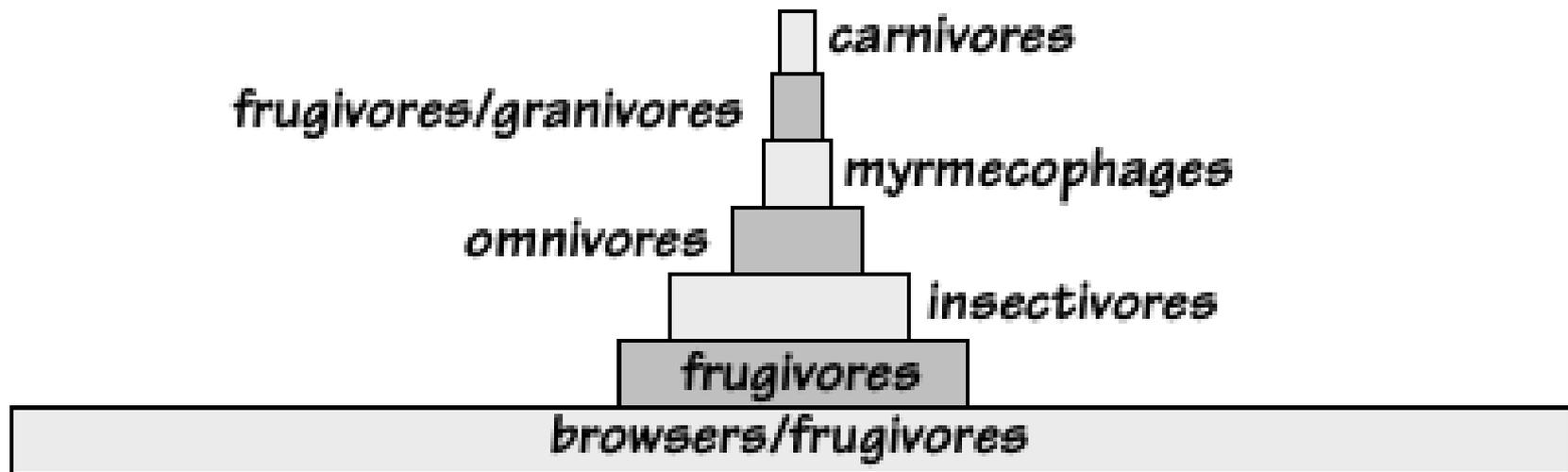
Ricerca di cibo



4.8 (a) Basic food-searching strategies (O'Brien, Bowman, and Evans 1990). (b) Scaling of the daily movement distance of mammals (Garland 1983).

A causa dei costi energetici delle diverse strategie di alimentazione in un ecosistema si crea una piramide delle biomasse al cui vertice sono i carnivori e alla base gli erbivori. La piramide si presenta anche quando invece della biomassa si misura il numero di individui. I carnivori sono in genere meno numerosi degli erbivori perché essendo consumatori secondari hanno una minore efficienza nell'uso dell'energia solare.

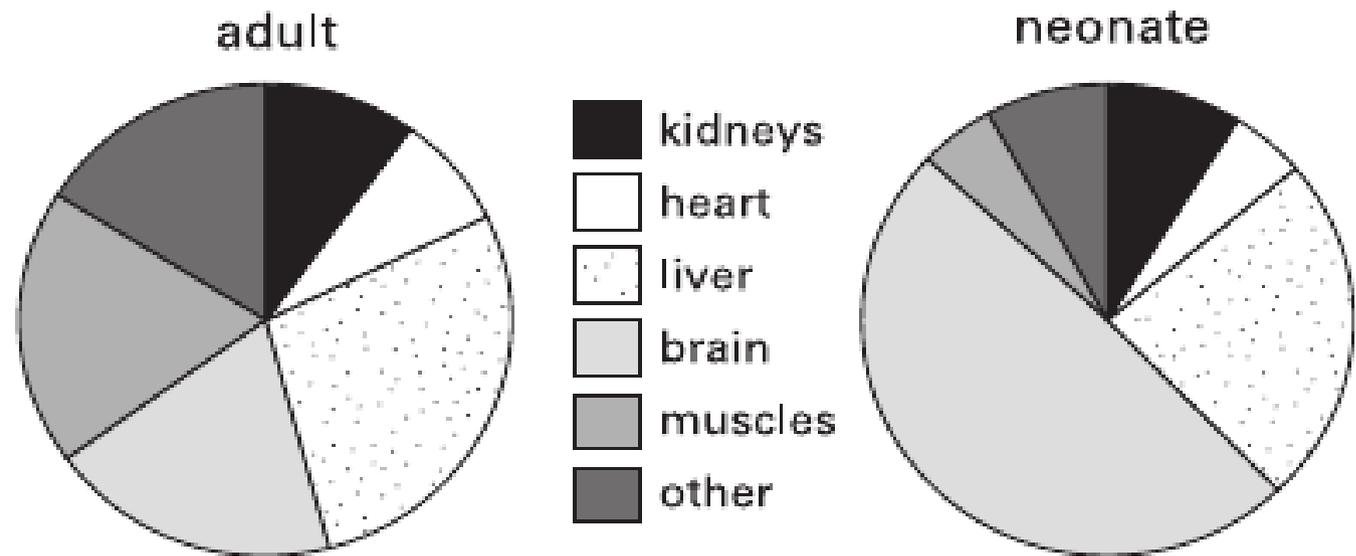
Piramide delle biomasse



Biomass pyramid of mammalian fauna in an Amazonian forest.

L'energetica umana mostra la sua unicità fin dall'inizio della vita. Si noti la grandissima spesa energetica cerebrale del neonato. L'uomo ha un grosso cervello che fin dall'inizio modella comportamenti e fisiologia della specie.

Energetica umana. Metabolismo basale



5.2 Partitioning of basal metabolic rates in adults and infants.
Based on data in FAO (1985).

Definizioni.

BMR = Basal Metabolic Rate

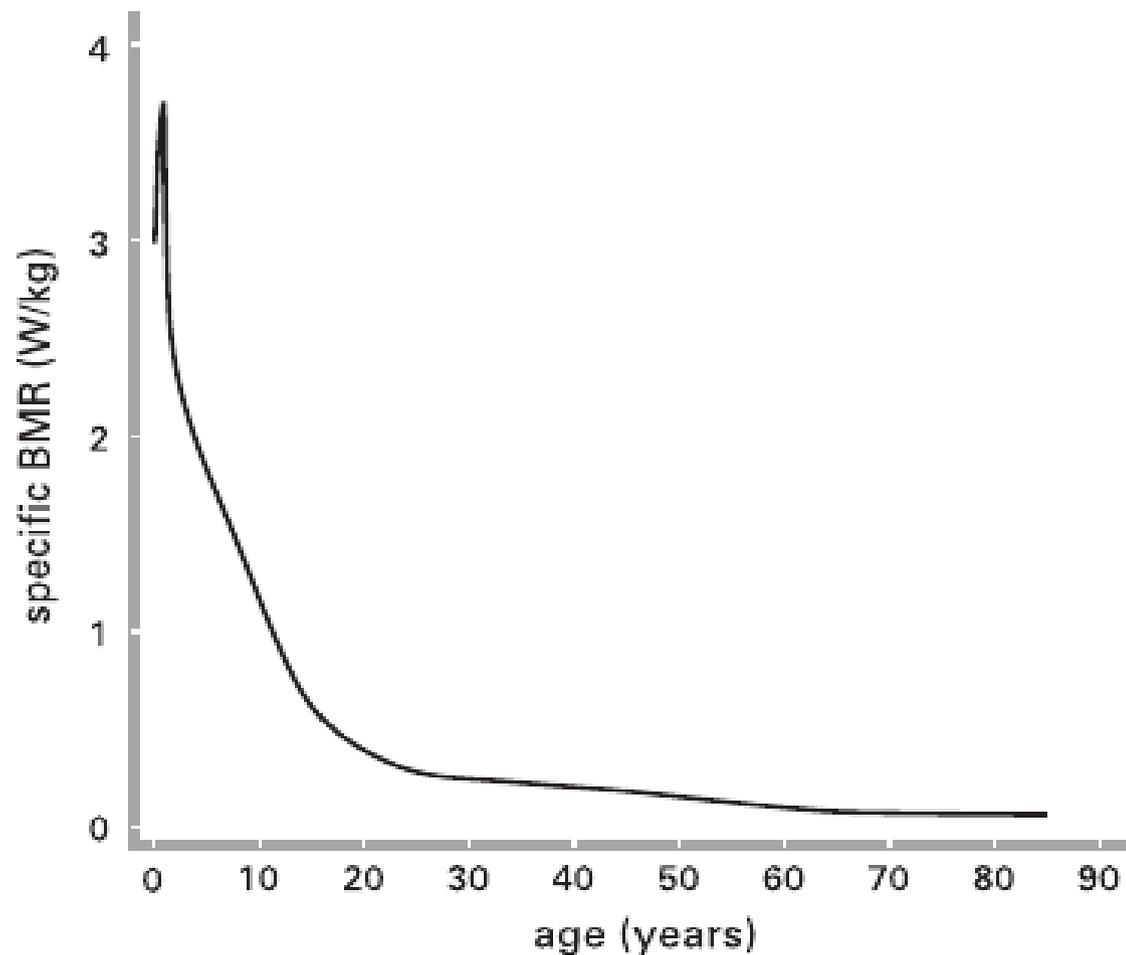
RMR = Resting Metabolic Rate

TEE = Total Energy Expenditure

PAL = Physical Activity Level

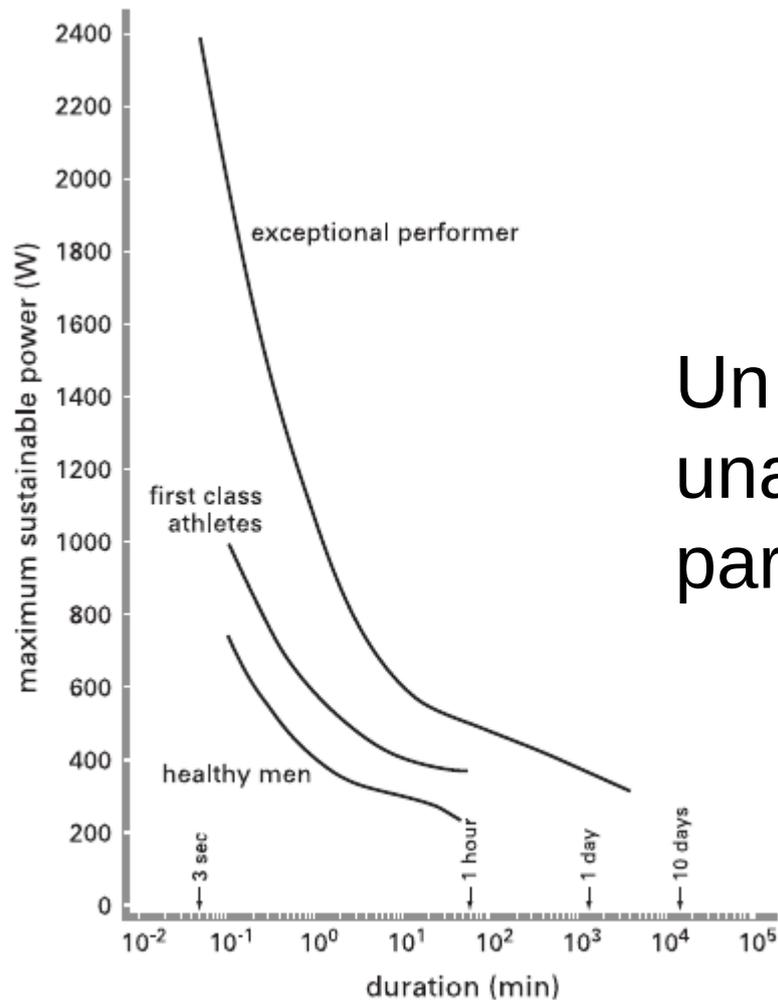
MET = Metabolic Equivalent

Energetica umana. Metabolismo basale (Basal Metabolism Rate) nel corso della vita.



5.3 Decline of BMR with age. Plotted from data in FAO (2004).

Energetica umana. Prestazioni.



Lavoro umano.

Un maschio adulto sano fornisce una potenza di 60-70 W per 8 ore pari a 480-560 Wh/giorno.

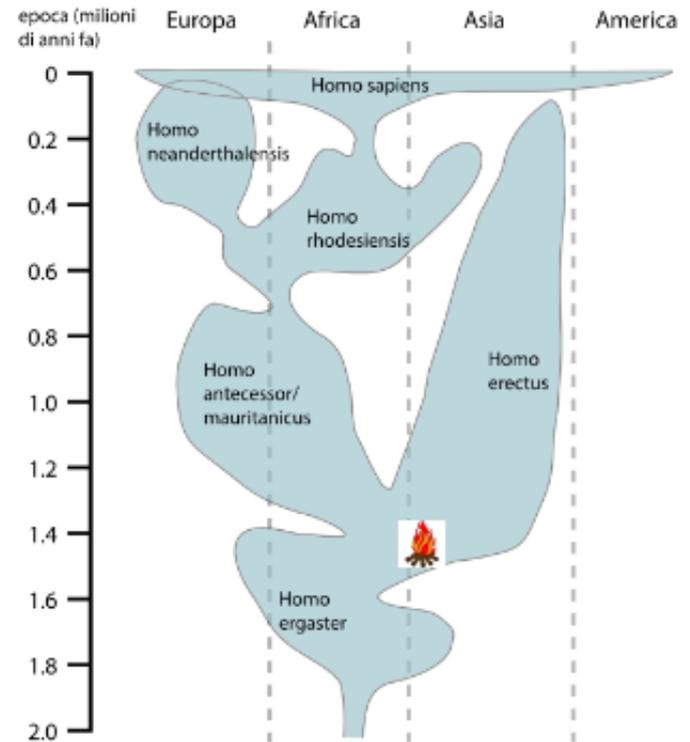
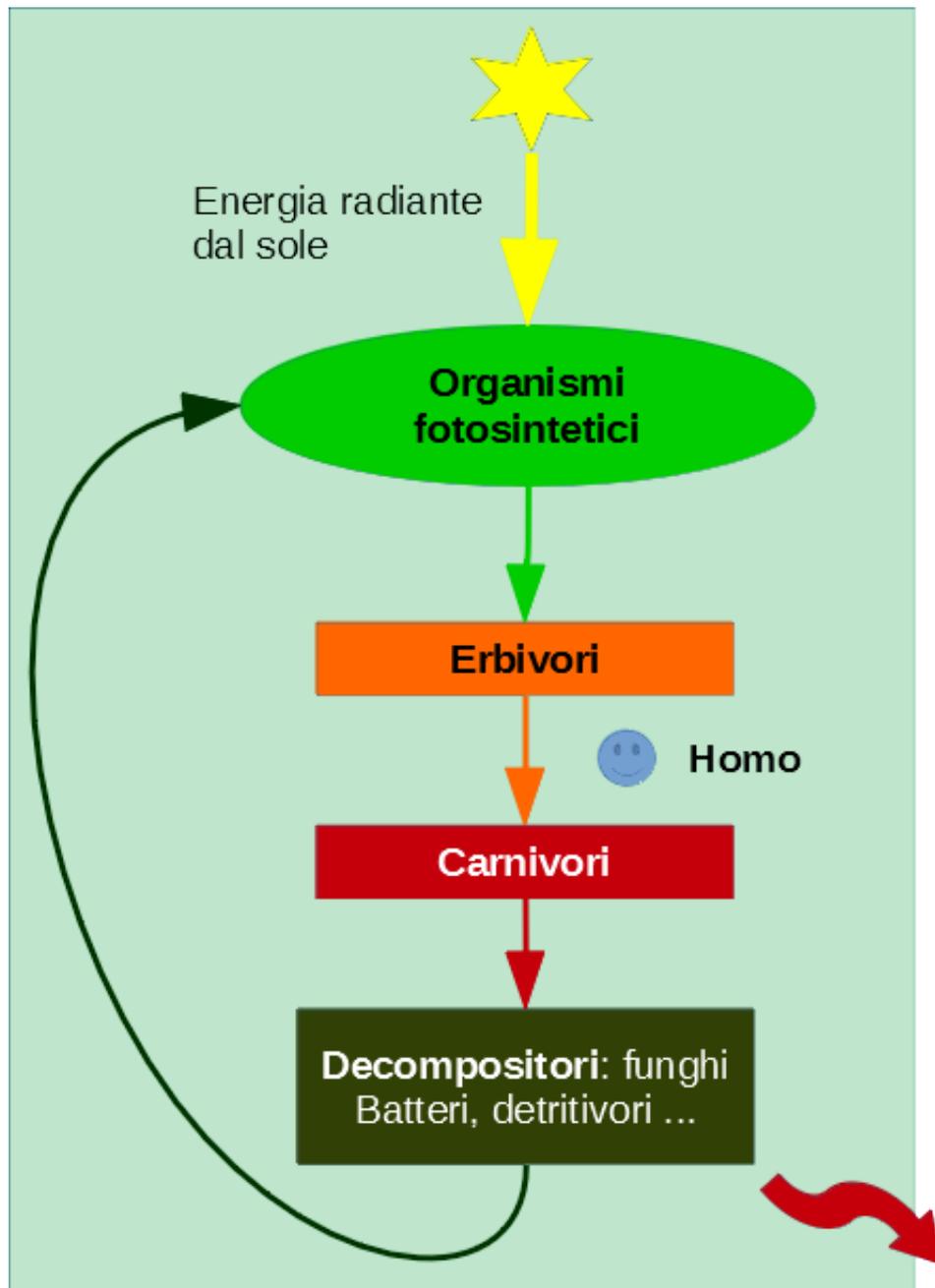
Laboratorio di
Risorse- Economia- Ambiente

Lezione 5- seconda parte

Martedì 10 marzo 2020

**Genere Homo.
Complessificazione
preindustriale.**

Genere *Homo*



Distribuzione spazio-temporale delle principali specie del genere *Homo*. Ne sono note una ventina.

classe: mammiferi
ordine: primati
famiglia: ominidi (scimpanzé e gorilla)
genere: **Homo**

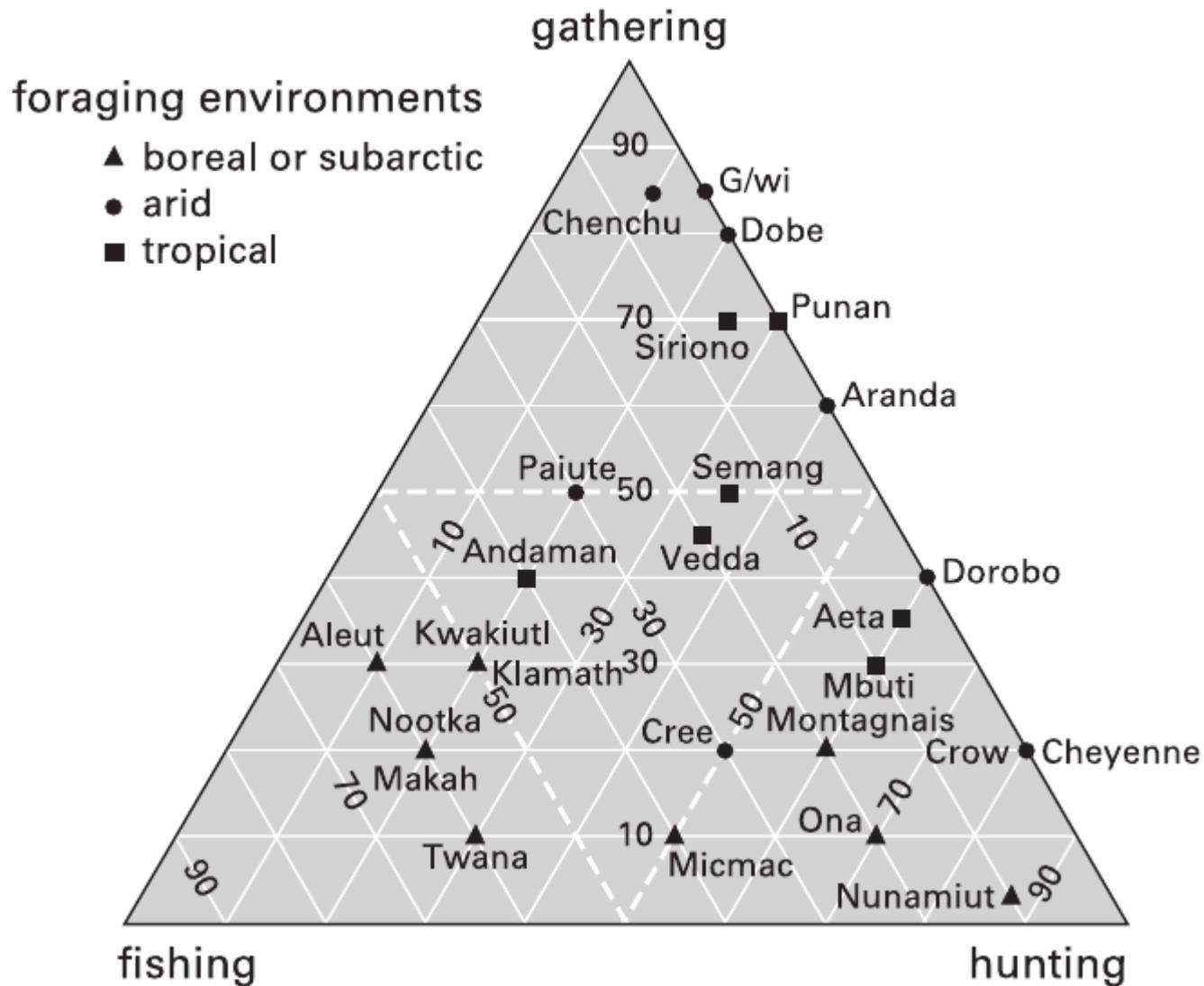
Energia termica

Il genere¹ Homo si colloca, nello schema semplificato della biosfera che ci siamo dati, nella posizione di un polifago e si è evoluto per il 99% della sua storia in piccoli gruppi familiari che praticavano caccia, pesca e raccolta. Diverse etnie di cacciatori-raccoglitori ancora esistenti nel XX secolo sono state studiate e le percentuali di caccia pesca e raccolta rapportate al diverso ambiente in cui vivono.

¹ Nella nomenclatura binomia gli organismi viventi si indicano con il nome generico in maiuscolo e quello specifico minuscolo: es Homo sapiens, Felis silvestris ecc

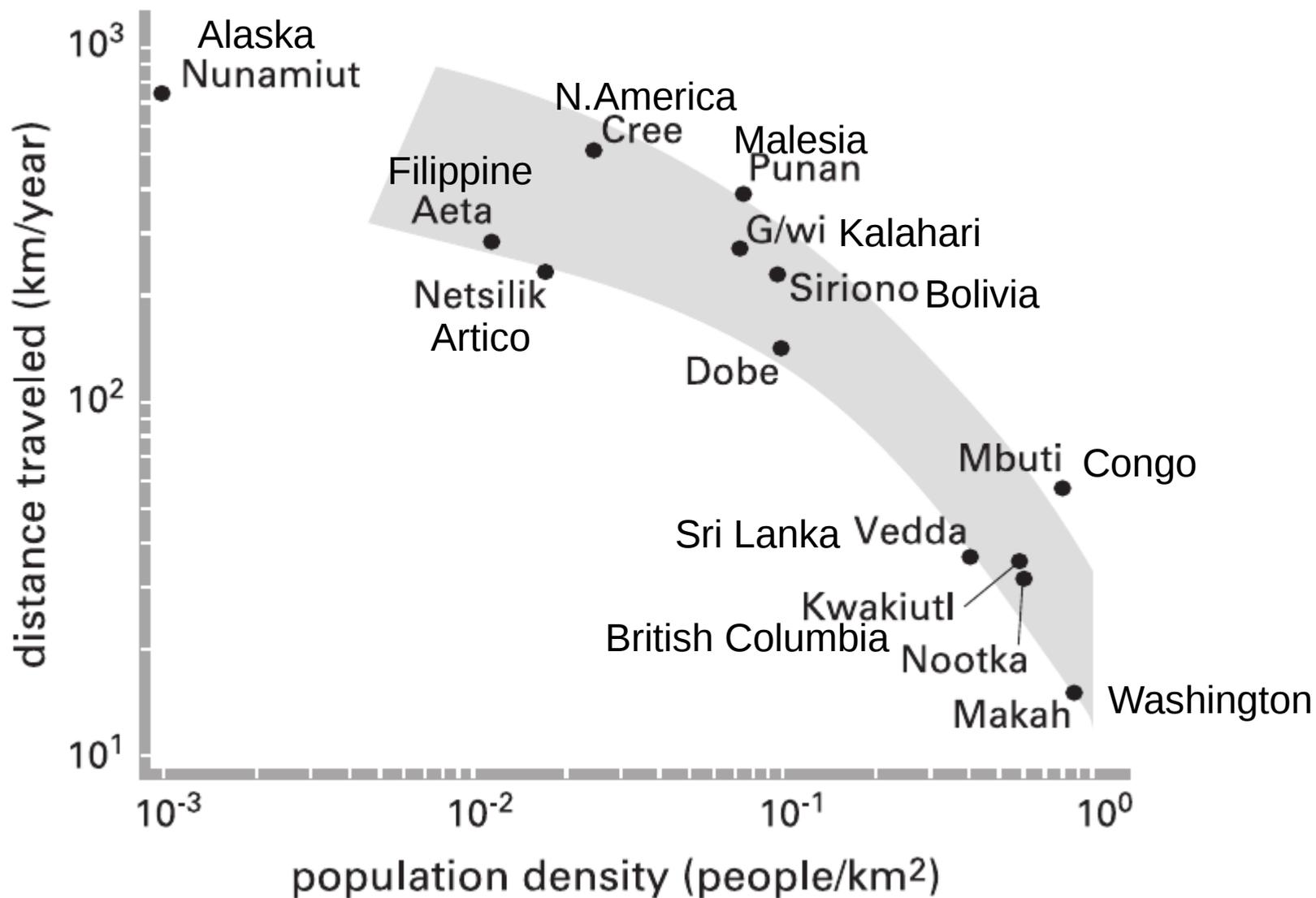
Caccia- Pesca e Raccolta

Etnie in diversi ambienti a confronto



Le popolazioni che vivono in ambienti dove le fonti di cibo sono più scarse (deserti) o diluite (come le foreste tropicali a causa dell'elevata biodiversità) sono obbligate a muoversi maggiormente e mostrano densità di popolazione inferiore. I popoli che abitano gli ambienti di prateria con alberi radi, dove sono abbondanti tuberi, semi e alberi o cespugli fruttiferi, mostrano maggiore tendenza alla stanzialità e densità demografiche maggiori. Questo ci dice che probabilmente sono queste popolazioni che hanno dato vita all'agricoltura.

Differenze sulla base dei diversi ambienti.



Strumenti o protesi

La storia dell'uomo è storia di strumenti. Gli strumenti sono mezzi di concentrazione dell'energia. Si fa un esempio di concentrazione dell'energia muscolare.

Un uomo che colpisce un animale con un pugno esercita sul corpo dell'animale una pressione che si può stimare intorno a 2,5 atmosfere corrispondente alla pressione che si sperimenta a 15 m di profondità nell'acqua. Se, con la stessa forza, l'uomo colpisce l'animale con una lancia con una punta di pochi millimetri quadri, come quella che si può realizzare con una pietra lavorabile, la pressione esercitata nel punto di contatto è di almeno 1000 volte superiore. **L'efficacia dell'arma è quella di concentrare la forza muscolare in un'area molto piccola della pelle dell'animale.**

Strumenti ed energia

- Gli strumenti sono concentratori di energia



un peso medio cioè 75kg, con un diretto può sviluppare una forza di 250-300 Kgf vale a dire circa 2500-3000 Newton un peso massimo anche superiori a 400 Kgf, +4000 Newton

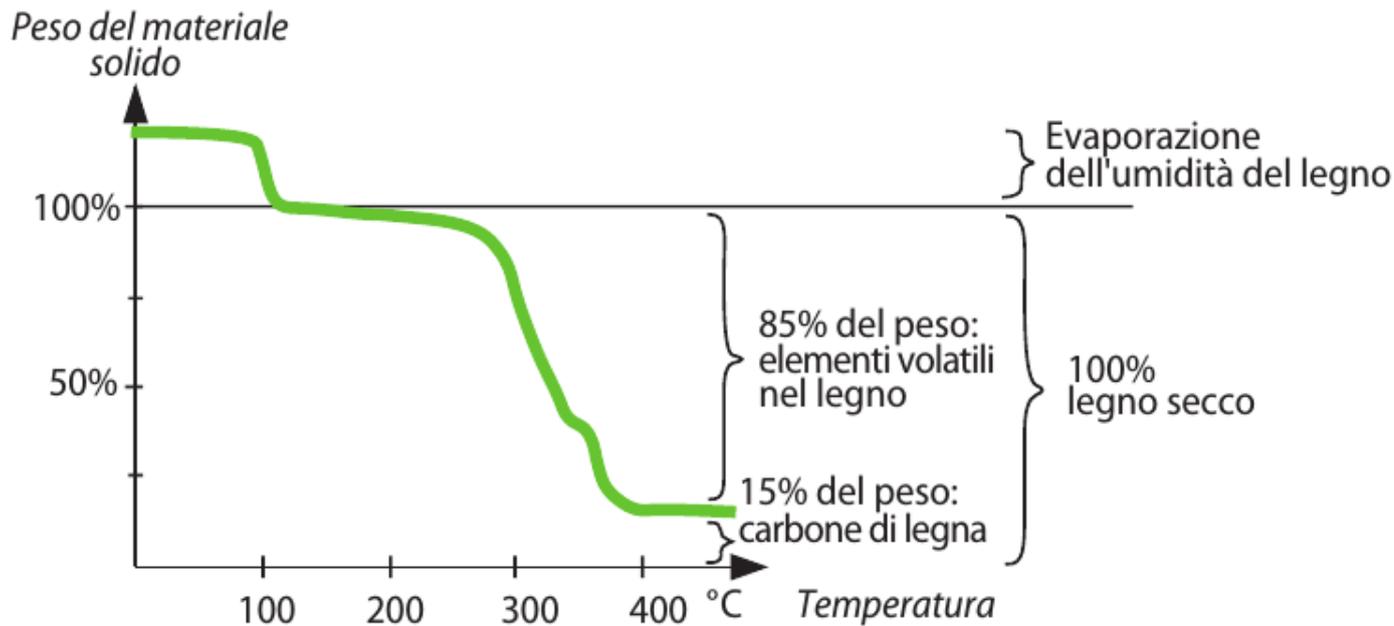
Pressione = Forza/Superficie = $250 \text{ N} / 1 \text{ dm}^2 = 250 \text{ N} / 0,01 \text{ m}^2 = 250.000 \text{ N/m}^2$
 $1 \text{ Atm} = 101.325 \text{ N/m}^2 \Rightarrow 250.000 / 101.325 = 2,5 \text{ Atmosfere di pressione}$

Pressione = Forza/Superficie = $250 \text{ N} / 1 \text{ mm}^2 = 250 \text{ N} / 10^{-6} \text{ m}^2 = 250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
 $1 \text{ Atm} = 101.325 \text{ N/m}^2 \Rightarrow 250 \cdot 10^6 / 101.325 = 2500 \text{ Atmosfere di pressione}$

La storia degli strumenti (o delle protesi), o storia della tecnologia è una disciplina complessa e affascinante. Per sommi capi si può dire che la lunga fase caratterizzata dall'uso di strumenti di legno, ossa e pietra (quasi i soli che sono rimasti a causa della deperibilità degli altri) dura centinaia di migliaia di anni. Intorno ai 5000 anni fa compare la metallurgia (cioè la lavorazione dei metalli), prima quelli che si trovano come tali in natura (oro, rame, e **ferro delle meteoriti**). La metallurgia si sviluppa in parallelo all'uso del fuoco dalla biomassa, prima come legna e poi come carbone di legna che permette di raggiungere temperature superiori alle quali è possibile lavorare il ferro (forgiare) cambiandone le proprietà meccaniche di durezza, resilienza, elasticità ecc. O addirittura fonderlo (1538 °C) per impartirgli una forma particolare. Il carbone di legna brucia a temperature elevate, raggiungendo i 2700 °C nelle giuste condizioni. Per via della sua porosità è sensibile al flusso d'aria che lo colpisce e il calore generato può essere regolato controllando la quantità d'aria che raggiunge le braci. La legna al contrario brucia solitamente a temperature inferiori a 1000- 1200 °C. Episodicamente può essersi verificata la fusione del ferro in forni per la fusione del bronzo, ed è probabile che questi eventi abbiano poi ispirato lo sviluppo delle tecniche necessarie per la lavorazione del ferro e dell'acciaio. La difficoltà nell'ottenimento del ferro è testimoniata dal fatto che il ferro era considerato un metallo prezioso (si veda la daga di Tutankhamon). Gli Ittiti scambiavano 40 Kg di argento per 1 Kg di ferro meteoritico.

Combustione del legno

Suddivisione percentuale delle componenti del legno e loro comportamento durante la combustione [3]



	T (°C)
Amaranto pallido	480
Amaranto	525
Rosso sangue	585
Rosso scuro	635
Rosso	675
Rosso chiaro	740
Rosso pallido	845
Rosa	900
Arancione	940
Giallo	995
Giallo pallido	1080
Bianco	1205
Celeste	1400

La daga di Tutankhamon realizzata con ferro meteorico



Gli strumenti non sono solo armi per cacciare o combattere ma anche strumenti di lavoro. Una varietà di oggetti che servono ad ottimizzare l'uso dell'energia muscolare umana o degli animali. Sono gli strumenti di lavoro che facilitano lo sviluppo dell'agricoltura a partire dalle tecnologie sviluppate durante il lungo periodo in cui l'uomo è stato cacciatore raccoglitore.

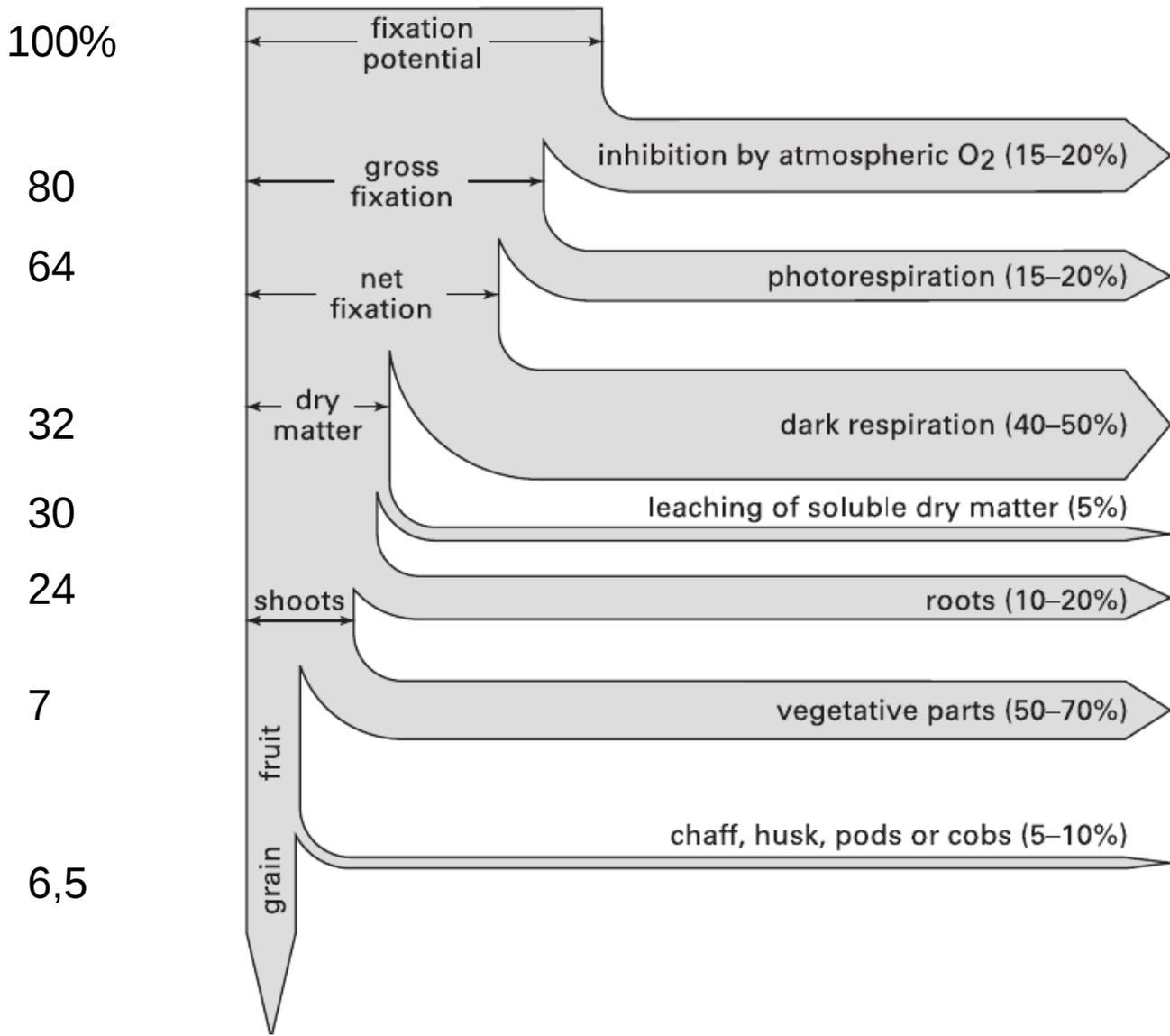
Nella storia dell'agricoltura l'evoluzione dell'aratro spiega il modo in cui si è cercato di ottimizzare l'uso dell'energia fornita dal lavoro muscolare di uomini ed animali.



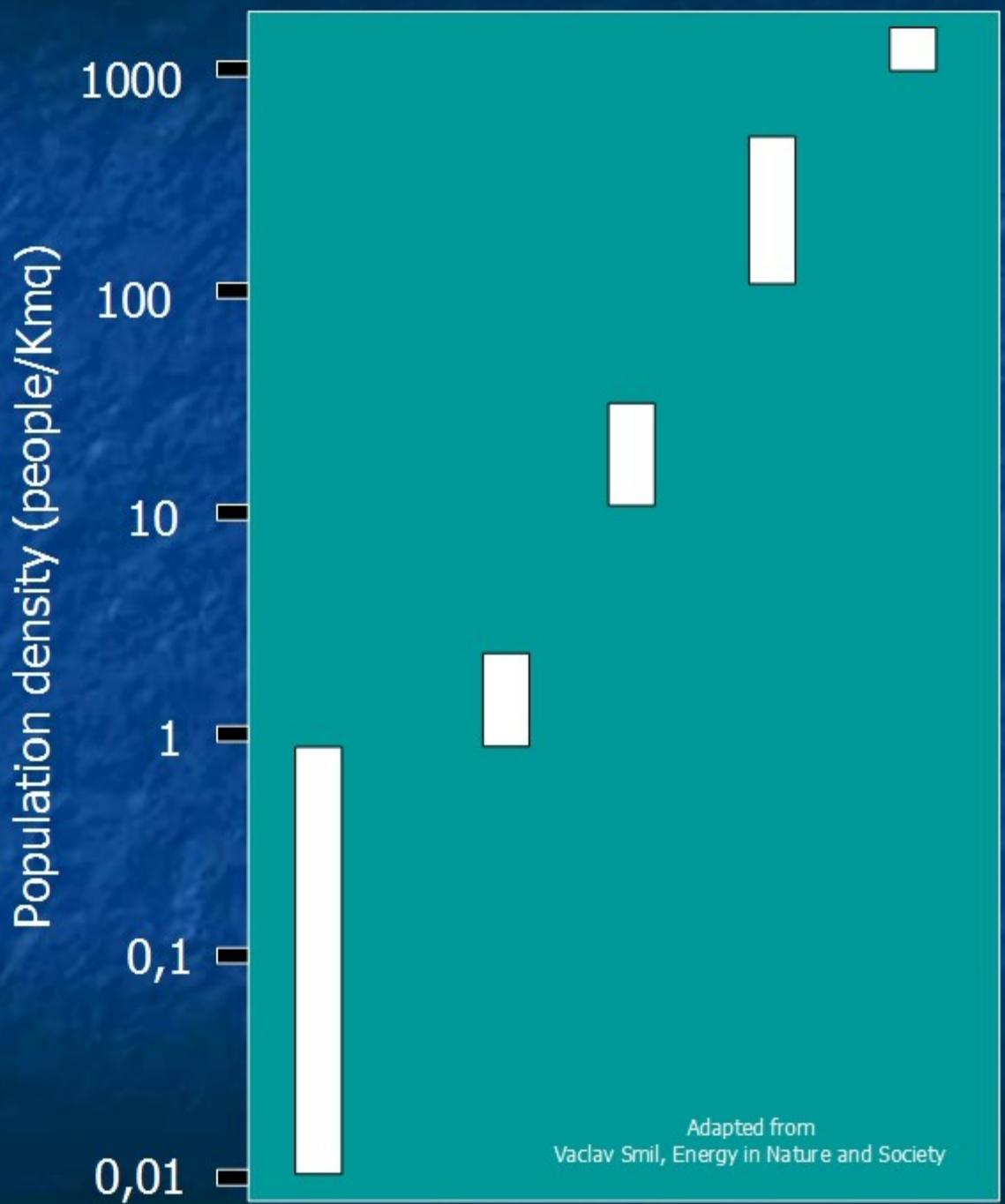
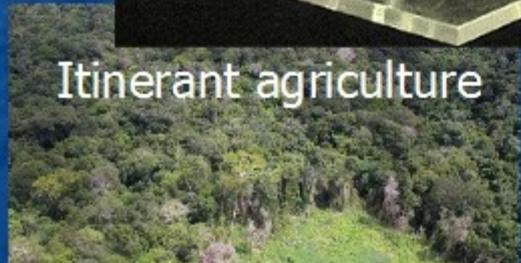
L'agricoltura è il mezzo con cui si forza una parte degli organismi autotrofi a produrre una quantità maggiore delle parti che ci interessano dei loro tessuti. I frutti e i semi per l'alimentazione, il legno per il riscaldamento e come materiale da costruzione (abitazioni, imbarcazioni, ponti, mezzi di locomozione come carri e slitte, altre strutture come i recinti le palizzate per il contenimento del bestiame ecc.).

Considerando gli usi alimentari dei prodotti agricoli, nella figura che segue si vede che della quantità di energia solare potenzialmente intercettata dalla fotosintesi solo una piccola percentuale si ritrova nel frutto e nel seme. Lo sviluppo dell'agricoltura è, in massima parte, lo sforzo per aumentare questa piccola percentuale.

Agricoltura



Le diverse economie umane sono messe a confronto in un diagramma logaritmico che riporta l'ordine di grandezza della densità demografica supportata dalle diverse strategie di produzione di cibo. La caccia raccolta, la pastorizia, ecc fino all'agricoltura industriale supportano una densità di popolazione crescente che varia di 5 ordini di grandezza da 0,01 persona per Km quadro alle migliaia di persone per Km delle società urbanizzate supportate dall'agricoltura industriale. Agricoltura industriale che, a sua volta, riceve un ingente sussidio dalle fonti fossili di energia. Si è stimato che per ogni caloria di cibo ingerita si spendano 10 calorie in combustibili fossili (meccanizzazione, fertilizzanti, fitofarmaci, irrigazione forzata ecc). L'importanza di tale sussidio ha fatto dire che la Rivoluzione Agricola che ha moltiplicato le rese agricole altro non è che trasformazione di petrolio in cibo.



Nell'agricoltura tradizionale, pre-industriale (e nei paesi in cui viene ancora praticata) l'importanza dell'energetica animale che abbiamo illustrato precedentemente, manifesta tutta la sua importanza.

Il grafico che segue riporta la potenza (asse sinistro) e la forza di tiro (asse destro) dei diversi animali da lavoro in funzione della velocità di tiro. Fra gli animali da tiro quelli con prestazioni maggiori sono i cavalli. Non è un caso se una delle unità di misura della potenza (energia per unità di tempo) è il cosiddetto Cavallo Vapore (o Horse Power: HP), pari a circa 740 Watt, che è appunto la potenza media espressa dai cavalli da lavoro. Si noti che le prestazioni dei diversi animali sono rappresentate da delle aree data la varietà individuale e delle diverse razze equine e bovine. Benché le prestazioni siano importanti la scelta degli animali da lavoro dipende anche da altri fattori ambientali. Così i Bufali usati nelle risaie del sud est asiatico non potrebbero essere sostituiti da cavalli. Il cavallo da parte sua, animale molto esigente dal punto di vista nutrizionale, è caratteristico di civiltà agricole relativamente ricche come l'America dopo la colonizzazione.



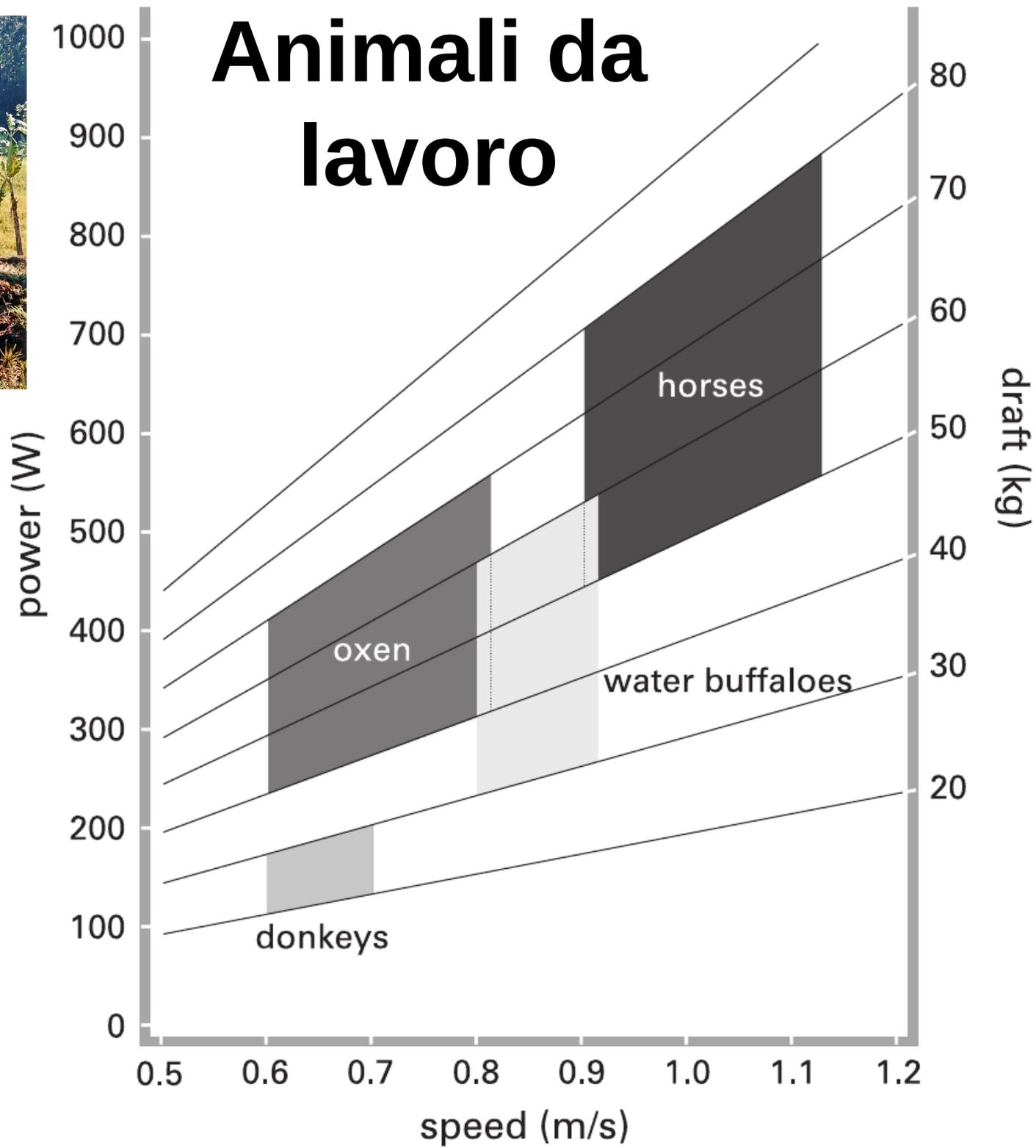
Aratura di un campo di riso a Java.



Laos

Bubalus bubalis
 Bufalo indiano o
 Bufalo d'acqua

Animali da lavoro



L'uso degli animali da tiro e da soma per il lavoro dei campi, per attingere l'acqua dai pozzi, per il trasporto delle persone e delle merci ecc permette di sfruttare livelli di potenza che il fisico umano non può raggiungere.

Nella figura che segue sono rappresentati i campi di prestazione di quattro tipici animali da tiro tradizionali: l'asino, il bue, il bufalo d'acqua e il cavallo. Altri animali da lavoro sono il cammello, l'elefante indiano (quello Africano non è domesticabile), il mulo (incrocio sterile fra un asino maschio ed una cavalla, l'ibrido contrario si chiama bardotto), la renna e i cani in lapponia e fra gli Inuit.

La potenza **P** è energia/tempo (misurata in Watt), nel caso del tiro di un carro o di un aratro l'energia in gioco è data dalla forza **F** esercitata dall'animale moltiplicata per lo spostamento **s** quindi:

Ma s/t è per definizione la velocità per cui si ha:

La potenza è quindi il prodotto della forza di tiro dell'animale (considerata costante) per la velocità di tiro.

Per coloro che hanno familiarità con il calcolo differenziale. La potenza è la derivata dell'energia rispetto al tempo:

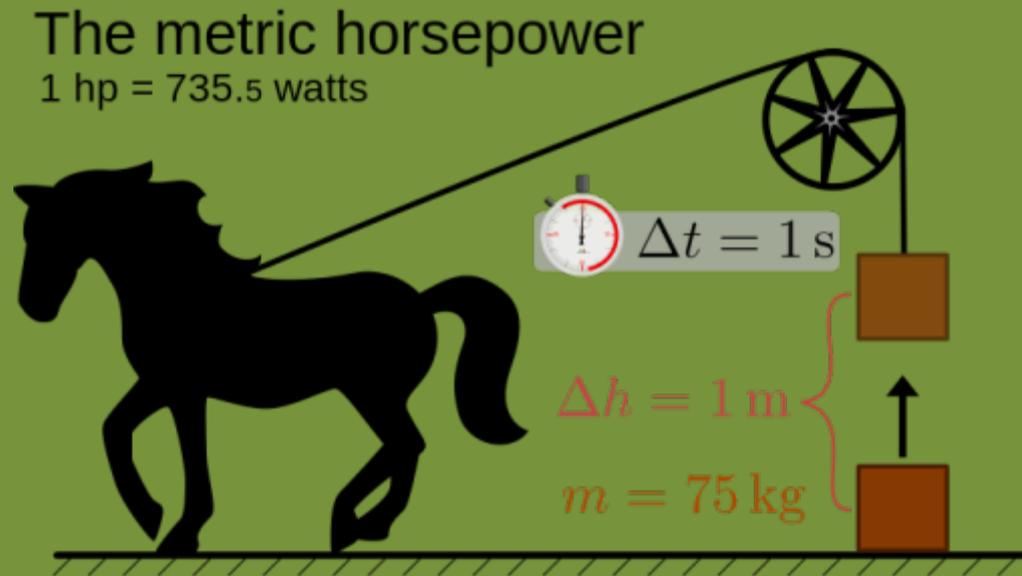
Nel caso del tiro di un carro o di un aratro la forza esercitata dall'animale è costante nel tempo quindi il primo fattore al secondo membro si annulla $dF/dt = 0$. Inoltre ds/dt è uguale alla velocità. Dunque la potenza è il prodotto della forza di tiro dell'animale per la velocità di tiro.

Questa relazione lineare è rappresentata nel grafico dalle rette oblique che hanno pendenza positiva pari a:

L'intercetta della retta sarebbe a zero ma ha poco senso in quanto è ovvio che se l'animale è fermo non sviluppa potenza.

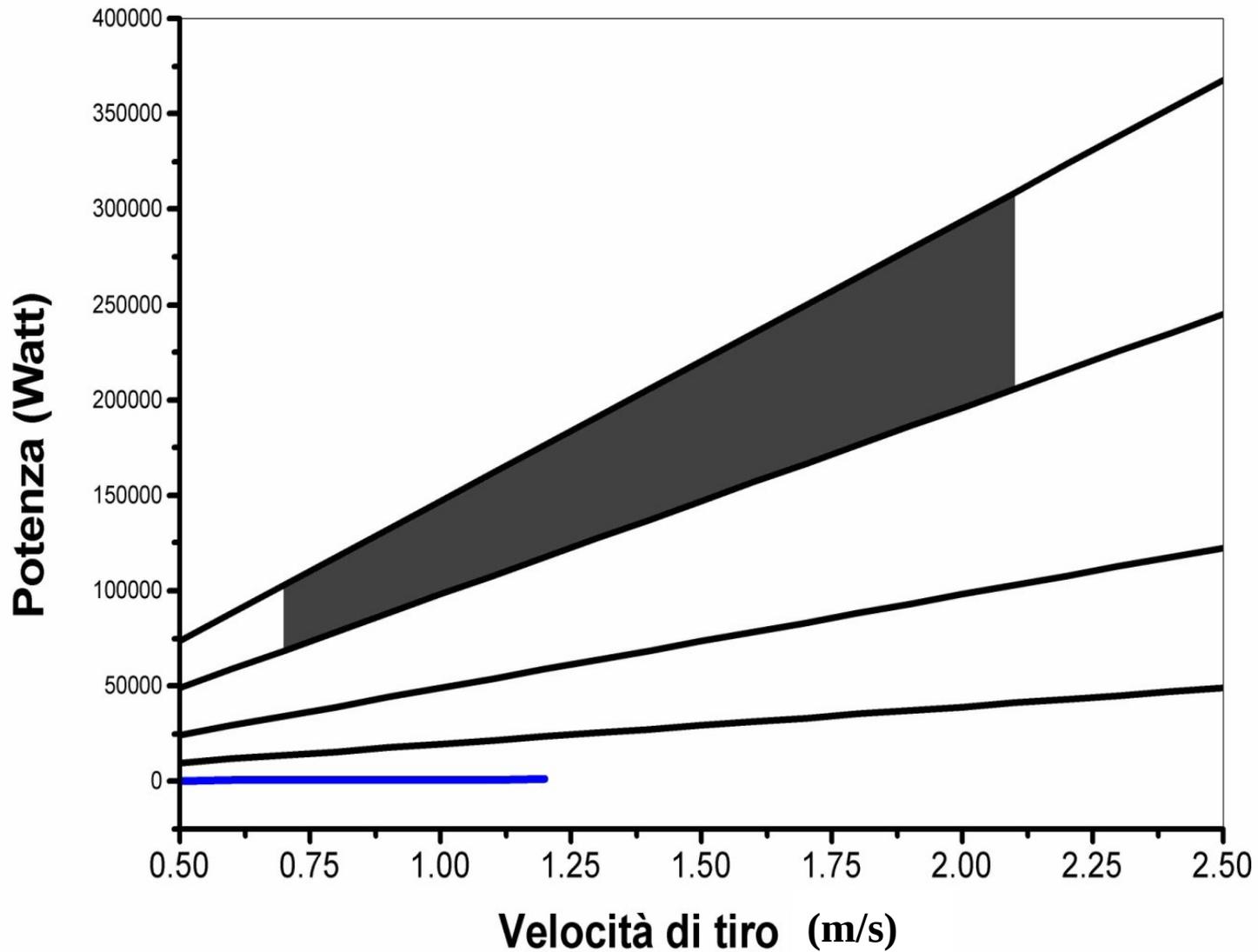
Draft animals performances.

The horse which is more performant draft animal is also the more requiring in terms of feeding and shelter and was traditionally used in relatively rich rural societies. Esso è anche alla base della definizione dell'unità di misura della potenza del Cavallo vapore, in lingua inglese Horse power pari a 735,5 Watts.



Nella figura che segue ho riportato una mia stima sulle prestazioni delle moderne macchine agricole, trattori, mietitrebbie ecc. Tali mezzi sviluppano potenze che sono almeno due ordini di grandezza superiori a quelle degli animali più potenti, i cavalli. Inoltre questi macchinari che ovviamente funzionano attraverso l'uso dei combustibili liquidi prodotti dal petrolio, possono sviluppare velocità di tiro superiori a quelle degli animali e lavorare a tempo indeterminato (ovviamente sono soggette a logorio meccanico ed hanno una durata limitata). Gli animali da lavoro, come l'uomo, hanno bisogno di riposo quotidiano e si stima che anche per gli animali il tempo quotidiano di lavoro nelle società agricole tradizionali non fosse superiore alle 8-12 ore nei mesi estivi e intorno alle 4 ore nei mesi invernali. Inoltre gli animali attingono per nutrirsi a parte della produttività primaria prodotta attraverso l'agricoltura. Il cavallo che è l'animale con prestazioni migliori è anche quello più esigente dal punto di vista alimentare ed è infatti l'animale da lavoro e da trasporto tradizionale di società agricole evolute e ricche come l'America del XVIII e XIX secolo. Animali meno esigenti come l'asino e il bufalo d'acqua si adattano a società più povere come quelle del medio oriente e del sud est asiatico. Inoltre è ovvio che per arare una risaia il bufalo è più adatto del cavallo.

Agricoltura industriale



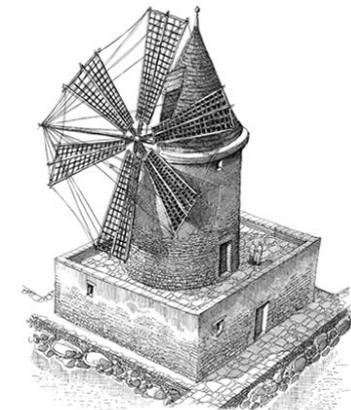
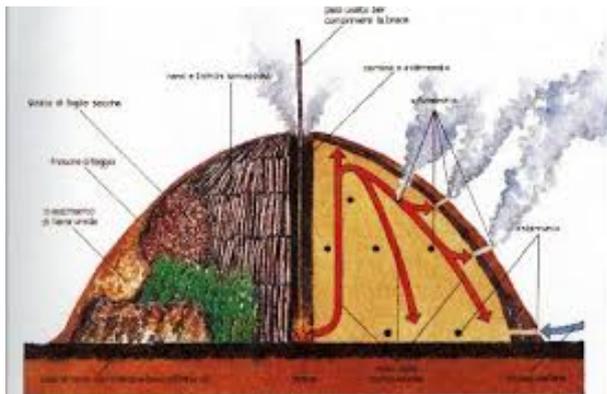
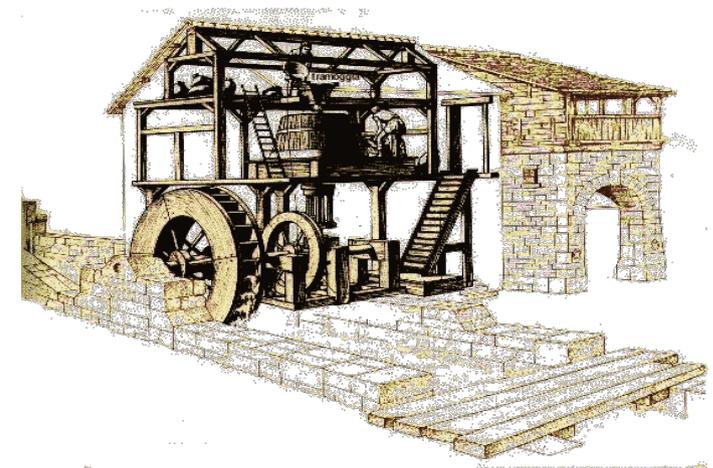
La lunga fase, discontinua (cioè con periodi di regressione), di complessificazione economica e sociale pre-industriale dalla rivoluzione agricola del neolitico fino alla rivoluzione industriale si è basata su quattro fonti energetiche prevalenti:

Il **lavoro umano ed animale** con il sussidio di strumenti ed armi (concentratori di energia), l'energia fluidodinamica **delle correnti dei fiumi e dei torrenti** sfruttata con i mulini ad acqua, e della **forza del vento** sfruttata con i mulini a vento e la navigazione a vela, e infine la **biomassa**. Quest'ultima è rappresentata dal legname, dallo sterco animale seccato e da altri residui dell'agricoltura, e soprattutto dalla **carbonella di legna** (charcoal). Il carbone di legna usato nelle fornaci permette di raggiungere le temperature necessarie per sviluppare le tecniche metallurgiche, in particolare la creazione dell'acciaio, che sono la base tecnologica che accompagna la progressiva complessificazione economica e sociale.

Complessificazione pre-industriale

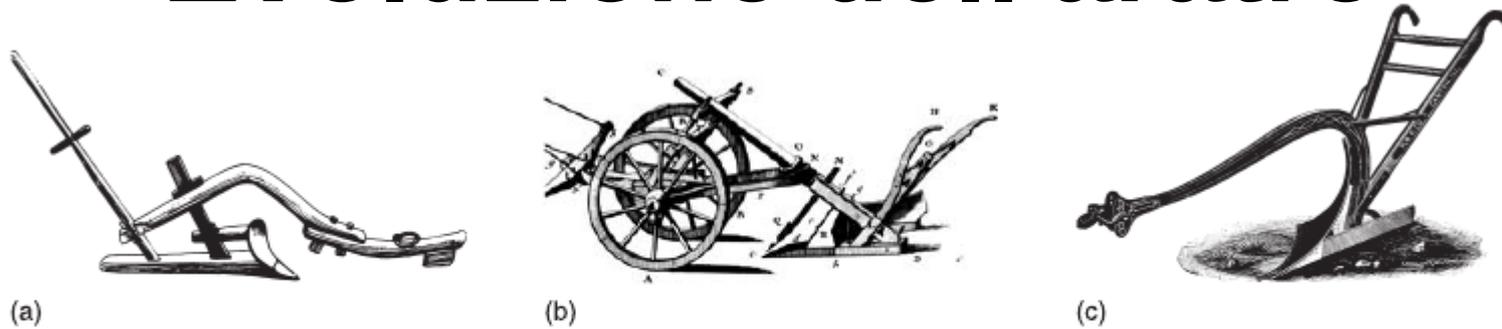
Quattro fonti di energia primaria.

- Lavoro di animali e uomini.
- Corsi d'acqua (Mulini ad acqua).
- Vento (Mulini a vento).
- Biomassa (legno, carbone di legna ed altri combustibili tradizionali).



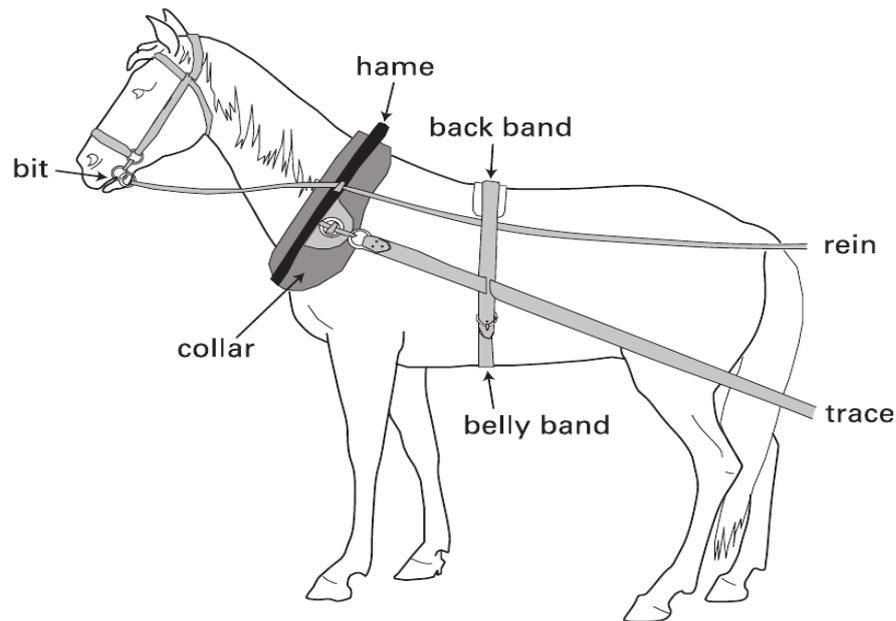
Nel processo storico di sviluppo, gli strumenti, che abbiamo individuato come mezzi per concentrare l'energia, prendono sempre più importanza. La tecnologia diventa sempre più complessa al fine di sfruttare al meglio le fonti energetiche disponibili. E in un ciclo di rinforzo (feedback cycle) positivo la crescente disponibilità di energia rende disponibili nuove risorse per complessificare ulteriormente le tecniche e la società. Si può apprezzare questo aspetto attraverso l'evoluzione degli strumenti agricoli come l'aratro e delle imbracature per gli animali da tiro. In agricoltura i mezzi per dissodare i campi e per raccogliere il prodotto si sviluppano per rendere sempre più efficiente l'uso delle fonti energetiche disponibili: forza umana e animale.

Evoluzione dell'aratro



6.2 Evolution of curved moldboard plows. (a) Traditional Chinese plow. (b) Eighteenth-century French plow. (c) American steel beam plow of the mid-nineteenth century. From Smil (1994).

E della bardatura del cavallo

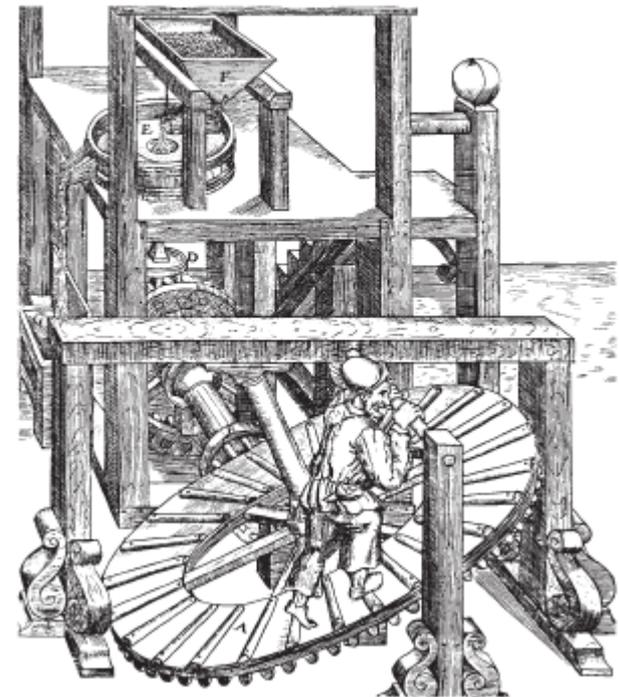


Non sorprende dunque che il confronto fra agricoltura tradizionale e agricoltura industriale mostri la differenza già vista in termini di capacità di supporto di una densità di popolazione almeno dieci volte superiore. Questo risultato però è ottenuto per mezzo del sussidio fossile e al prezzo del progressivo esaurimento per erosione, salificazione e denudamento di una risorsa lentamente rinnovabile: il suolo fertile (torneremo su questo punto più avanti).

Lo sfruttamento delle fonti animate di energia, il lavoro muscolare degli uomini e degli animali, non si limita all'agricoltura.



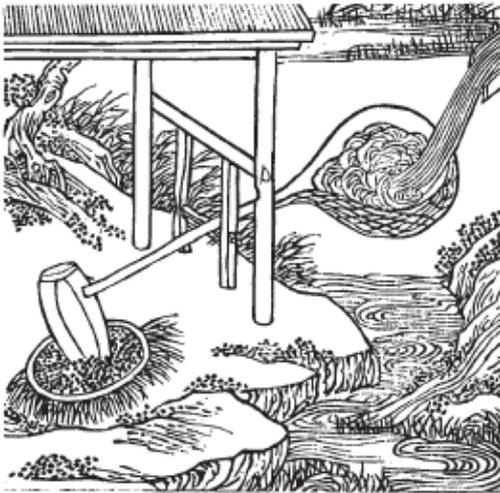
Cercare in internet:
treadmill
o treadwheel



Lo sfruttamento delle fonti inanimate di energia (energia fluidodinamica), cadute idriche e vento, permette lo sviluppo di forme primordiali di industria come quella tessile e quella metallurgica. Anche con il carbone vegetale è impossibile fondere il Ferro (punto di fusione: $1808 \text{ K} = 1535 \text{ °C}$). Con le fornaci si riesce ad ottenere una massa semifusa che viene lavorata dal fabbro con il martello nella tecnica della forgiatura. Martelli automatici per la forgia furono progressivamente introdotti grazie all'uso delle cadute d'acqua. Lo stesso tipo di tecnica permetteva la follatura della lana e altre azioni.

Le gualchiere sono macchinari di epoca preindustriale costruiti lungo i corsi d'acqua per la follatura della lana. La follatura della lana condotta in antichità pestando nell'acqua i panni di lana con i piedi, serve per ottenere un tessuto più compatto e impermeabile (infeltrimento).

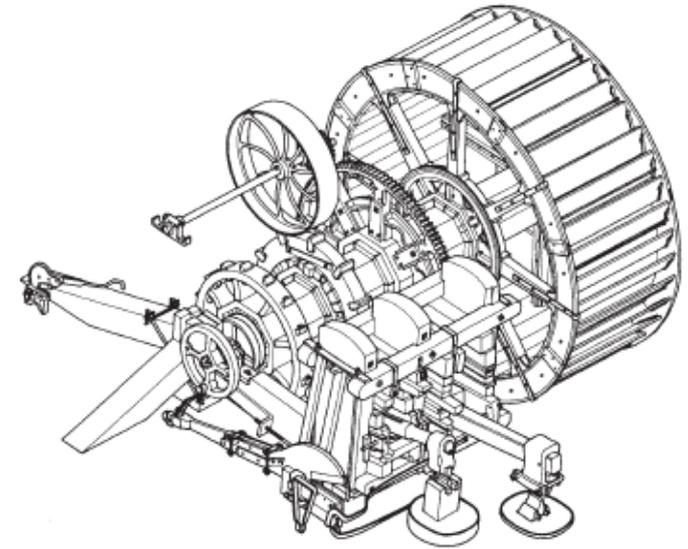
Sistemi di sfruttamento delle fonti inanimate di energia. Correnti d'acqua.



(a)



(b)

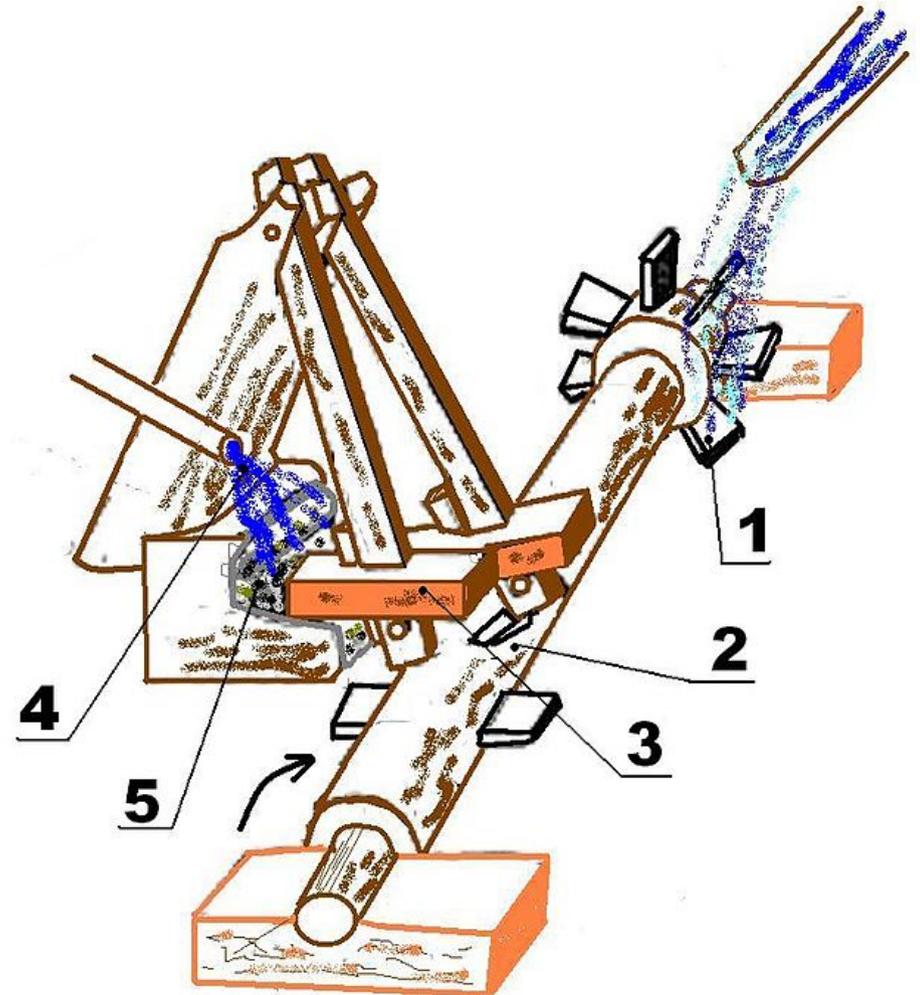


(c)

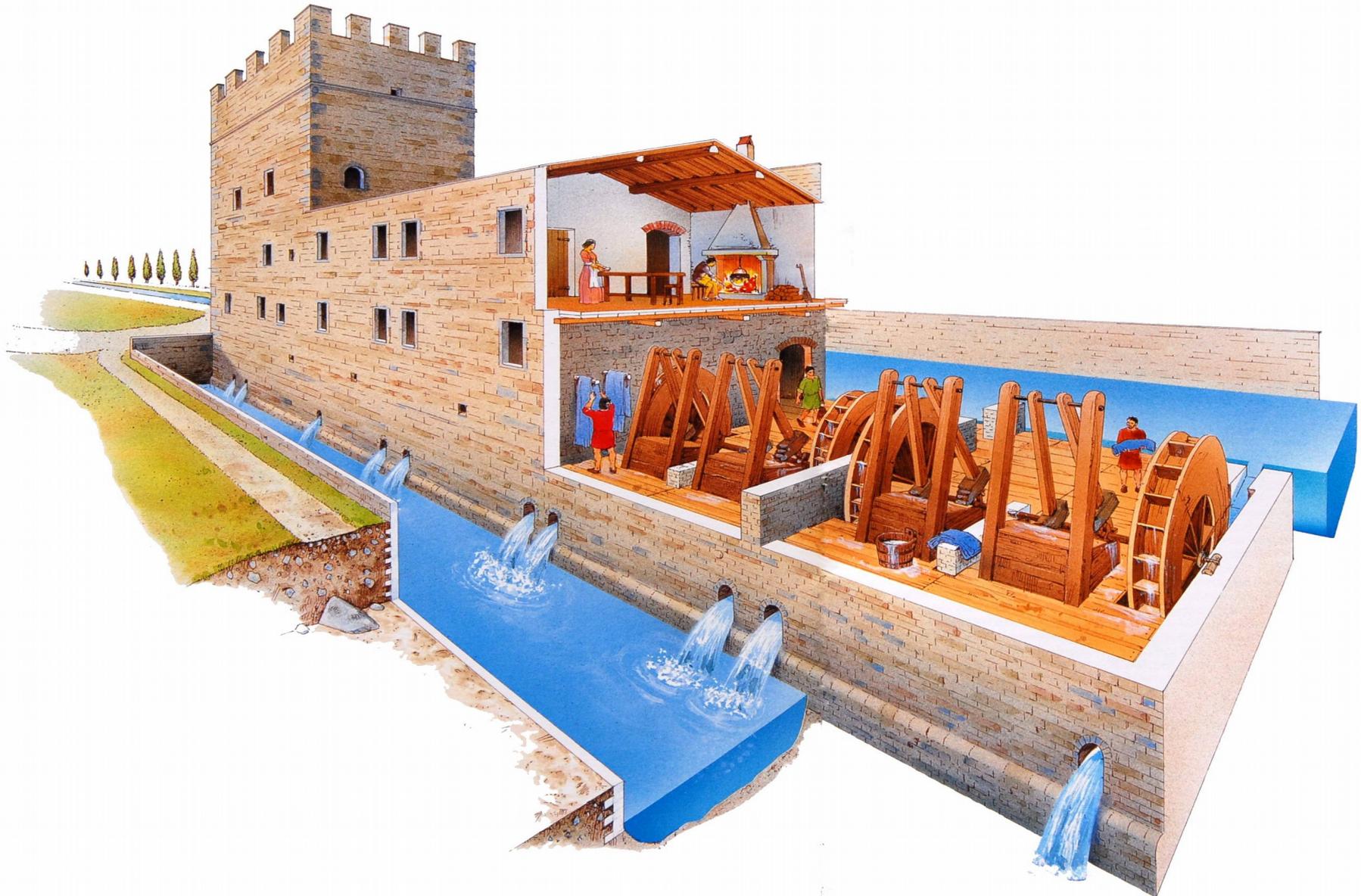
7.1 Development of an idea. (a) Ancient Chinese spoon tilt hammer. (b) Medieval European forge hammers. (c) Nineteenth-century waterwheel-driven English hammer.

Follone: maglio azionato dall'acqua nelle gualchiere

La caduta d'acqua mette in movimento rotatorio il mulino (1) e questo fa girare l'asse. (2) Le tacche realizzate sull'asse determinano il movimento alternato dei due magli (3) che colpiscono il panno di lana da follare (5) mentre un'altra caduta d'acqua lo tiene bagnato (4).



Gualchiere di Remole (Bagno a Ripoli)



Per chi volesse dedicarsi ad una scampagnata dedicata all'archeologia industriale vicino a Firenze si possono visitare le Gualchiere di Remole nel comune di Bagno a Ripoli.

The image is a screenshot of a Firefox web browser displaying Google Maps. The browser's address bar shows the URL: [https://www.google.it/maps/place/50012+Gualchiere+di+Remole+FI/@43.77993,11.3259811,12z/d...](https://www.google.it/maps/place/50012+Gualchiere+di+Remole+FI/@43.77993,11.3259811,12z/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s50012+Gualchiere+di+Remole+FI). The search bar contains the text "gualchiere di remole".

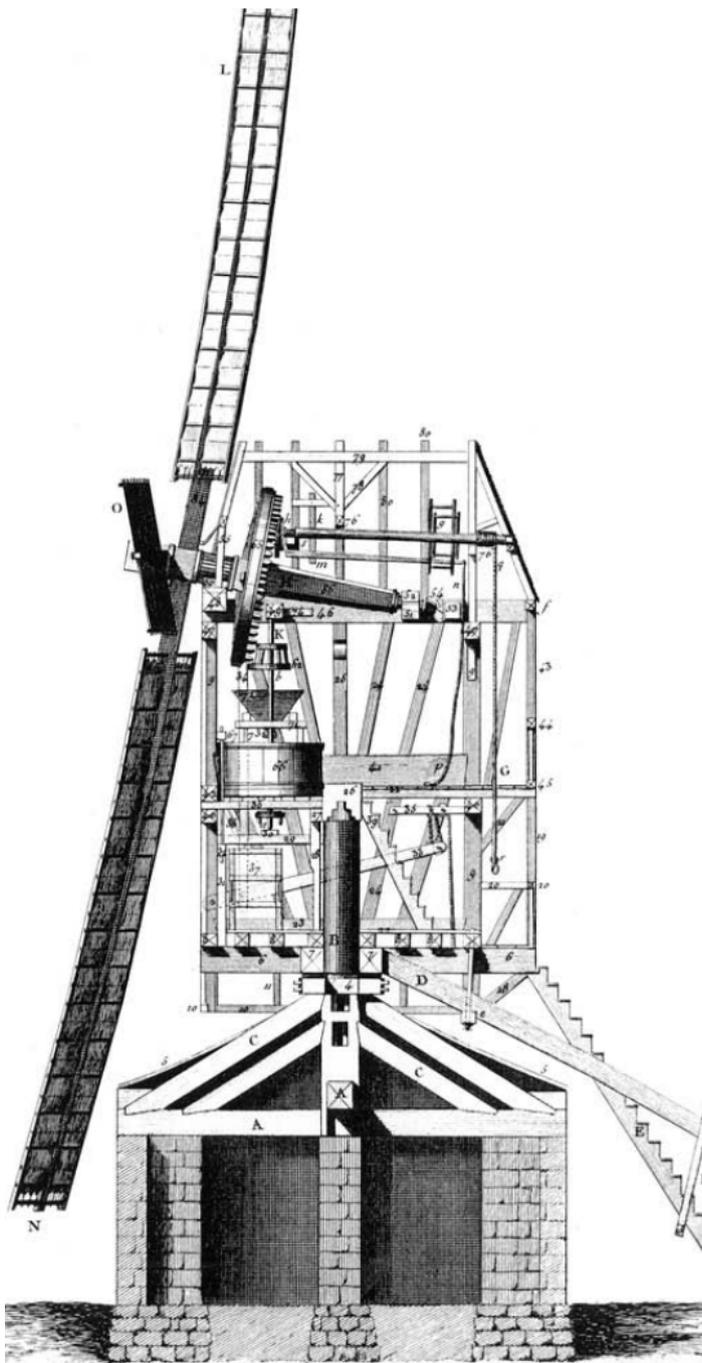
The map shows the location of Gualchiere di Remole, marked with a red pin. The map includes labels for various locations such as Firenze, Bagno A Ripoli, Fiesole, and Pontassieve. A blue route is highlighted on the map, starting from Firenze and passing through Bagno A Ripoli to Gualchiere di Remole. The map also shows several roads, including SR65, SP54, SP84, SS302, SP110, SS67, SP34, SP86, SR70, SR69, SP90, and SP88.

On the left side of the map, there is a sidebar with a search bar containing "gualchiere di remole" and a search icon. Below the search bar, there is a photo of the Gualchiere di Remole. The sidebar also displays the name "Gualchiere di Remole" and the postal code "50012 FI". There are four icons in the sidebar: "SALVA" (star), "NELLE VICINANZE" (location pin), "INVIA AL TELEFONO" (phone), and "CONDIVIDI" (share). Below the sidebar, there is a "Foto" section with a small image of the Gualchiere di Remole.

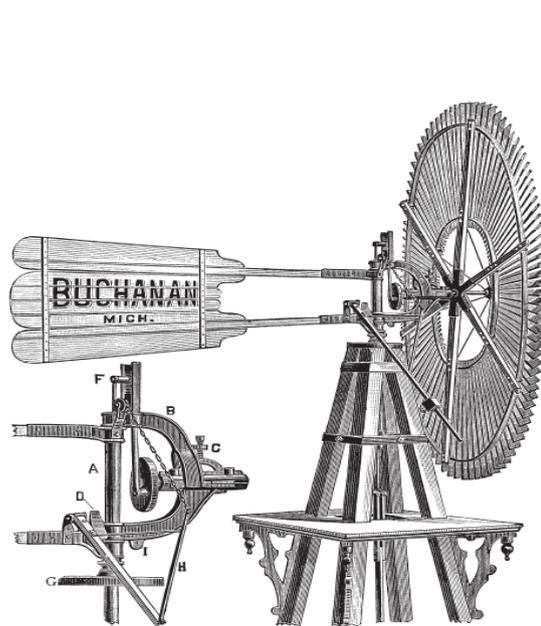
At the bottom of the map, there is a "Promemoria sulla privacy di Google" (Google Privacy Notice) banner with buttons for "RICORDAMELO PIÙ TARDI" (Remember me later) and "LEGGI" (Read). The bottom right corner of the map shows the Google logo and the text "Dati cartografici ©2016 Google".

The browser's taskbar at the top shows several open tabs: "Worldmapper: The...", "International Energy...", "blacksmith - Diziona...", "gualchiere sull'arno...", and "Gualchiere di Remol...". The browser's status bar at the bottom shows the page number "Slide 24 / 24", the text "Blank Slide", and the zoom level "58%".

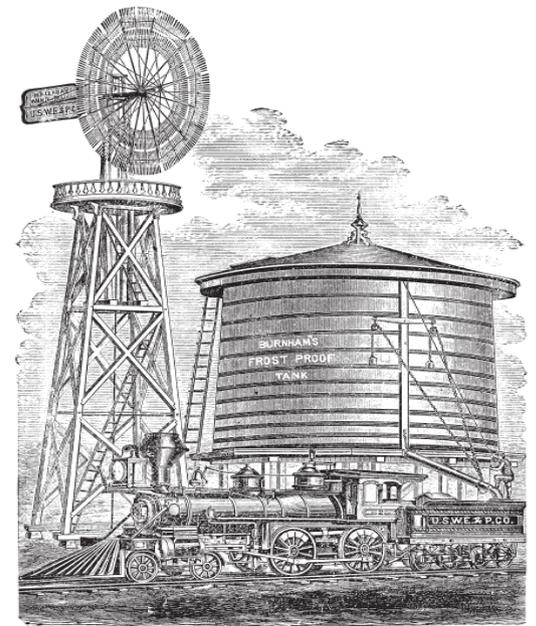
Analoghi sviluppi si incontrano nel campo dello sfruttamento dell'energia del vento. Nella figura che segue si vedono diversi tipi di mulino a vento di diverse epoche. Alcuni sono sopravvissuti fino in tempi relativamente recenti. È interessante notare che fonti energetiche antiche si sovrappongono a quelle moderne nella transizione dalla fase pre-industriale a quella industriale basata sul carbone. In una delle figure una pompa azionata da un mulino a vento rifornisce di acqua un grande serbatoio che serve a riempire la caldaia di una locomotrice a vapore.



7.6 A French mid-eighteenth-century post mill. From Diderot and D'Alembert (1751–1772).



(a)



(b)

7.7 Late nineteenth-century U.S. windmills. (a) Buchanan machine. (b) Halladay windmill pumping water for steam locomotives. From Wolff (1900).



Molino a vento (Monterifrassine, Pontassieve)

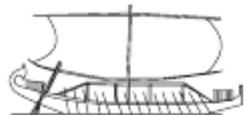


Fino da tempo immemorabile l'uomo ha navigato fiumi, laghi e mari usando imbarcazioni a remi e a vela. Lo sfruttamento dell'energia del vento per il trasporto a vela è una delle tante invenzioni straordinarie che ha superato (anche solo per divertimento) lo sviluppo tecnologico imposto dall'avvento delle fonti fossili. La vela, insieme alla bicicletta rimane uno dei mezzi di trasporto più efficienti in termini di energia spesa per chilometri percorsi.

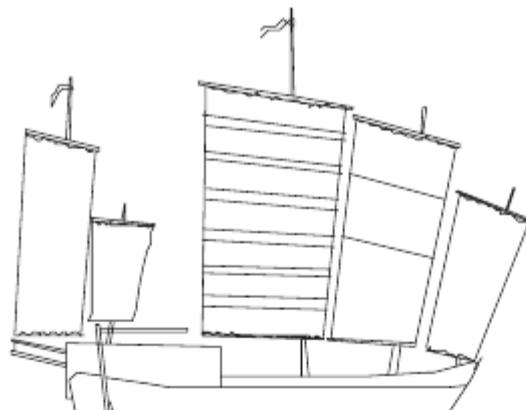
Molto efficienti anche le slitte con traino di diversi animali o per scendere pendii, laddove il manto nevoso si protraeva per diversi mesi all'anno.



Egypt 1600 BCE



China 1400



Santa Maria 1492



Rome 100 CE

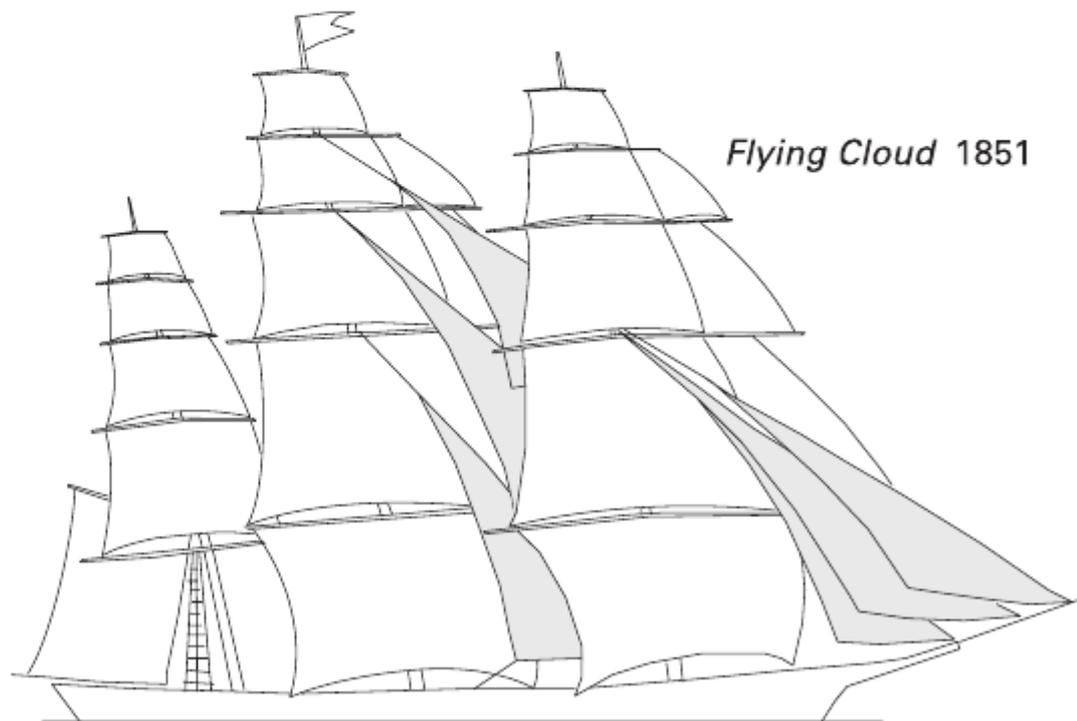


Arabian Sea 800

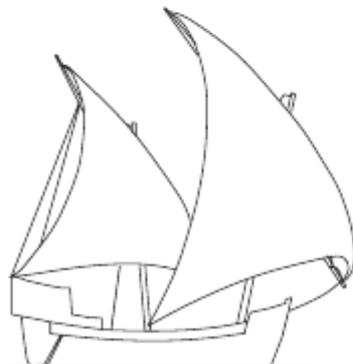


0 10 20 m

Flying Cloud 1851



Venice 1250

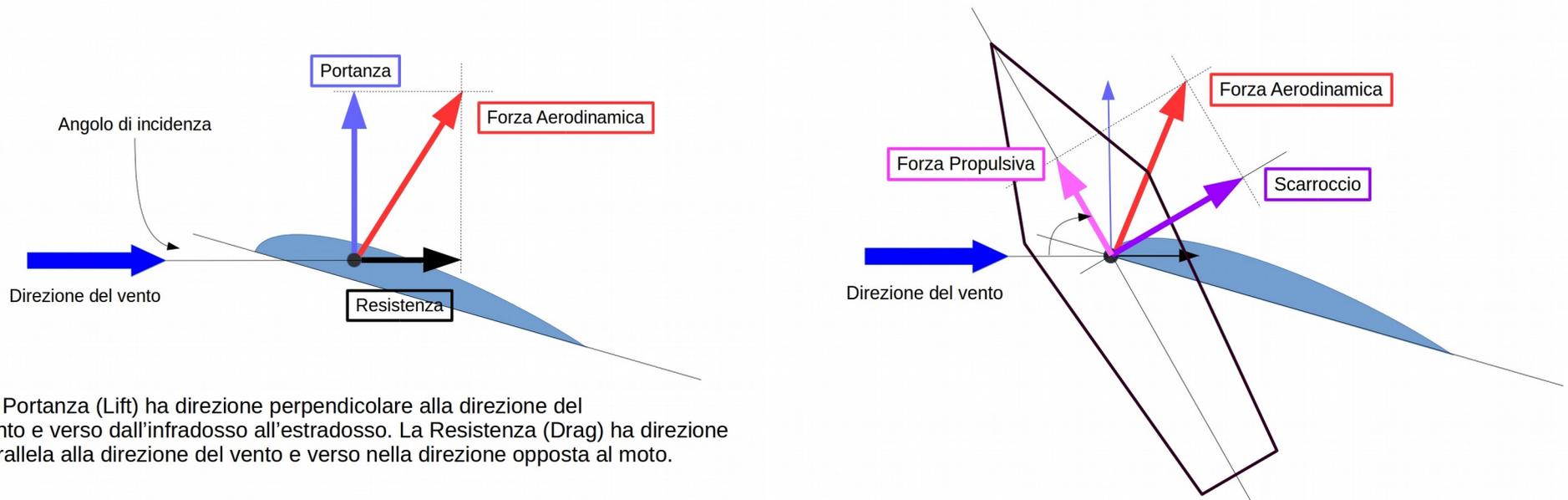


7.12 Evolution of sailing ships, 1600 B.C.E–1851. From Smil (1994).

Propulsione a vela. Nell'estradosso il flusso dell'aria determina una pressione minore. Quindi si sviluppa una forza (pressione = forza/ superficie) ortogonale al piano del profilo, detta Portanza. Lo sviluppo di una depressione all'estradosso è però confermata. In pratica nelle andature montanti e al traverso, la barca è risucchiata più che spinta dalla vela. E in questi casi il flusso è laminare su ambo le facce della vela. Nelle andature portanti, al contrario, la barca è spinta e il flusso è turbolento.

Portanza (Lift). E' la componente ortogonale alla direzione del vento relativo. E' generata dalla differenza di pressione fra infradosso ed estradosso della vela. La forza aerodinamica totale è la composizione vettoriale di Portanza(Lift) e Resistenza (Drag)

Resistenza (Drag). E' la componente parallela alla direzione del vento relativo della forza aerodinamica. In pratica è l'effetto dell'attrito dell'aria sul profilo.





La carbonaia è il mezzo con cui e il luogo dove si faceva la carbonella (charcoal). Fino a pochi decenni fa era ancora possibile riconoscere in alcuni boschi della Toscana i luoghi dove si costruivano a regola d'arte questi mucchi di legna in modo da determinare una combustione parziale della biomassa ottenendo un combustibile con maggiore potere calorico della legna che permise un salto avanti nella lavorazione dei metalli, la metallurgia.

Le carbonaie

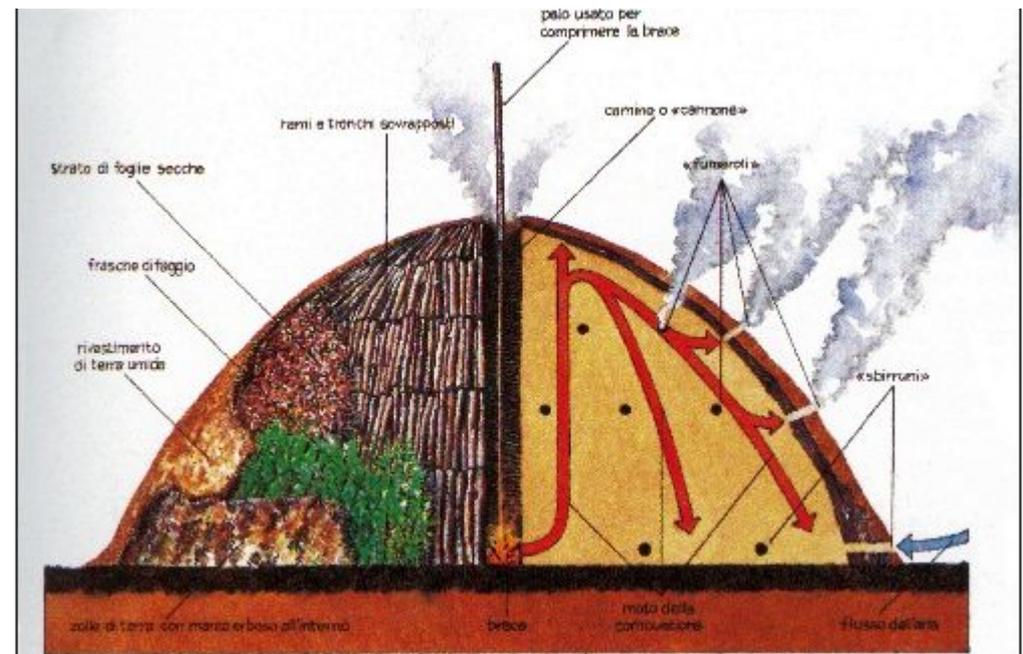
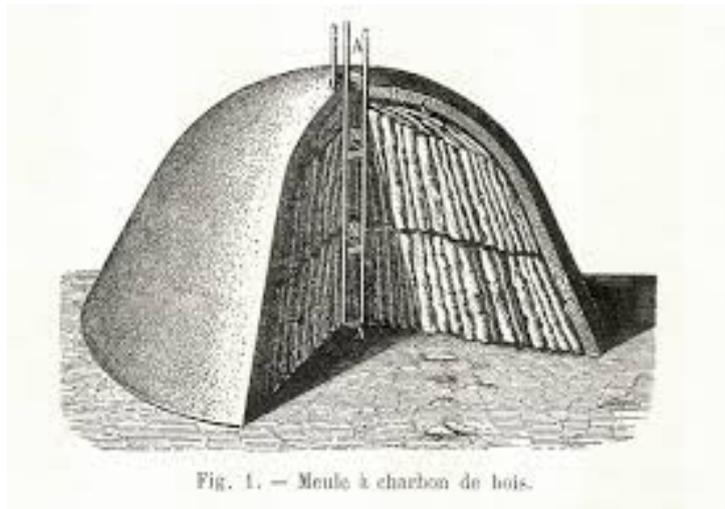


(a)



(b)

7.8 (a) Building a charcoal pile. (b) Charcoal production in mid-eighteenth-century France. From Diderot and D'Alembert (1751–1772).



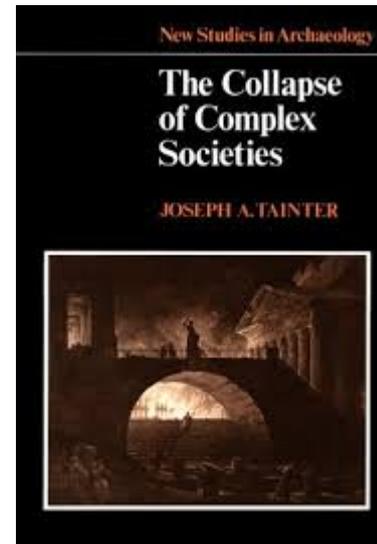
La produzione di carbonella o carbone vegetale, richiede un'arte particolare che permette di condurre la combustione in carenza di ossigeno in modo da non bruciare completamente la catasta trasformandola in CO₂, acqua e cenere . Ma quello che colpisce oggi è la vita che i carbonai conducevano. Lontani da casa per mesi e mesi, in condizioni difficili (si immagini di vivere in una capanna di rami e pietre in mezzo ad un bosco per i 6-7 mesi della stagione autunnale- invernale), con il rischio di contrarre la malaria, con cibo scarso e igiene quasi nulla, lavorando a tagliare e accatastare la legna. Questa epopea è cantata in diverse canzoni popolari e descritta nei racconti dei testimoni del tempo in cui, ancora in era moderna, i prodotti petroliferi non erano disponibili per tutti. Ascoltando ["la ballata del carbonaio"](#) si è riportati in un mondo che, almeno nei paesi come il nostro, non esiste più.

L'uso dell'energia è essenziale per altri settori dell'economia, come le costruzioni e il trasporto. Si pensi che fino all'avvento della macchina a vapore si poteva navigare solo a vela o a remi o con una combinazione delle due e fino all'avvento del motore a combustione interna non esisteva trasporto aereo. La molteplicità delle soluzioni trovate per la navigazione prima dell'età dei combustibili fossili è semplicemente straordinaria in ogni parte del mondo.

Attraverso l'uso di quote crescenti di energia la civiltà umana si espande e diventa sempre più complessa. Storia economica e storia energetica vanno di pari passo e non si comprende l'una senza l'altra. **L'energia non è una risorsa come le altre, è l'unica risorsa che rende disponibili tutte le altre.**

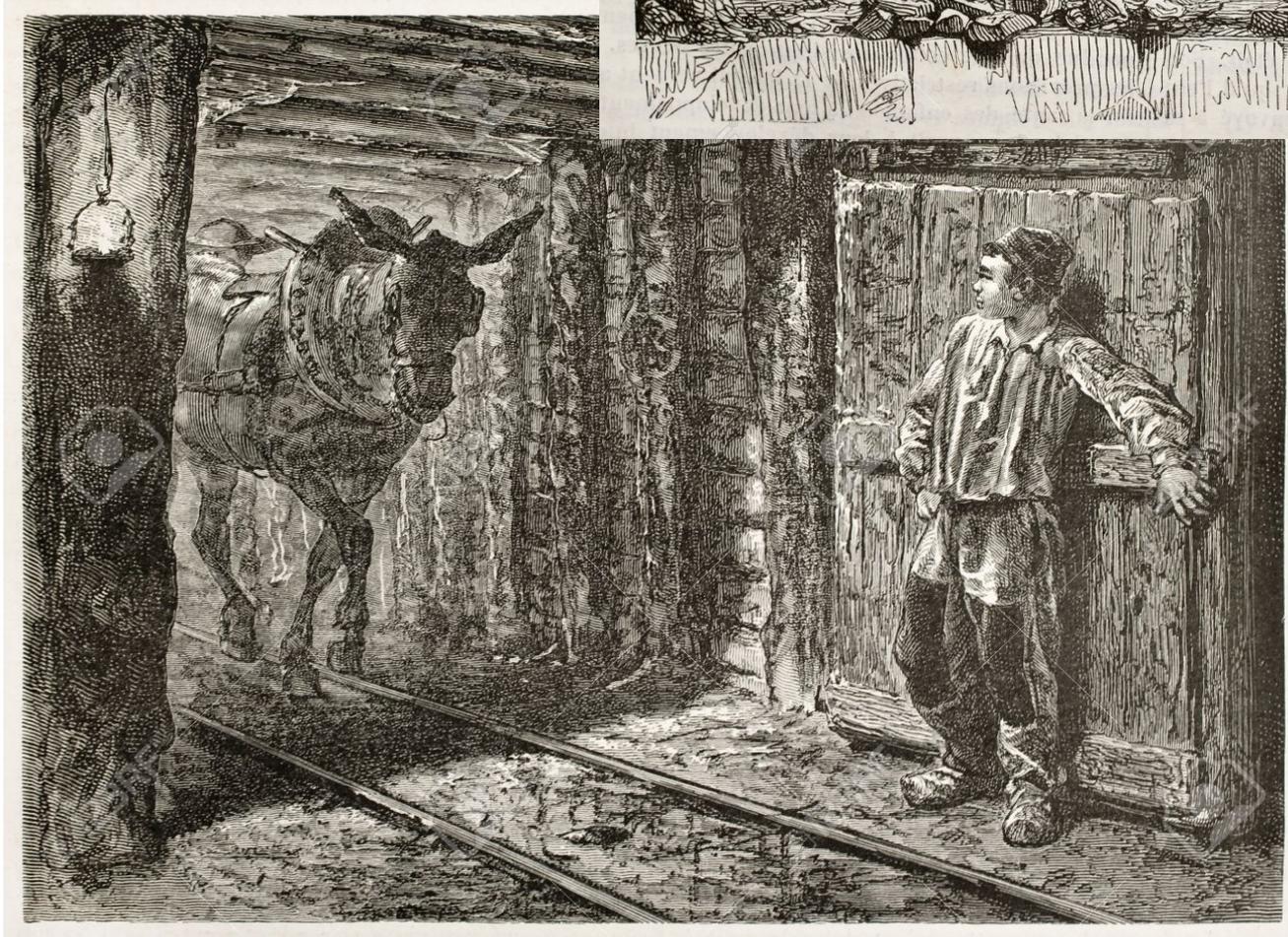
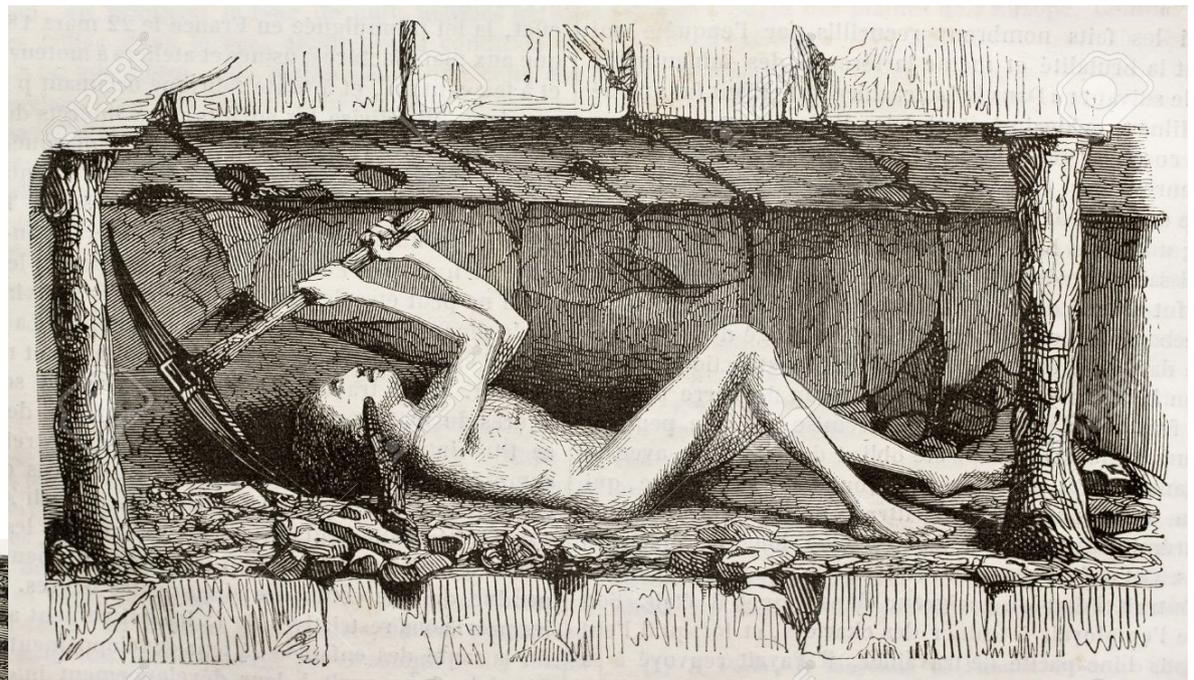
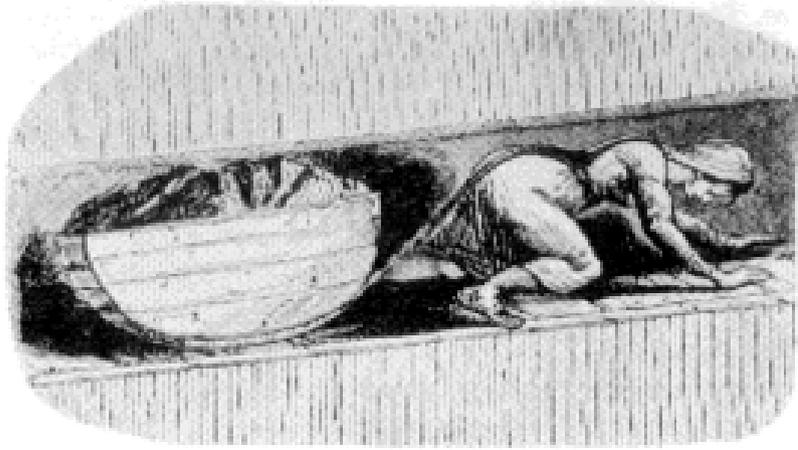
Joseph A. Tainter. *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge. 1988

Power cioè
potenza quella che
si misura in **Watt = Js⁻¹**



Human societies and political organizations, like all living systems, are maintained by a continuous **flow of energy**. From the simplest familial unit to the most complex regional hierarchy, the institutions and patterned interactions that comprise a human society are dependent on energy. At the same time, the mechanisms by which human groups acquire and distribute basic resources are conditioned by, and integrated within, sociopolitical institutions. Energy flow and sociopolitical organization are opposite sides of an equation. Neither can exist, in a human group, without the other, nor can either undergo substantial change without altering both the opposite member and the balance of the equation. Energy flow and sociopolitical organization must evolve in harmony.

Dal XVIII secolo si entra nell'era dei combustibili fossili, prima con il carbone poi con gli idrocarburi. Il XIX secolo è il secolo del carbone, il XX secolo quello del petrolio. Ma la transizione è lenta e all'inizio le vecchie fonti energetiche, il lavoro umano ed animale e le fonti inanimate (vento, correnti idriche e biomassa) continuano a giocare un ruolo fondamentale. Emblematiche della transizione sono le immagini che raffigurano il lavoro delle miniere di carbone e il trasporto del carbone per mezzo di carri tirati da muli, buoi o cavalli. Le vecchie fonti energetiche supportano la transizione verso quelle nuove che le hanno sostituite (per la fortuna di quelli che sarebbero venuti dopo, uomini ed animali, che non hanno più dovuto fare quelle fatiche immani).



La lunga storia del genere Homo fino a Homo sapiens sapiens ha visto dunque una serie di scoperte o invenzioni che hanno determinato, ciascuna, un'estensione del dominio dei flussi e stock di energia presenti sul pianeta e imposto cambiamenti sostanziali nell'organizzazione della società. Mauro Bonaiuti nel suo "La grande trasformazione" definisce queste scoperte (o invenzioni) come prometeiche. La prima è la scoperta del modo di controllare e poi accendere un fuoco. Questa scoperta si perde nella notte dei tempi ed è attribuita in genere a Homo erectus (ma è bene sapere che queste attribuzioni sono sempre soggette a variazioni a causa di possibili nuove scoperte in campo paleo- antropologico) 1,4 Milioni di anni fa.

Successivamente l'uomo scopre la possibilità di allevare cuccioli di animali e selezionarli per particolari funzioni. In questo modo la domesticazione degli animali permette all'uomo di ridurre i rischi della caccia, e da inizio alla pastorizia, con la domesticazione delle piante (10-13mila anni fa) la sinergia fra allevamento animale e agricoltura mettono a disposizione dell'uomo una maggiore quantità di cibo ed energia. La forza animale viene infatti utilizzata per lavorare la terra e per il trasporto di materiali e prodotti. L'ultima grande scoperta prometeica è quella che rende disponibile lo stock di energia fotosintetica fossile costituito dal carbone e poi dal petrolio e dal gas.

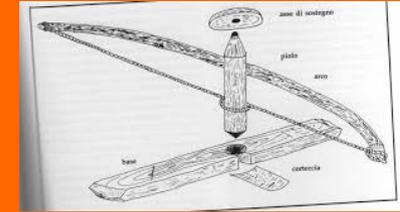
Il controllo del fuoco, attraverso la cottura dei cibi (resi così più digeribili) rende meno importante la struttura della mascella nella masticazione ed apre improvvisamente una strada evolutiva al cervello che diventa l'organo più importante in un processo (che probabilmente è attualmente in una ulteriore fase di cambiamento con la rivoluzione digitale, non si può sapere se nel bene o nel male) che da inizio ad un percorso parallelo all'evoluzione biologica e con tempi molto più rapidi. L'incipit di questa evoluzione culturale è probabilmente il momento in cui, attorno a qualche fuoco, si comincia a raccontare storie, e si sviluppa il linguaggio astratto per rappresentare la realtà.

(Armi, acciaio e malattie. Breve storia del mondo negli ultimi tredicimila anni, Jared Diamond. Einaudi 2014.

La mappa del denaro.)

Scoperte o invenzioni prometeiche.

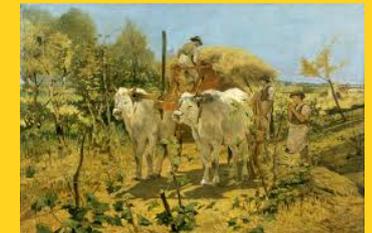
Controllo e accensione del fuoco



Domesticazione di animali (Caccia, allevamento e pastorizia)



Domesticazione di piante (Agricoltura)



Macchina a vapore (Industria)

