



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1895A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Castellana Carlo

MATERIA: Energia, Progresso, Sostenibilità - Prof. Leone

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

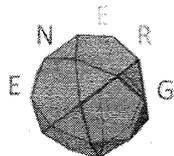
Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**



POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento Energia



LEZIONE 1 – RICHIAMI DI TERMODINAMICA
PIERLUIGI LEONE



Tutti i fenomeni, insistenti che accadono in natura possono essere spiegati da movimenti di energia. Questo vale dalla galassia più grande alla più piccola particella subatomica.

RICHIAMI DI TERMODINAMICA



Energetica e fisica



L'Energetica si è sviluppata e consolidata nel XX secolo. *Il corso tratta di energetica*

E' una disciplina nuova che studia i fenomeni naturali, rendendo evidenti i legami di causa ed effetto tra l'energia e i cambiamenti che si osservano nella materia

L'Energetica è *biologia, geog. astronomico, economia ecc.* multi-disciplinare e olistica allo stesso tempo

Oltre agli aspetti più strettamente fisici e tecnologici, essa studia anche l'influenza dei fenomeni energetici nell'evoluzione della natura e nello sviluppo e nell'organizzazione delle società umane *proprietà di un sistema possono essere spiegate esclusivamente tramite le proprie componenti. (vedi wikipedia).*

La termodinamica studia le leggi che governano l'energia e gli scambi di energia tra i corpi ed è una branca della fisica. L'energetica invece studia cause ed effetto tra energia e natura.

Le forme dell'energia



Essa si manifesta in "forme" diverse, identificate da un aggettivo apposto al sostantivo

Si dice **trasformazione energetica** il fenomeno con cui una quantità di energia in una forma è convertita tutta o in parte passa a un'altra forma

↓

es: l'energia chimica si trasforma in termica attraverso un motore a combustione interna, che si trasforma a sua volta in meccanica e poi alle ruote in cinetica (l'energia cinetica è una forma di energia meccanica).

Le forme dell'energia



Energia cinetica, energia potenziale ed energia interna sono proprietà della materia strettamente associate alla costituzione e alla sua quantità

Invece energia termica o calore, energia meccanica o lavoro, energia radiativa o irraggiamento ed energia trasportata dalla materia, sono i nomi usati per indicare l'energia trasferita tra i corpi quando interagiscono tra di loro

quindi queste energie sono evidenti quando c'è l'interazione tra i corpi.

Energia associata alla materia



L'energia cinetica viene messa in gioco quando un corpo è in movimento ed è tanto più alta quanto maggiore è la sua velocità. (stato del corpo, sua costituzione)
Nei casi più semplici si calcola facendo il prodotto della metà della massa per la velocità al quadrato

L'energia potenziale si prende in considerazione quando ci si trova di fronte a fenomeni nei quali un corpo ne modifica altri senza contatto diretto, ma irradiando nello spazio una influenza che si dice campo.

Energia di scambio



L'energia meccanica (o lavoro) è anch'essa scambiata tra due corpi che si toccano, quando nella zona di contatto uno dei due esercita una forza sull'altro ed entrambi si muovono o si deformano, modificandosi. Il corpo che avanza cede energia, e quello che arretra ne assorbe.

Energia di scambio



L'energia radiativa (o irraggiamento) consiste in onde elettromagnetiche generate da tutti i corpi naturali che si trovano a temperatura superiore a quella dello zero assoluto ed emesse dalla superficie esterna nello spazio che li circonda. Le onde trasportano l'energia propagandosi senza contatto fisico sia attraverso la materia che nel vuoto.

Energia di scambio



L'energia trasportata dalla materia si prende in considerazione se il corpo studiato interagisce con l'esterno cedendo o ricevendo materia, la quale trasporta con sé anche l'energia che contiene.

Nella nostra vita quotidiana, in natura e nelle macchine gli esempi sono tantissimi:

- il cibo che rifornisce tutti gli organismi biologici dell'energia necessaria per vivere
- il fiume che alimentando un lago ne accresce l'energia potenziale
- il vapore che introdotto ad alta pressione e temperatura mette in rotazione una turbina
- i gas di scarico che espulsi dall'ugello di un missile lo mettono in moto
- ...

È l'energia essenziale al perfezionamento di materia.

I principi fondamentali della Termodinamica



POLITECNICO DI TORINO



Al contrario di ciò che accadde per tutti gli altri principi della Fisica, intuiti e formulati da illustri scienziati e accademici, la storia dei principi della termodinamica seguì un percorso molto diverso.

Nell'Inghilterra del XVIII secolo le grandi ricchezze che provenivano dai domini in tutto il mondo, furono una delle principali cause dello sviluppo prorompente, disordinato e tumultuoso, della **rivoluzione industriale**

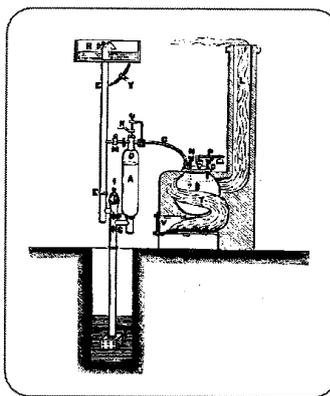
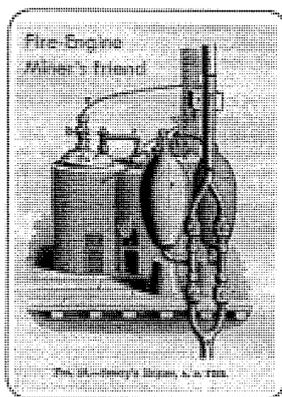
Le tradizionali fonti di energia meccanica – **animali, ruote idrauliche, marea, ed eoliche** – **non erano più sufficienti**

I principi della Termodinamica furono formulati e seguiti dalla costruzione di macchine atte a soddisfare requisiti energetici e scopi commerciali, economici.

I principi fondamentali della Termodinamica



POLITECNICO DI TORINO



Le prime macchine furono delle pompe per estrarre l'acqua dallo scavo di miniere di carbone.

Pompe di Savery (1702) e Desagulier (1712)

Primo principio o legge di conservazione dell'energia



POLITECNICO DI TORINO



Con il **Primo Principio o Legge di Conservazione dell'Energia**, si afferma che nel corso di tutti gli eventi naturali il cambiamento del contenuto energetico di ogni corpo coinvolto è esattamente uguale alla somma di tutte le quantità ricevute diminuite di quelle cedute

In altri termini si dice che il bilancio di energia è sempre naturalmente pareggiato perché l'entità della variazione di quella associata alla materia del corpo considerato è uguale a tutte le entrate meno tutte le uscite

Lo stesso concetto si può esprimere in altri modi, dicendo che non si può generare dal nulla più energia di tutta quella che è disponibile nelle diverse forme

Il contributo di Carnot



queste cose delle osservazioni:
 La temp. necessaria affinché una macchina termica sia in grado di produrre lavoro deve essere superiore a quella della macchina e del fluido per il quale la macchina non è possibile convertire tutto il calore in lavoro -
 il calore non convertito in lavoro va ceduto ad un corpo termico a temp. inferiore rispetto a quello della sorg. termica e della macchina -



Sadi Carnot, 1796 - 1832

- ovvero che la quantità di calore trasformata in lavoro dipende dalla DT tra le due sorgenti. Rendimento:

$$\eta = 1 - \frac{T_{inf}}{T_{sup}}$$

- questa era una legge universale in cui non aveva importanza il tipo di macchina. Infatti, dipende solo dalle temperature esterne al ciclo.

Secondo principio della Termodinamica

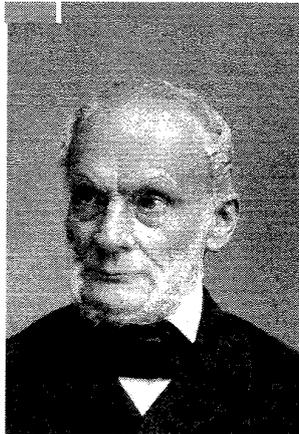


Le intuizioni di Carnot furono completate in modo più rigoroso da due scienziati quasi suoi contemporanei, **Clausius e Boltzmann**. Entrambi studiarono i fenomeni connessi al secondo principio, introducendo per via teorica una nuova proprietà dei corpi materiali, l'**entropia**

L'entropia, al contrario di altre proprietà dei corpi come il volume, la massa, l'estensione, non può essere percepita dai nostri sensi. L'unico modo di conoscerne il valore numerico è di calcolarla.

L'entropia è negativa se il processo non è spontaneo?
 L'entropia aumenta sempre -
 per sistemi ideali l'entropia è nulla -

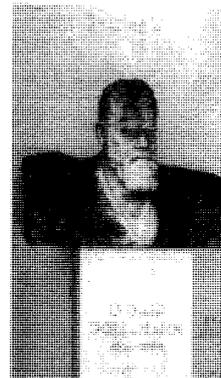
Il contributo di Clausius e Boltzmann



Rudolf Clausius 1822 - 1888



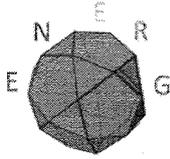
Ludwig Boltzmann 1844 - 1906





**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento Energia



LEZIONE 2 – UNITÀ DI MISURA PIERLUIGI LEONE

Energia, Progresso e Sostenibilità

A.A. 2015-2016

UNITÀ DI MISURA

Energia, Progresso e Sostenibilità

A.A. 2015-2016

Unità di Misura



Da sempre gli uomini per dare **significato alle quantità di materia**, ad esempio per confrontarle reciprocamente, gli hanno associato numeri che ne rappresentano la **misura**

Questa importante conquista culturale, con lo sviluppo delle scienze e del pensiero speculativo, si è rapidamente estesa dai commerci alle applicazioni scientifiche e tecnologiche

Così sono state misurate non solo le grandezze tangibili dai sensi: peso, altezza, volume, estensione, ma anche tante altre proprietà dal significato più sottile e spesso immateriali

L'esecuzione di una **misura** dipende dal **metodo** che si utilizza e il risultato numerico dalle **unità** usate

Forza, energia, potenza, pressione



[X] → indica l'unità della grandezza X

Grandezze fondamentali:

Massa, m ↔ chilogrammi, kg Lunghezza, l ↔ metri, m

Tempo, t ↔ secondi, s Carica, q ↔ coulombs, C

Velocità di un corpo

[velocità] = [Lunghezza][Tempo⁻¹] = l/t = metro/secondo

Seconda legge di Newton

[Forza] = [Massa][Accelerazione] = ml/t² = kg m/s²

1 kg m/s² = 1 Newton, N

La forza di gravità su di una persona: $F = m \cdot g = 80 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 784 \text{ N}$

Forza, energia, potenza, pressione



Energia Cinetica

[Energia] = [Massa][Velocità²] = ml²/t² = kg m²/s²

1 kg m²/s² = 1 Joule, J

L'energia cinetica di una persona che cammina alla velocità di 5 km/h:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 80 \text{ kg} \cdot \left(5 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 1000 \frac{\text{m}}{\text{km}} \cdot \frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}} \right)^2 = 77.16 \text{ J}$$

Potenza meccanica

[Potenza] = [Energia][Tempo⁻¹] = (kg m²/s²)/t = kg m²/s³

1 kg m²/s³ = 1 Watt, W

La potenza meccanica di una persona che sale le scale a 0.5 metri/secondo:

$$W = m \cdot g \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} = 80 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 392 \text{ W} \quad \text{J/s} = \text{W}$$

La potenza legata alle attività metaboliche basali (riposo) è di 80 W. È detta tasso metabolico basale.

Forza, energia, potenza, pressione



Pressione

[Pressione] = [Forza][Area⁻¹] = (ml/t²)(1/l²) = kg m⁻¹s⁻²

1 kg m⁻¹s⁻² = 1 Pascal, Pa

La pressione che esercita una persona in piedi sul pavimento

$$p = \frac{F}{A} = \frac{784 \text{ N}}{0.023 \text{ m}^2} = 34 \text{ 087 Pa}$$

Unità di misura dell'energia



Unità globali

Unità	Equivalenza nel SI	Consumo mondiale del 2013
Exajoules (EJ)	$= 10^{18} \text{ J}$	535 EJ
Quadrilioni di BTU (QUAD)	$\approx 1.055 \cdot 10^{18} \text{ J}$	507 quad.
Tiriloni di kilowattora	$= 3.6 \cdot 10^{12} \text{ J}$	149 TkWh
Terawattora (TWh)	$= 31.54 \cdot 10^{12} \text{ J}$	17 TWh

Consumo mondiale di energia primaria (2013) → 535 EJ
 Consumo mondiale di petrolio (2013) → 176 EJ
 Consumo europeo di energia primaria (2013) → 71 EJ
 Consumo europeo di petrolio (2013) → 24 EJ
 Consumo italiano di energia primaria (2013) → 7 EJ
 Consumo italiano di petrolio (2013) → 3 EJ

Fonte BP 2014
 Fonte BP 2014
 Fonte Eurostat 2014
 Fonte Eurostat 2014
 Fonte Eurostat 2014
 Fonte Eurostat 2014

Abitanti: Italia 50 milioni, Europa 500 milioni, Mondo 7 miliardi di abitanti

Unità di misura dell'energia



Unità di interesse industriale

Unità	Equivalenza nel SI	Significato fisico approssimato
1 kWh	$= 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$	
1 Milione di BTU	$\approx 1.055 \cdot 10^9 \text{ J}$	
1 barile di petrolio	$= 6.12 \cdot 10^9 \text{ J}$	Energia di circa 159 litri di petrolio
1 tonnellata di petrolio - TEP/TOE	$= 4.2 \cdot 10^{10} \text{ J}$	Energia contenuta in 1000 kg di petrolio
1 tonnellata di carbone	$= 2.9 \cdot 10^{10} \text{ J}$	Energia contenuta in 1000 kg di carbone

1 kWh = 3,6 MJ

1 kWh = energia prodotta da una macchina che eroga 1 kW

Unità di misura dell'energia



Unità 'a misura d'uomo'

Unità	Equivalenza nel SI	Significato fisico approssimato
1 caloria	$= 4.1868 \text{ J}$	Energia necessaria per innalzare la temperatura di un grammo di acqua di 1 °C
1 foot-pound	$\approx 1.356 \text{ J}$	Energia necessaria per innalzare di un piede una massa di una libra nel campo gravitazionale
1 BTU	$= 1.055 \cdot 10^3 \text{ J}$	Energia necessaria per innalzare la temperatura di una libra di acqua da 39°F a 40°F

1 piede = 12 pollici = 30 cm
 = 12 · 2,5 cm

Unità di misura della CO₂

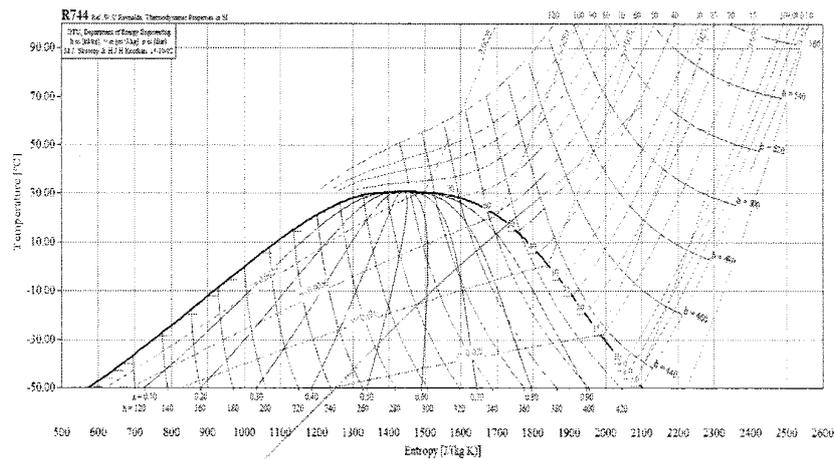


Nell'ambito del corso, si discuterà in modo approfondito di alcune questioni legate al cambiamento climatico, le sue origini, i legami con l'utilizzo di energia e le emissioni di CO₂.

Alcune proprietà dell'anidride carbonica

- Massa molare: 44 g/mol $C = 12 \text{ g/mol}$, $O_2 = 32 \text{ g/mol}$
- Sublima (passaggio diretto da fase solida a gassosa) a -70°C in condizioni di pressione atmosferica
- Non è possibile portarla allo stato liquido per pressioni inferiori a 5 atm. A pressioni elevate, la temperatura di fusione è di circa -57°C

Unità di misura della CO₂



Unità di misura della CO₂



Le diverse unità di misura di interesse dipendono dal tipo di contesto a cui si riferisce:

- Concentrazione in atmosfera: in parti per milione (ppm)
- Produzione e trasferimento attraverso attività antropiche al ciclo globale del carbonio: in milioni di metri cubi (MMT) o milioni di tonnellate (MtCO₂)
- Emissioni nei processi energetici: kilogrammi di CO₂ per Joule di energia primaria (kg/J)

Alcuni numeri sulla concentrazione di CO₂

Pre-industriale: 280 ± 10 ppm

Concentrazione attuale: ≈ 395.17 ppm (29 Settembre 2014, Mauna Loa)

Concentrazione attuale: ≈ 397.64 ppm (12 Ottobre 2015, Mauna Loa)

aumento ogni anno di 2ppm

Altre unità di misura di interesse per
l'energetica: forza



Unità di misura	N	dina	kg _f	lb _f
N	1	10 ⁵	0.102	0.225
dina	10 ⁻⁵	1	1.02 · 10 ⁻⁶	2.25 · 10 ⁻⁶
kg _f	9.80665	9.81 · 10 ⁵	1	2.205
lb _f	4.44	4.44 · 10 ⁵	0.4536	1

Altre unità di misura di interesse per
l'energetica: pressione



Unità di misura	Pa	bar	atm	torr	at	kg _f /m ²	psi
Pa	1	10 ⁻⁵	9.87 · 10 ⁻⁶	7.5 · 10 ⁻³	1.02 · 10 ⁻⁵	0.102	1.45 · 10 ⁻⁴
bar	10 ⁵	1	0.987	7.5 · 10 ²	1.02	102 · 10 ²	14.5
atm	101325	1.01325	1	760	1.033	1.033 · 10 ⁴	14.696
torr	133.322	1.33 · 10 ⁻³	1.31 · 10 ⁻³	1	1.359 · 10 ⁻³	13.595	1.93 · 10 ⁻²
at	98066.5	0.980665	0.968	735.5	1	10 ⁴	14.22
kg _f /m ²	9.80665	9.81 · 10 ⁻⁵	9.68 · 10 ⁻⁵	7.355 · 10 ⁻³	10 ⁻⁴	1	1.42 · 10 ⁻³
psi	6894.8	6.89 · 10 ⁻²	6.8 · 10 ⁻²	51.7	7.03 · 10 ⁻²	703.07	1

Altre unità di misura di interesse per
l'energetica: energia

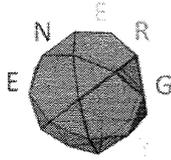


Unità di misura	J	kg _f m	kWh	CVh	kcal	lb _f ft	Btu
J	1	0.102	2.78 · 10 ⁻⁷	3.78 · 10 ⁻⁷	0.239 · 10 ⁻³	0.739	0.948 · 10 ⁻³
kg _f m	9.80665	1	2.72 · 10 ⁻⁶	3.704 · 10 ⁻⁶	0.239 · 10 ⁻³	7.23	9.3 · 10 ⁻³
kWh	3.6 · 10 ⁶	3.6 · 10 ⁵	1	1.3596	859.845	2.66 · 10 ⁶	3.41 · 10 ³
CVh	2.648 · 10 ⁶	2.7 · 10 ⁵	0.735	1	632.4	1.953 · 10 ⁶	2509.6
kcal	4186.8	426.9	1.163 · 10 ⁻³	1.58 · 10 ⁻³	1	3.09 · 10 ³	3.97
lb _f ft	1.36	0.138	3.77 · 10 ⁻⁷	5.12 · 10 ⁻⁷	3.24 · 10 ⁻⁴	1	1.29 · 10 ⁻³
Btu	1055.06	107.6	2.93 · 10 ⁻⁴	3.98 · 10 ⁻⁴	0.252	778.169	1



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento Energia



**LEZIONE 3 – ENERGIA MOTORE DELLA
NATURA E DELLE SOCIETÀ**
PIERLUIGI LEONE

Energia, Progresso e Sostenibilità

A.A. 2015-2016

**ENERGIA MOTORE DELLA NATURA E DELLA
SOCIETÀ**

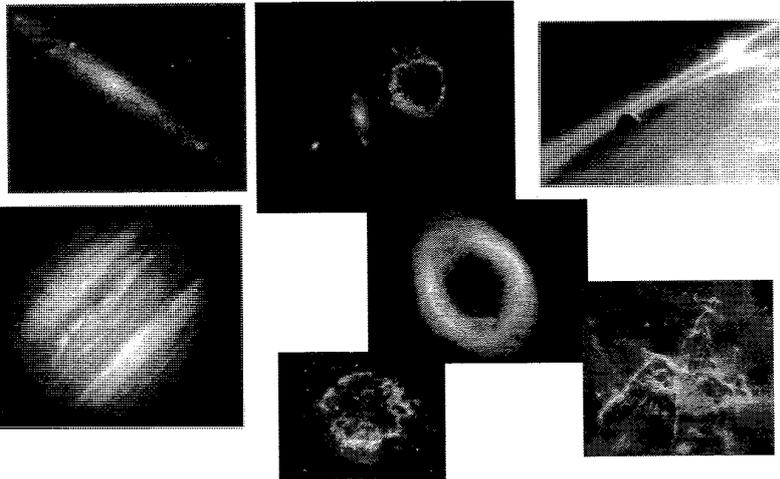
Energia, Progresso e Sostenibilità

A.A. 2015-2016

Corpi celesti

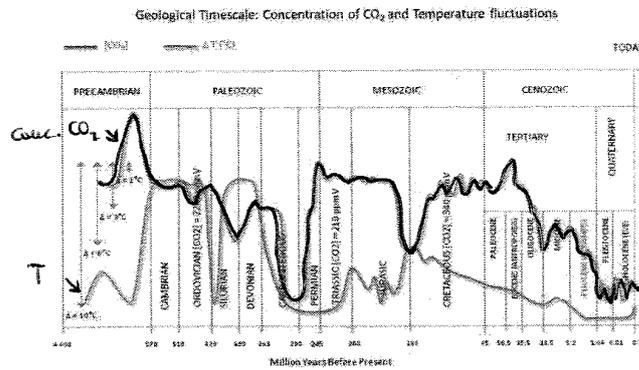


**POLITECNICO
DI TORINO**



*Ogni cosa nell'universo
è legata a particolari
flussi di energia.*

Il clima della terra



1- Analysis of the Temperature Oscillations in Geological Eras by Dr. K. R. Sirois © 2002. 2- Buddiman, W. S. 2001. Earth's Climate: Past and Future. W. H. Freeman & Sons. New York. NY. 3- Mark Pagani et al. Marked Decline in Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations During the Paleozoic. Science. Vol. 309. No. 5734. pp. 600-603. 22 July 2005. Conclusions and Interpretation by Mark Pagani ©2005, 2007. Last modified on 07 July 2009. URL: <http://www.earth.gov>

- se si traccia la parte sinistra la variazione di e' è stata intorno ai 5°C rispetto ai valori attuali
 - Dunque l'asse si è sviluppato in un range di T ben definito.

I drivers energetici



tutti i cambiamenti avvenuti sulla Terra sono dovuti a tre vettori principali energetici:

l'effetto più importante →
 è la determinazione
 alle condizioni climatiche
 sulla Terra

Radiazione solare

Energia geotermica: energia proveniente dal centro della Terra attraverso di fenomeni, vulcani, geysir ecc.

Campo gravitazionale: scambia con corpi celesti (formazione luna, estensione dinosauri ecc.).

I drivers energetici



tre drivers energetici fondamentali con i tre diversi fenomeni:

Bilancio energetico radiativo

Tettonica delle placche

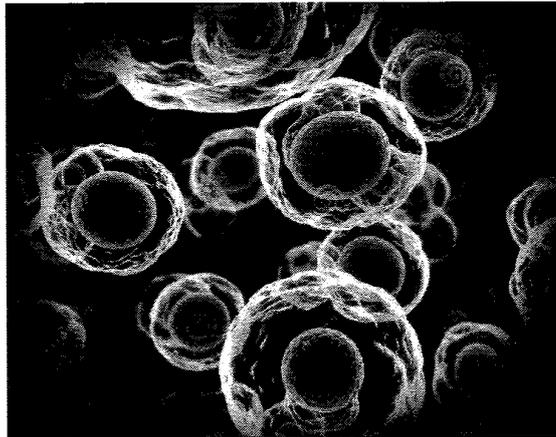
Collisioni extra-terrestri

Paleoclima

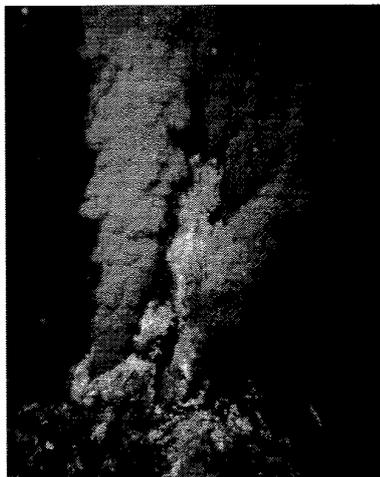


Il cambiamento del bilancio termico radiativo modificò il clima terrestre

La comparsa della vita



Sorgenti idrotermali



Energia chimica

Energia termica

Gli stadi della vita



Metabolismo

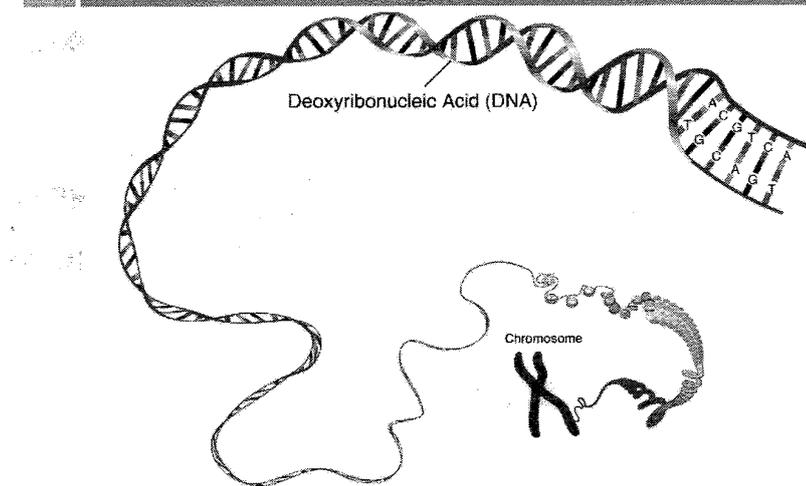
Riproduzione

Adattamento

Invecchiamento

Morte

Evoluzione



L'aria del proterozoico

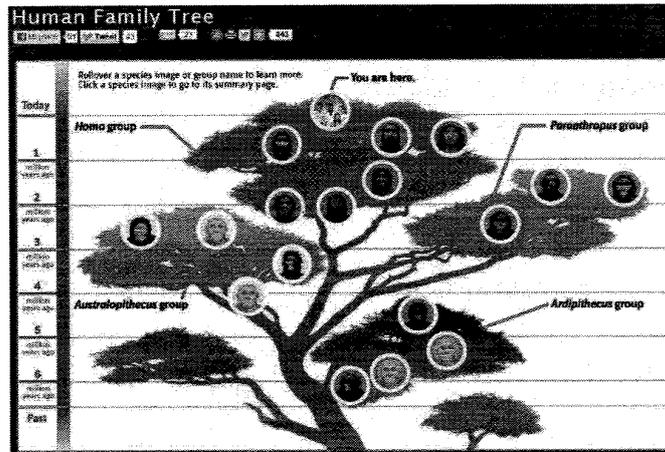


Metabolismo ad elevato tasso energetico basato su respirazione aerobica

L'albero umano



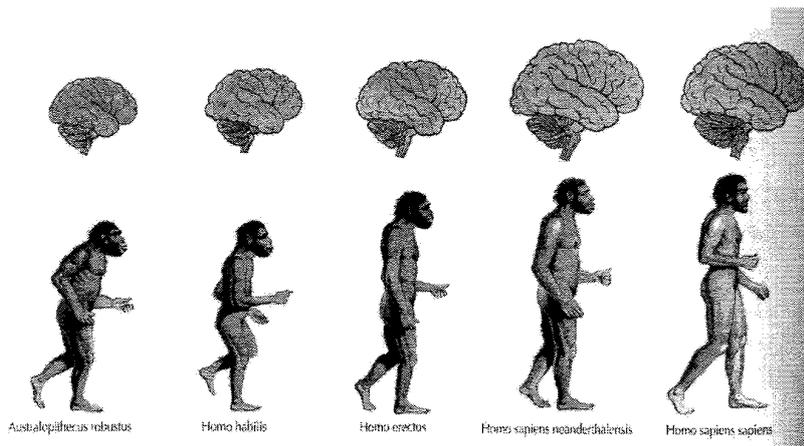
POLITECNICO
DI TORINO



Evoluzione



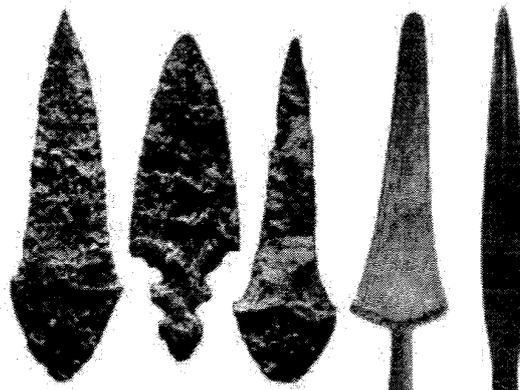
POLITECNICO
DI TORINO



La pianificazione dell'HOMO HABILIS



POLITECNICO
DI TORINO

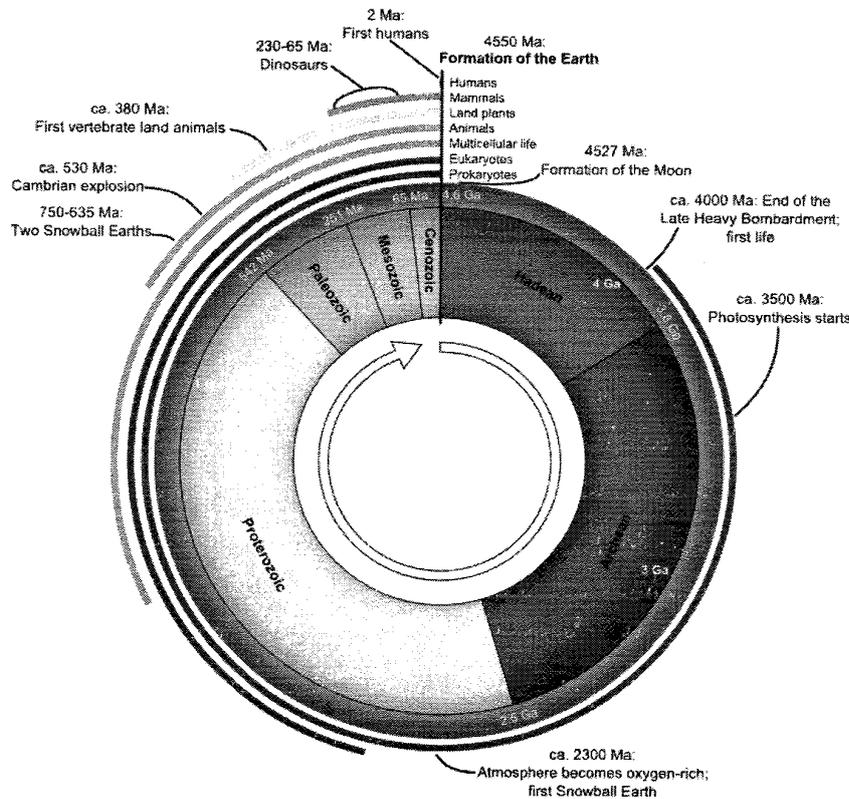


circa 17,6 miliardi di anni fa si fu lo scoppio dell'universo e perfino da una suddivisione di diventa estrema e volume ridotto cominciò ad espandersi. Questo è il big bang. Nei successivi 3 miliardi di anni l'universo si è modificato e gli scienziati hanno ricostruito le sue fasi. In questi 3 miliardi si sono formati tutti gli elementi della tavola periodica, prima quelli più semplici (idrogeno, elio) e dopo poi quelli più pesanti. Dunque inizialmente si sono formate dallo scoppio alle stelle formate da idrogeno ed elio. Nel tempo queste stelle sono colpite e si sono formati gli elementi più pesanti. Le nubi di materiale gassoso presenti (oltre alle stelle) sono condensate e si è formato il sistema solare circa 5 miliardi di anni fa. A quest'epoca erano già presenti tutti gli elementi chimici della tavola periodica - gli elementi più leggeri sono sfuggiti alla gravità del sistema solare (es. elio). Dunque 5 miliardi di anni fa si è formato la Terra e il sistema solare.

La storia della Terra e dei suoi abitanti



POLITECNICO DI TORINO



Il grafico racchiude la storia del pianeta Terra. La Terra si formò circa 4550 milioni di anni fa. Si può dividere in 4 ere (periodi geologici): era arcaica (da 4550 milioni a 3800 milioni di anni fa), era archeica (da 3800 mil e 2500 mil), era proterozoica (da 2500 mil e 541 mil di anni fa) e l'era fanerozoica (a "vita così come appare"). L'anno compiere 7 milioni di anni fa. -
l'era arcaica prende il nome da Ade (segno degli inferi). La Terra era un seraglio infernale. Questo era conseguenza del fatto che le nubi di gas superiore caldi erano appena condensate e temperatura era alta e la superficie era secca solida. L'atmosfera era formata da CO₂, H₂O e acido solfidrico opere ad altissima temperatura. Si verificò un evento che portò alla trasferimento della Terra e regione di ipotermia superficiale: si formò la luna.

nell'era archeica si sono formati i grandi ceti macchina planetari
carbonio, ossigeno, azoto, zolfo, fosforo e calcio). I cianobatteri e i purple
sulfur bacteria svolgono la funzione degli odierni cloroplasti e mitoccondri
contribuendo al ciclo del carbonio fissando (nella biosfera)
i cianobatteri contribuivano al ciclo dell'azoto fissandolo.

I plancton emettono zolfo e contribuisce al ciclo dello zolfo.
I batteri metanoigeni emettono metano.

Oggi la struttura elementare di tutti gli organismi viventi è la cellula
a quale contiene il DNA che contiene a sua volta tutte le informazioni
metaboliche, riproduttive, adattative, di invecchiamento e morte dell'organ-
ismo e queste si trasmettono alle generazioni successive. Oggi si hanno

organismi multicellulari eucarioti (con presenza di nucleo) con metabolismo ad
alto tasso energetico basato su respirazione aerobica. I primi eucarioti
con respirazione aerobica si sono formati a seguito dell'annichimento
dell'atmosfera di O₂ nell'era proterozoica.

I fenomeni organismi sempre più complessi nel tempo fino ai multicellulari
nell'era eucariotica proterozoica la vita esplose.

L'atmosfera moderna come cartello maltempico. Oggi appare evidente come la
vita abbia contribuito all'atmosfera stessa - i processi fotosintetici hanno
contribuito all'atmosfera arricchendo O₂ e tutto questo è stato possibile
grazie all'azione dei cianobatteri.

È vero anche il contrario, cioè che i cambiamenti geologici hanno
modificato la vita. Si pensi in questo senso alle 5 grandi estinzioni
del passato tempo:

- est. dei m.s. eucarioti a seguito della fotosintesi
- est. dei dinosauri (ultimo)

Questa estinzione si è avuta per fenomeni di impatto corpi, vulcani, glaciazioni,
cambiamento atmosferico ecc.

L'evento camperu una 6 milioni di anni fa da una costola delle scimmie
e sviluppo della Rift valley in Africa consentì lo sviluppo e dell'uomo
sicché lo costrinse a sviluppare caratteristiche nuove. Si formò con
gli ominidi.

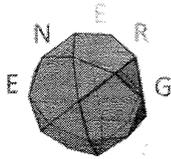
L'uomo habilis sempre più: una 2 milioni di anni fa. Si nutre di
carne e vegetali raccogliendo e cacciando. Era dunque un omnivoro.
Una dieta alquanto completa e ricca di proteine consentì un
rapido sviluppo cerebrale infatti si costituiva epette che portava con sé
che gli permettevano maggiore efficienza nel procurarsi il cibo, molte
voci coperte magnum di risorse del futuro ed era in grado di
redazione delle esperienze visite in luoghi nuovi.

Quindi l'uomo sviluppo un'intelligenza dapprima solo ecologica necessaria a



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento Energia



**LEZIONE 4 – ENERGETICA DEL PIANETA TERRA
– PARTE I –**

PIERLUIGI LEONE

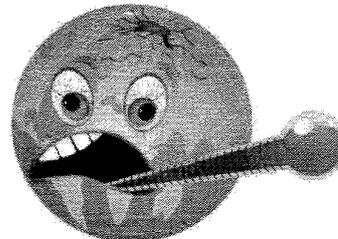


*Con questa lezione ripercorriamo alla prima domanda con cui si è conclusa la lezione 3: quali sono i maggiori processi energetici che determinano le condizioni della biosfera?
Vediamo come il bilancio energetico del pianeta influenzi le sue temperature*

ENERGETICA DEL PIANETA TERRA – PARTE I



La terra ha la febbre?



Video: 'Earth has a fever' (NASA, 2014)

<https://www.youtube.com/watch?v=nAuv1R34BHA>

il prossimo secolo (2100). Lo comporta lo scioglimento ghiacciai, estinzione di animali, innalzamento dei mari, aumento di fenomeni estremi (raguini ecc.).

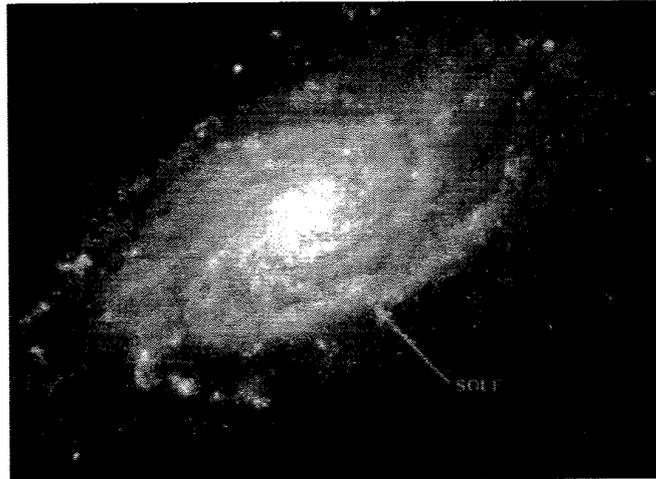
Il Sole e la Via Lattea



POLITECNICO DI TORINO



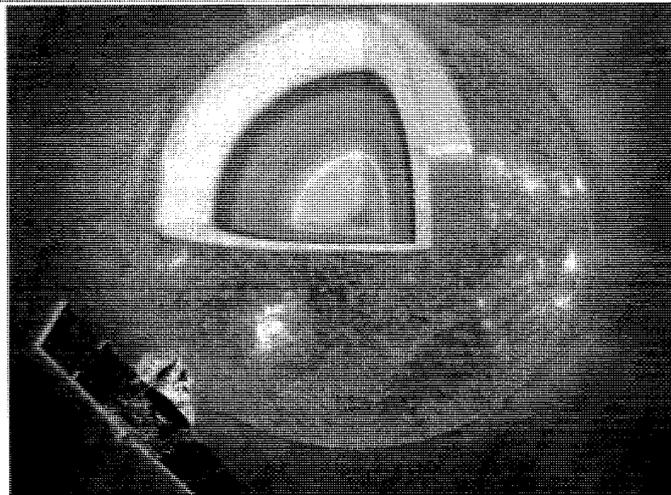
La distanza del Sole dal centro della nostra galassia (galassia della viale sperbiana il forte in salone) è di circa 20000 anni luce



Il Sole: stratigrafia



POLITECNICO DI TORINO



Il Sole: caratteristiche fisiche



POLITECNICO DI TORINO



Caratteristiche fisiche	
○ Massa (di 5 OM più grande di quella della Terra)	1.991 x 10 ³⁰ kg
○ Raggio del disco visibile (quello della Terra 6.5 Mm)	696.97 Mm
○ Densità media	1.41 t/m ³
○ Emette una radiazione costante di corpo nero che corrisponde ad una temperatura superficiale di circa ~5800 K	

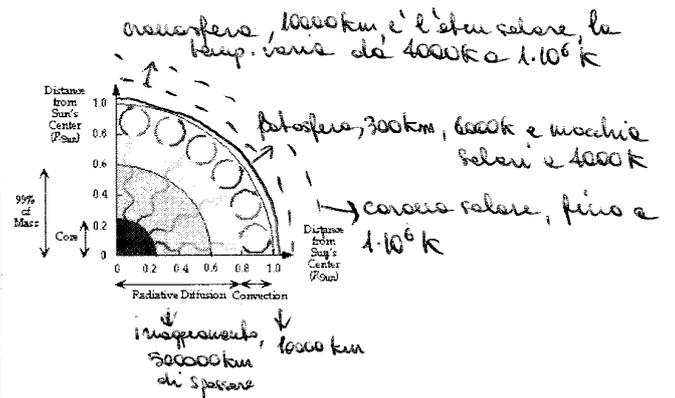
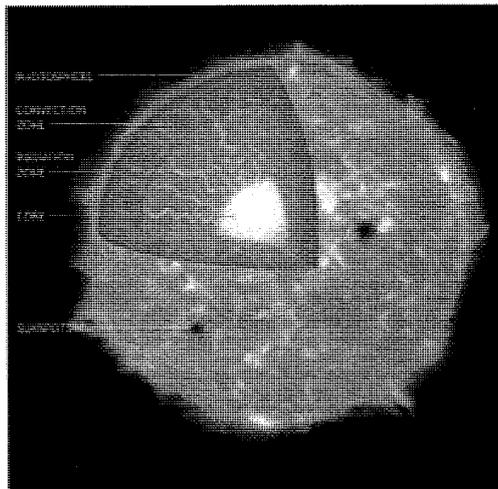
696000 km

Il Sole: la dinamica delle trasformazioni



○ Velocità di reazione	9.2×10^{37} reaz/sec
○ Energia di ogni reazione	4.2×10^{-27} J/reaz
○ Consumo di H ₂ nel nucleo	4.4 t/s
○ Radiazione emessa:	
• Flusso specifico teorico (Stefan-Boltzmann $\sigma \cdot T^4$)	63.4 MW/m ²
• Flusso specifico misurato	63.2 MW/m ²
• Flusso totale ($4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T^4$)	3.85×10^{26} W
○ Temperatura superficiale	~5'800 K
○ Temperatura nel nucleo	~10 ⁷ K
○ Diminuzione del flusso in 5 Ga	~30%

Il Sole: la dinamica delle trasformazioni



Il Sole: lo spettro della radiazione



L'esperimento di Newton e lo spettro luminoso

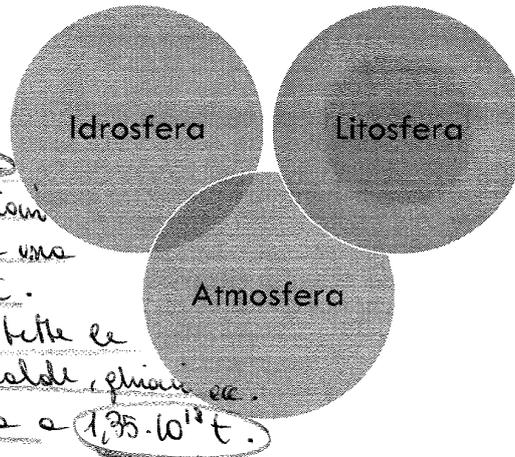
Il pianeta terra



La Terra è formata da atmosfera, litosfera e idrosfera.

La litosfera causa la vita sulla terra assorbendo le radiazioni solari e causa una temperatura media di 15°C.

L'idrosfera è l'unione di tutte le acque: mari, fiumi, laghi, falde, ghiacci ecc. L'acqua sulla Terra ammonta a $1,35 \cdot 10^{21}$ t.



La litosfera è la parte esterna rigida del pianeta. Comprende la crosta terrestre e la parte esterna del mantello fino alla astenosfera.

Il pianeta terra



L'atmosfera della Terra senza vita biologica sarebbe simile a quelle di Venere o di Marte

	Marte	Venere	Terra
CO ₂	95%	96%	0.032%
N ₂	2.6%	3.4%	78%
H ₂ O	-	<0.01%	0.13%
O ₂	0.12%	<20 ppm	21%
O ₃	0.03 ppm	-	0.04 ppm
p	600-900 Pa	9 000 000 Pa	101 325 Pa
T	133 K	~292 K	228-273 K

Interazione Sole - Terra



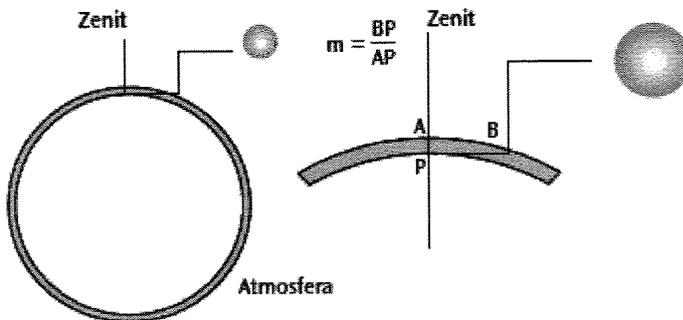
Non tutto sulla Terra è dovuto alla radiazione solare:

- non mantiene il pianeta nel suo **percorso orbitale**;
- non governa la **tettonica a zolle**, il processo che rimodella continuamente gli oceani e continenti;
- non attiva il **metabolismo dei batteri chemio-autotrofici**, in particolare quelli che vivono nel buio più totale nella parte inferiore del profondo oceano vicino agli sfiati caldi, dove ossidano H₂S e sostengono molti organismi più grandi (molluschi, granchi, vermi ...)

Interazioni terra-sole: massa d'aria



POLITECNICO DI TORINO



Interazioni terra-sole: l'albedo a

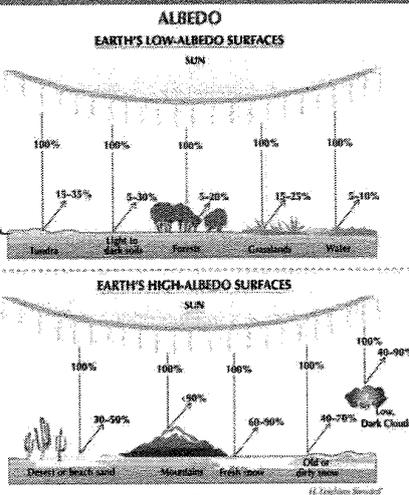


POLITECNICO DI TORINO



Albedo: quota di radiazione incidente che viene riflessa.

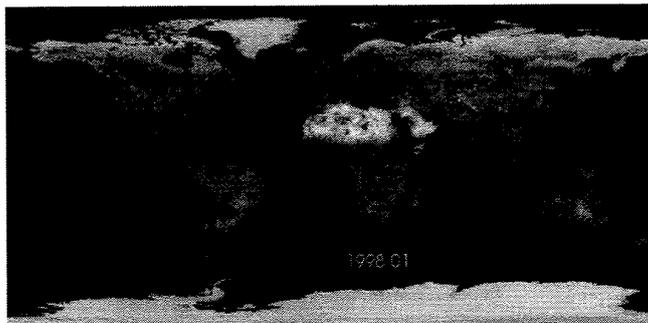
circa il 30% dell'energia/radiazione incidente viene riflessa.



Interazioni terra-sole: l'albedo a



POLITECNICO DI TORINO



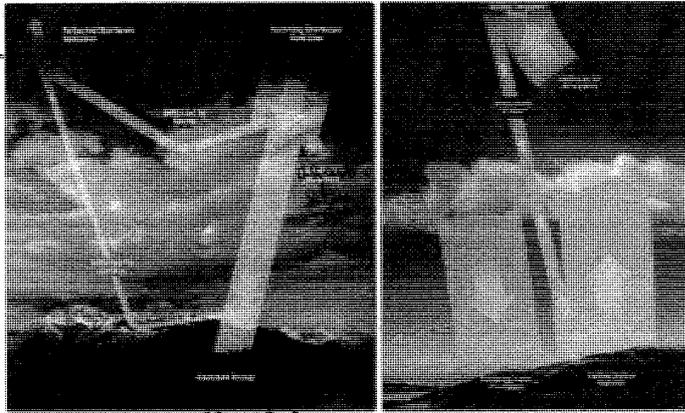
"Data (or Image) obtained from the ESA GlobAlbedo project downloaded from <http://www.GlobAlbedo.org>"

ghiacciai riflettono quasi il 90% dell'energia incidente, la neve a seconda che sia spessa o meno ha il 60-90% (più) e ha il 40-70% (spessa) l'impievemento e lo scioglimento dei ghiacci diminuiscono l'albedo e dunque la Terra si riscalda sempre più.

il bilancio radiativo sole-Terra non si può prescindere dall'atmosfera - Altrimenti sulla Terra non si avrebbe l'effetto di 288K, ma di 255K (-18°C).

impone le proprietà ottiche dell'atmosfera sono ipersensibili.

Bilancio energetico planetario



Radiaz. incidente Radiaz. rimessa

parte dell'energia viene assorbita dall'atmosfera e parte dal suolo. Parte dell'energia viene riflessa dall'atmosfera e parte dal suolo.

Parte dell'energia viene assorbita sia dal suolo che dall'atmosfera. Di quest'energia emessa dal suolo una parte passa dalla finestra atmosferica una parte viene assorbita dall'atmosfera. Questa ultima si perde viene rimesse verso l'alto e si perde verso il basso (suolo). Si verifica un palleggio tra suolo e atmosfera.

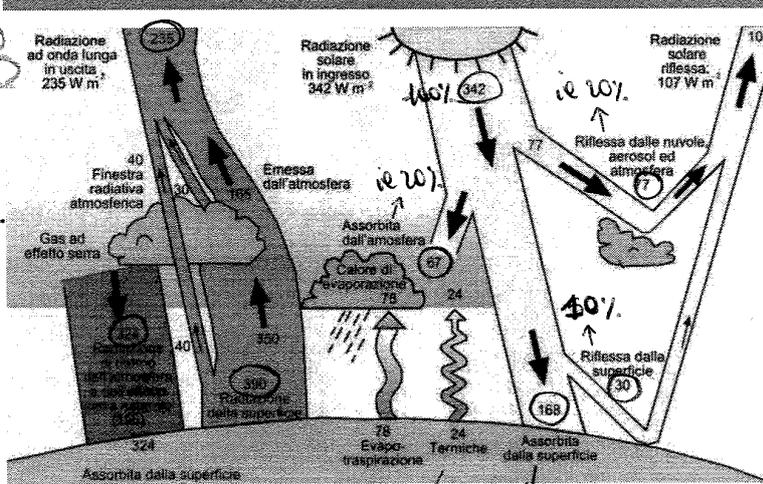
Bilancio energetico planetario



il bilancio di energia è rispettato. L'energia che entra è uguale a quella che esce (235 + 107).

il bilancio di energia è rispettato. Anche che l'effetto serra tende ad accumulare energia in suolo e atmosfera e così!

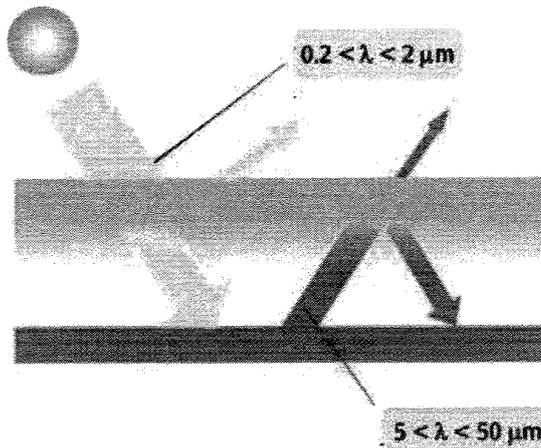
inoltre l'effetto serra tende ad accumulare energia, cioè il suolo lo riscalda e l'atmosfera si riscalda. In calore, si riscalda la Terra ed il bilancio viene rispettato.



il 30% della radiazione solare viene riflessa.

Effetto serra

meccanismo termico per convezione e conduzione.

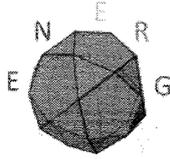


Il gas serra risultano trasparenti alla radiazione solare incidente ed opaco a quella rimesse col suolo lungo il



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento Energia



**LEZIONE 5 – ENERGETICA DEL PIANETA TERRA
PARTE II**

PIERLUIGI LEONE



ENERGETICA DEL PIANETA TERRA – PARTE II

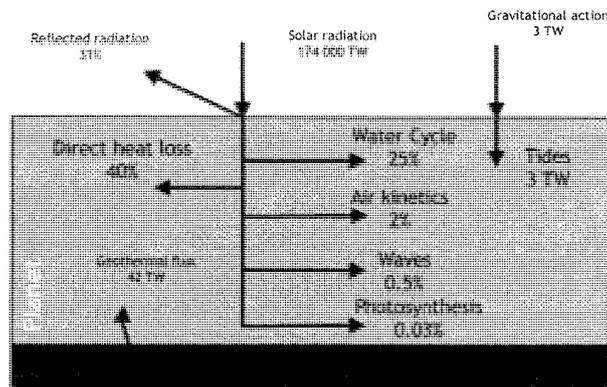


Ciclo dell'acqua



*coliamo i principali
cili tenuti chiamati
all'energia.
solcano che fine fa
l'energia che arriva nel
planeta -*

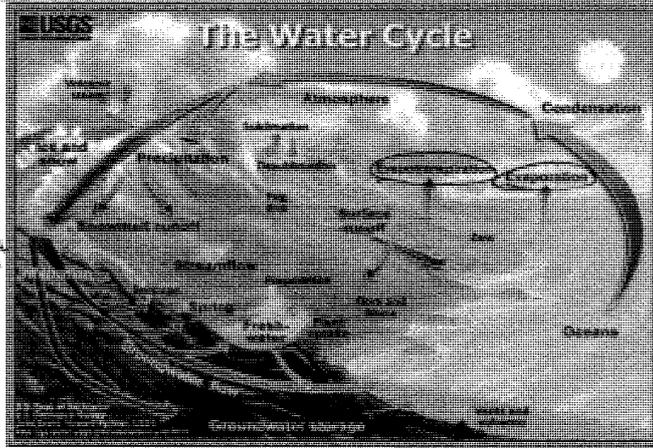
*con bisogna sapere tutti i
numeri e memorie!!!*



2 ciclo dell'acqua e' quello che coinvolge maggiore quantitita' di energia, terrestre e quello della fotosintesi e' fondamentale per l'uomo.

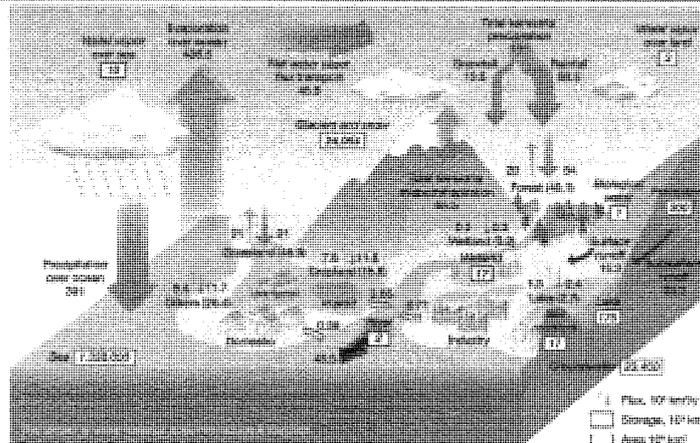
Il ciclo dell'acqua

energia solare fa evaporare acqua, questa viene immagazzinata nelle nuvole. Affermo di energia termica e si condensa in sensazioni visive lasciate sotto forma di energia elastica (pioggia). in quanto l'acqua e' condensata - Questa giunge al suolo e va ad alimentare vegetali, fiumi, laghi, etc. - Così il ciclo riprende. l'acqua che beviamo e' sempre la stessa !!



J. Evans, H. Periman, U.S. Geological Survey - USGS

Il ciclo dell'acqua



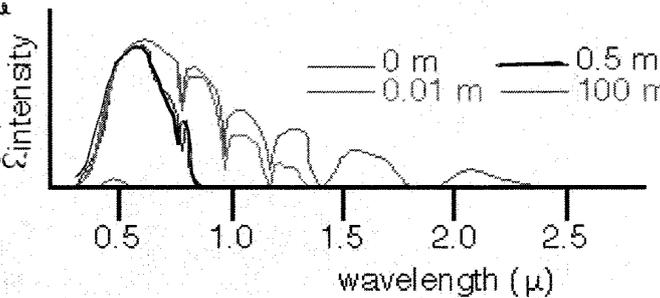
Elaborazione da T.Oki, The global water cycle. In Global energy and Water Cycles. Cambridge University Press.

non ci interessano i numeri !!

$1,35 \cdot 10^{11} t$
 $1 \frac{kg}{m^3} \cdot 10^{12} t$
 $\frac{m^3}{kg}$

Ruolo degli oceani nel bilancio energetico planetario

l'acqua entra nei processi di riflessione del bilancio solare!
 l'energia solare riscalda gli oceani in superficie e va dispersa gradualmente termicamente agli oceani.
 i suoi termologie che fanno questi ΔT per mare energia



si vede come già dopo 0,5 m la radiaz. solare che arriva e' poca (area sotto della linea blu).
 Dopo 100 m praticamente arriva più radiazione solare

2 calore latente e' 1,5 qJ. in 6 mesi cadono W-W' in' di pioggia !!
de energia e' ^{solo} 1000 volte inferiore al fabbisogno mondiale energetico (0,575).

Monsoni



Fonte Web

Livello dei mari



meri aumentano
2mm l'anno!



Il ritiro delle coste è la conseguenza più evidente di aumento del livello del mare. Nelle pianure costiere si osservano perdite di 30-100 cm/a

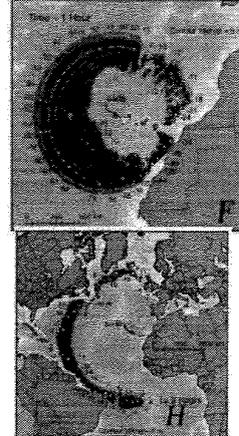
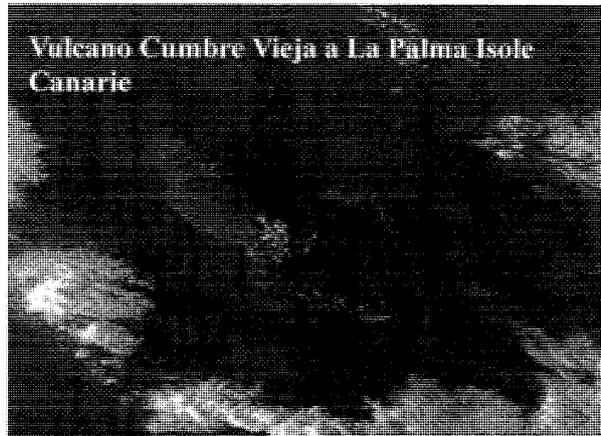
L'energia nei movimenti del mare



- Correnti dante a gradienti termici che causano
- Onde dante a gradienti di energia cinetica
- Maremoti (Tsunami) danti a gradienti strutturali
- Maree dante a effetti gravitazionali

Maremoti possono essere dotti e rari.

Maremoti

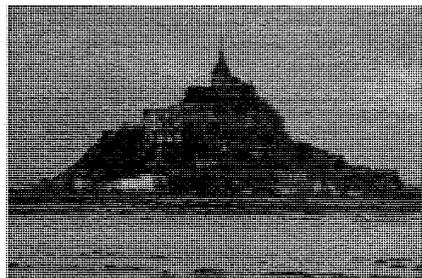
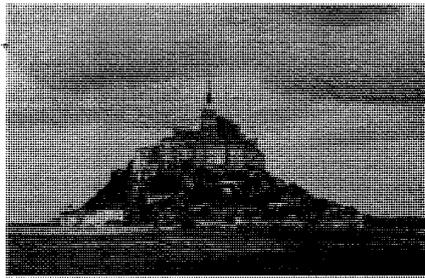


Steven N. Ward and Simon Day, at the Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Santa Cruz.

Maree



Le maree sono un fenomeno di movimento che provoca le variazioni di livello di mare con livelli di almeno 5m.



- Le maggiori escursioni di marea della Terra si hanno:
- nella baia di Fundy della Nuova Scozia con una media di 6.47-11.71 m
 - nella baia di Cook in Alaska (media 7.5 m)
 - nel sud dell'Argentina (5.9 m)
 - lungo la costa della Normandia (5.0-8.4 m)
 - e nelle baie del Mar Bianco (fino a 11.4 m).

Energia cinetica nell'acqua in moto sulle terre emerse



- Pioggia
- Grandine
- Valanghe
- Deflusso dell'acqua

Il deflusso d'acqua riguarda esp. potenziale, cinetico e termico
del Rio delle Amazzoni
trasporta il 16%
dell'acqua di tutti
i fiumi.

caduta rapide

↓
flusso



POLITECNICO
DI TORINO



Deflusso d'acqua



Rio delle Amazzoni - 5600 metri fino a sfociare nell'oceano Atlantico

Deflusso d'acqua



POLITECNICO
DI TORINO



cascate: punti in cui
l'energia potenziale
si è trasformata in
energia cinetica -
si sfruttano solti per
produrre energia
idroelettrica -



Cascata di Iguassú - 72 metri di salto e un potenziale di 4.9 GW

Deflusso d'acqua



POLITECNICO
DI TORINO

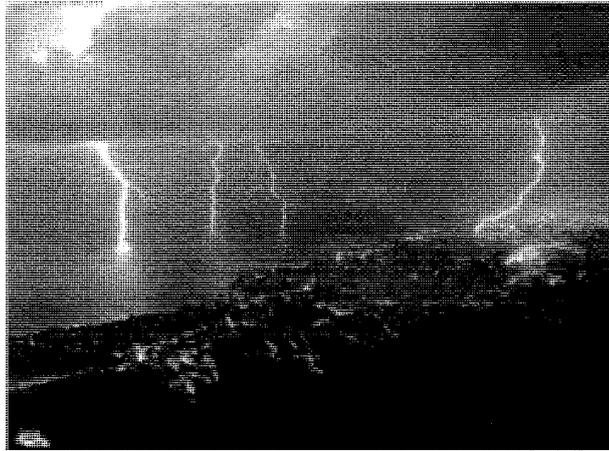


Altopiano della Columbia - inondazione del Missoula

L'energia cinetica dell'aria e i fulmini

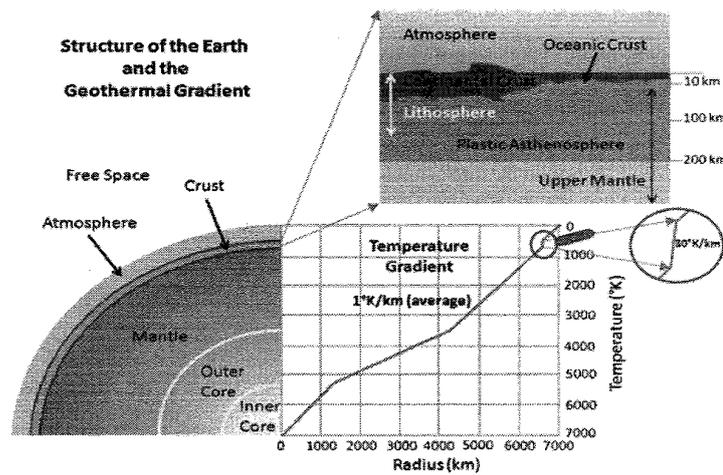


In fulmine contiene
circa 1-10 GJ.

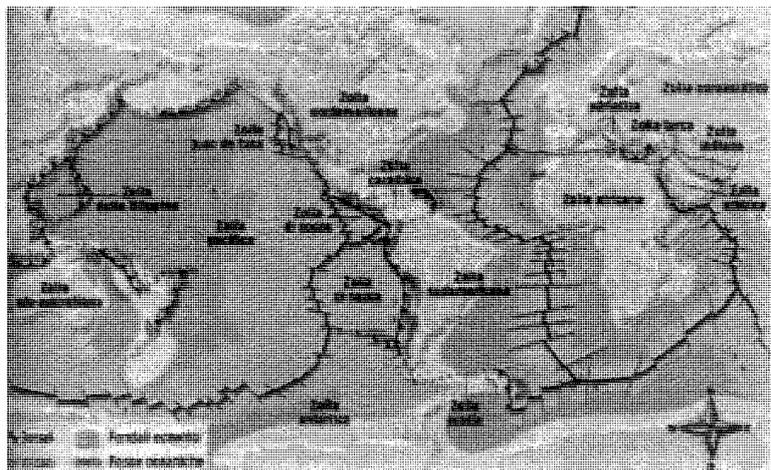


Associazione ligure di Meteorologia, la tempesta di fulmini fotografata dal Monte Fasce, alle spalle della città. Agosto 2013

Il gradiente termico



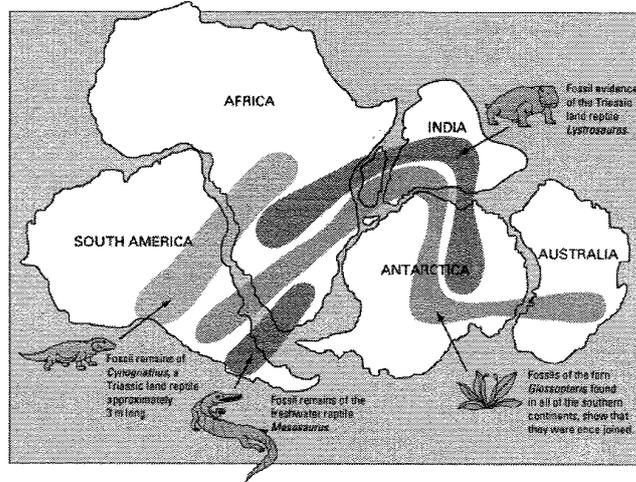
Tettonica a zolle



La prova costituita dai fossili



POLITECNICO
DI TORINO



Gli organismi viventi



La definizione di Aristotele nella «Metafisica»
«i corpi naturali che hanno la capacità di (ri)prodursi e
regolarsi da sé, muovendosi, nutrendosi, crescendo e
morendo, in modo apparentemente indipendente dalle
cose esterne, possiedono la vita e si chiamano esseri
viventi»

Noi aggiungiamo
«diciamo viventi le entità che pur con una grande
varietà di modi controllano la propria esistenza,
amministrando i flussi di energia scambiati con
l'ambiente circostante»

Gli organismi viventi



Inizia con **Nascita** → formazione di un aggregato complesso e
ordinato di sostanze organiche che possiede tutte le proprietà
che elencava Aristotele

Prosegue con la **Crescita**, l'aumento progressivo della massa
corporea che continua fino all'età adulta nella quale si
raggiunge il limite massimo di sviluppo

Gli organismi viventi

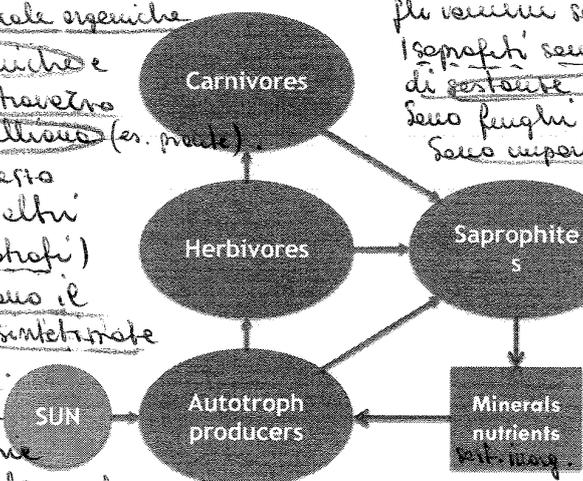


Gli organismi viventi sono in grado di generare altre entità
appartenenti alla stessa specie mediante la **Riproduzione**

Ad un certo punto il funzionamento armonico e coordinato tra
le diverse parti che costituiscono l'organismo perde
efficienza, degrada e si arresta con la **Morte**, un evento nel
quale i costituenti smettono di funzionare insieme e si
disgregano in componenti più semplici

l'energia a cui gli o.v. ricorrono ad accedere nella straordinaria maggioranza dei casi è l'energia solare. Ci sono altri o.v. (parenti ai primi o.v. comparsi) che ricorrono ad accedere all'energia tramite catene di altri composti, usi a quella solare. La rete ambientale chemioautotrofi

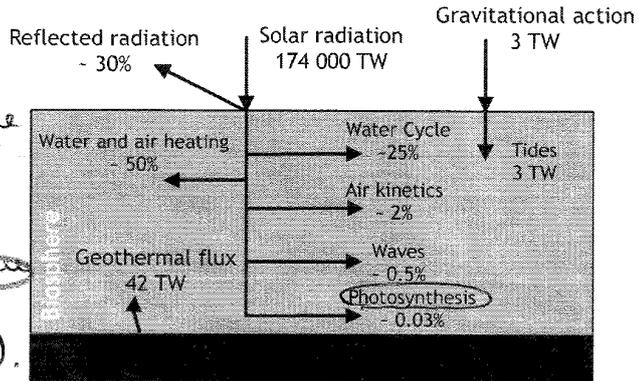
il grado di sviluppo di sintetizzare le proprie molecole organiche - partire da sostanze inorganiche e utilizzando l'energia solare attraverso processi di fotosintesi fotosintetici (es. piante) questi sono la parte di accesso all'energia da parte degli altri organismi non autotrofi (eterotrofi) questi per sviluppare richiedendo il nutrimento di sost. organiche sintetizzate e prodotta dagli autotrofi. li eterotrofi non sono dunque a grado di sintetizzare le proprie molecole organiche e partire da sostanze inorganiche attraverso a fotosintesi e dunque usano versano ad accedere direttamente all'energia solare.



gli organismi sono eterotrofi. I saprofiti sono o.v. eterotrofi che si nutrono di sostanze organiche in decomposizione. Sono presenti nella rete in quanto decompongono le sost. organiche (morte) restituendo sost. inorganiche disponibili agli autotrofi. * meglio dire fotoautotrofi

Energetica planetaria

la vita è serbatoio della fotosintesi la quale è alimentata dallo 0,03% di energia solare che vive sulla Terra - li energetici (fotosintesi) usano il 15% della produzione fotosintetica globale (alga, quercia, allucinanti ecc.) impossibile a tutti gli eterotrofi (come della mangrovia).



Una considerazione sulla vita

"Tutta la vita su questo pianeta complesso, tutta la sua incredibile diversità, tutte le nostre speranze e preoccupazioni, non sono che trasmutazioni della luce del Sole, e l'agente di questo miracolo è la fotosintesi. L'assorbimento della luce solare e la sequenza successiva di reazioni fotochimiche e termochimiche nei cloroplasti dei batteri fotosintetici e delle piante verdi sono le conversioni energetiche più importanti sulla Terra. Le piante forniscono tutti i nostri alimenti, direttamente o dopo essere state mangiate dagli animali; tutti i nostri combustibili si ottengono dalla loro raccolta immediata in forma di residui legnosi e di colture o dall'estrazione dei loro resti fossili in forma di carbone e idrocarburi. Tutta la ricchezza della vita eterotrofica e tutta la complessità delle civiltà umane sono alimentate dall'energia che viene dalla fotosintesi"

Smil V., Energy Nature and Society, MIT Press, 2008. p. 61

Organismi viventi

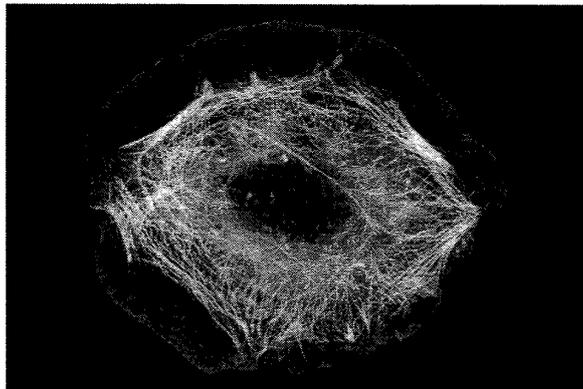
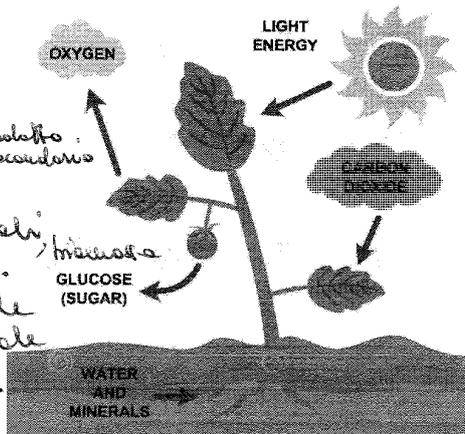


Immagine al microscopio di una cellula

La fotosintesi



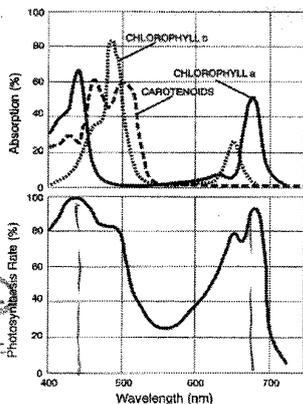
La fotosintesi è un processo molto complesso.
 La fotosintesi è quel processo in cui si trasferisce energia alla vita attraverso la sintesi di biomassa e O_2 - partire da CO_2 , H_2O , nutrienti, acqua ed energia solare. L'energia è trasferita dal sole in legami chimici delle molecole costituenti la biomassa (sost. organica).



Photosynthetically active radiation – PAR



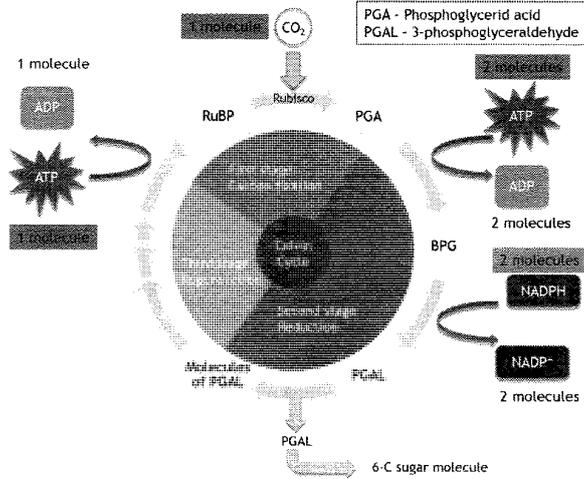
Non tutta la radiazione solare incidente è efficace per attivare il processo fotosintetico. Solo la radiazione visibile (400 nm - 700 nm) è utilizzata. In particolare la porzione di tipo a) si attiva tra 400 nm e quella di tipo b) tra 600 nm e 700 nm. L'energia contenuta in questo range è il 43% dell'energia complessiva incidente. Solo il 43% dell'energia incidente è potenzialmente disponibile per i processi di fotosintesi.



The two types of chlorophyll will ONLY absorb certain light spectrums known as Photosynthetically Active Radiation (PAR)

Da tale figura si nota che per ridare una molecola di CO₂ sono necessari 3 molecole di ATP e 2 di NADPH.

Il ciclo di Calvin



Efficienza fotosintetica

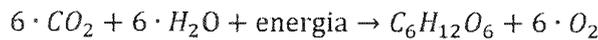


Ha la stessa definizione di quello che si usa per le macchine

$$\text{rendimento} = \varepsilon = \frac{\text{energia utile (energia associata alla biomassa)}}{\text{energia solare assorbita}}$$

L'energia utile è quella associata alla biomassa e all'O₂

Efficienza fotosintetica



$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{300000 \text{ km/s}}{0,55 \mu\text{m}} = \frac{300000 \text{ km/s}}{0,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 5,45 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$E = h \cdot \nu = 8 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,73 \text{ MJ}$$

m. quanti
 ↑
 8
 h · ν
 quanto
 M. molecole
 per 1 mole

INPUT
 occorrono 8 quanti di luce per assimilare 1 molecola di CO₂
 L'energia di 1 quanto è $3,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ($E = h \cdot \nu$)
 L'assimilazione di 1 mole CO₂ ($6,02 \cdot 10^{23}$ molecules) richiede 1,73 MJ
 L'energia lorda richiesta per sintetizzare una mole di glucosio è 24,25 MJ

cost. Planck $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
 frequenza opp. della radiazione che alla fotosintesi (delta PAR) = $0,55 \mu\text{m}$

a ottenere una mole di glucosio ne servono 6 di CO₂ quindi: $E_{glu} = 6 \cdot E_{CO_2} = 10,38 \text{ MJ}$
 sicché l'energia contenuta nella radiazione fotosintetica (PAR) è lo 0,43 di quella totale incidente
 l'energia lorda richiesta per sintetizzare una mole di glucosio è $\frac{10,38 \text{ MJ}}{0,43} = 24,25 \text{ MJ}$

La maggior parte degli o.v. produce energia per via di digestione aerobica delle sostanze organiche contenute nel cibo (carboidrati, proteine e grassi). Il processo è molto efficiente energeticamente e consiste nel ricavare energia dall'ossidazione delle molecole organiche.

Metabolismo negli animali

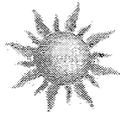
Digestione anaerobica

Digestione aerobica

Metabolismo: unione delle reazioni chimiche all'interno delle cellule degli o.v. per il loro sostentimento. Queste reazioni riguardano il ricavo di energia dalle sostanze nutritive, convertendole in molecole cellulari di struttura e di funzione specializzate.

Metabolismo - alcuni numeri

sole



intensità di potenza:

$$I = \frac{\text{Total emitted flux}}{\text{Mass}} \approx \frac{385 \text{ YW}}{199 \cdot 10^4 \text{ Ykg}} \approx 194 \frac{\text{nW}}{\text{g}}$$

basilisco



basal metabolic rate (potenza minima necessaria per le attività vitali dell'organismo).

$$I = \frac{\text{BMR}}{\text{Mass}} \approx \frac{50 \text{ W}}{30 \text{ kg}} \approx 1.7 \frac{\text{mW}}{\text{g}}$$

↓ 4 ordini di grandezza maggiore dell'intensità di potenza del sole.

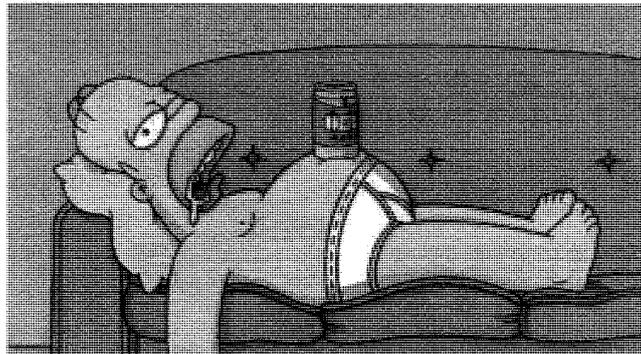


$$I \approx 100 \frac{\text{W}}{\text{g}}$$

↓ intensità di potenza dei batteri

Il prefisso Y riferisce al moltiplicatore yotta = 10²⁴

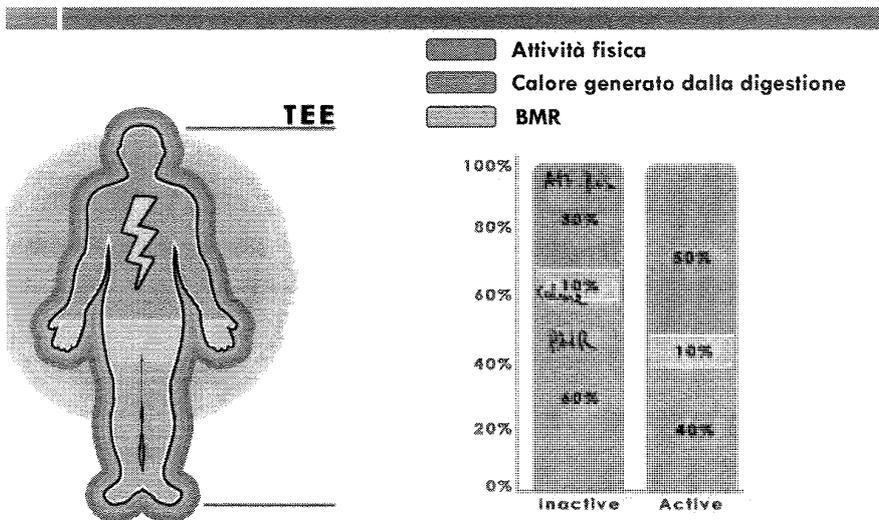
Tasso di metabolismo basale



It might look like I'm doing nothing, but at the cellular level I'm really quite busy

la TEE e' l'energia che serve per svolgere tutte le attivita' nel complesso.

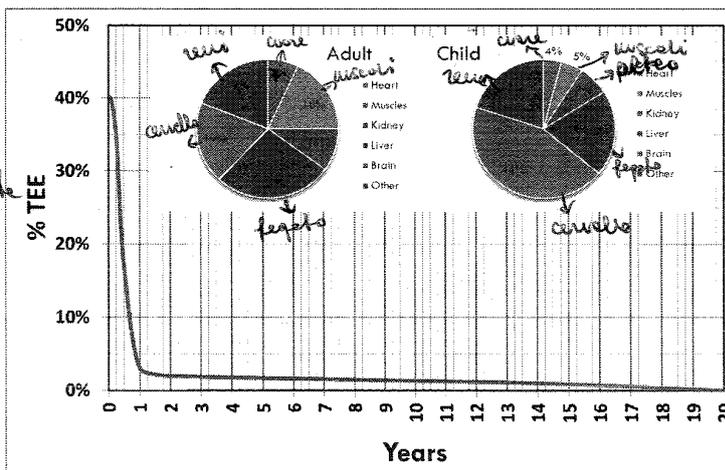
Total energy expenditure



Total energy expenditure



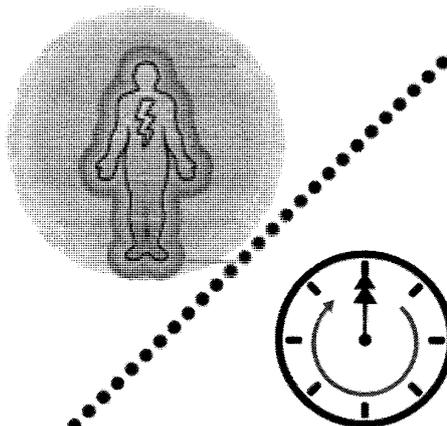
nei disegni a lato si vede che in un bambino si usano parte dell'energia e' obbligate dal cervello, nell'adulto e' il fegato.



Del grafico si vede come il 40% del TEE serve nel primo anno di vita per la crescita degli organi vitali, per questo cresce fino a 20 anni. Quindi più si cresce, più l'energia viene utilizzata per altri tipi di attività.

V.Shiel, Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems The MIT press 2007.

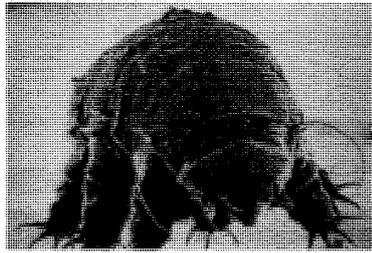
Physical activity level



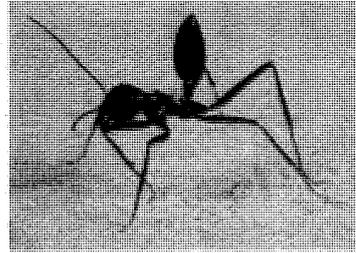
Il controllo della temperatura



POLITECNICO DI TORINO



Echiniscus arctomys



Saharan cataglyphis ant

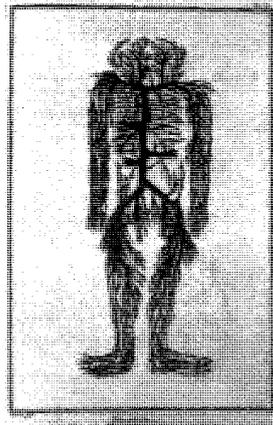
Il controllo della temperatura



POLITECNICO DI TORINO



una parte dell'energia è
filtrata per il controllo
della temperatura corporea



Human blood circulation system (Diderot et D'Alembert)

V.Smil, Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems The MIT press 2007.

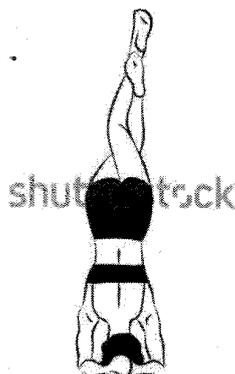
Ridurre le perdite



POLITECNICO DI TORINO



l'unico energeticamente non
lo altro che ridurre le perdite.



www.shutterstock.com - 270702395

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016
DUE DOMANDE PRELIMINARI

2. Perché un ingegnere dovrebbe conoscere la storia degli usi dell'energia?

Vale lo stesso rispetto di prima. Ci si può rendere conto che molte scelte causate nel passato sono state, anche si capisce quello che oggi si ha a disposizione a livello di scelte tecnologiche ultrapiù.

M.CALÌ - Politecnico di Torino diapositiva no. 3

Verissimo come l'uomo ha usato l'energia in tre grandi blocchi temporali: dalla preistoria all'era industriale, nell'era industriale e nell'era moderna parleremo del primo blocco.

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016
Le fasi della storia degli usi energetici

L'era contemporanea (il XXI Secolo)

L'era industriale (dal XVII al XX secolo)

Dalla preistoria al XVII secolo

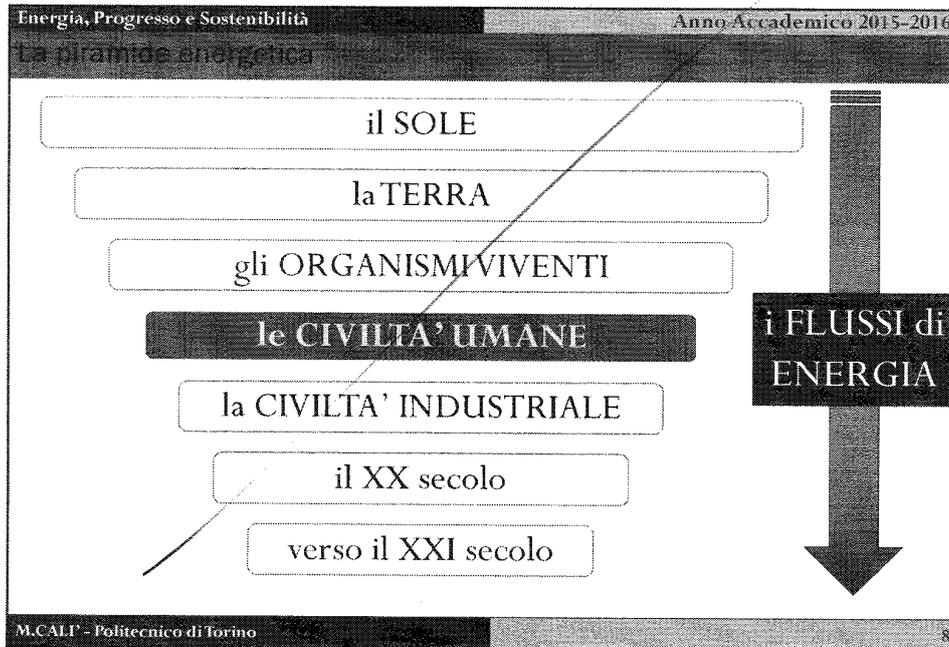
M.CALÌ - Politecnico di Torino diapositiva no. 4

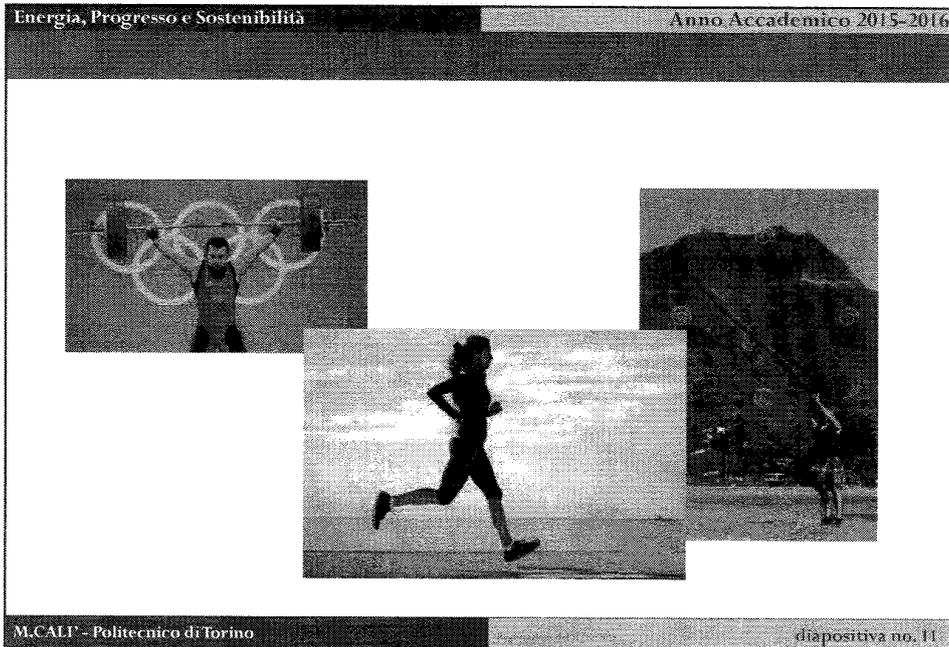
Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

Moltiplicatori - Sottomultipli delle unità di misura

10^n	Prefisso	Simbolo	Nome	Equivalente decimale
10^{24}	Yotta	Y	Quadrigione	1.000.000.000.000.000.000.000.000
10^{21}	Zetta	Z	Tiriarzo	1.000.000.000.000.000.000.000
10^{18}	Eta	E	Tirione	1.000.000.000.000.000.000
10^{15}	Peta	P	Bilardo	1.000.000.000.000.000
10^{12}	Tera	T	Bilione	1.000.000.000.000
10^9	Giga	G	Milardo	1.000.000.000
10^6	Mega	M	Milione	1.000.000
10^3	Kilo	k	Mila	1.000
10^2	hecto	h	Centinaia	100
10^1	deca	da	Dieci	10
10^0			Uno	1
10^{-1}	deci	d	Decimo	0,1
10^{-2}	centi	c	Centesimo	0,01
10^{-3}	milli	m	Millesimo	0,001
10^{-6}	micro	μ	Millesimo	0,000.001
10^{-9}	nano	n	Millesimo	0,000.000.001
10^{-12}	pico	p	Bilionesimo	0,000.000.000.001
10^{-15}	femto	f	Bilionesimo	0,000.000.000.000.001
10^{-18}	atto	a	Tirionesimo	0,000.000.000.000.000.001
10^{-21}	zepto	z	Tirionesimo	0,000.000.000.000.000.000.001
10^{-24}	yocto	y	Quadrigionesimo	0,000.000.000.000.000.000.000.001

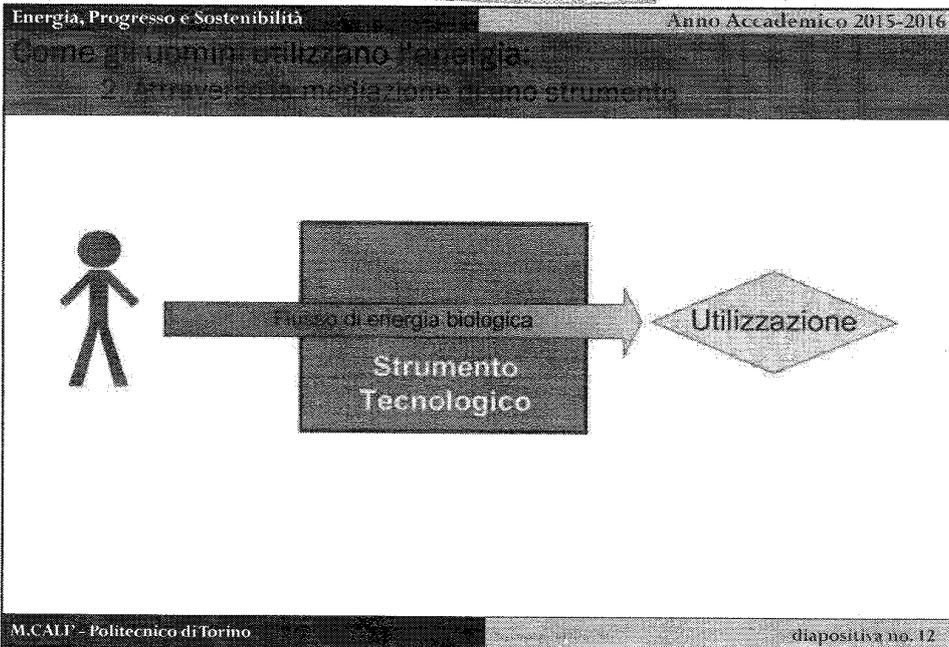
M.CALP - Politecnico di Torino 7





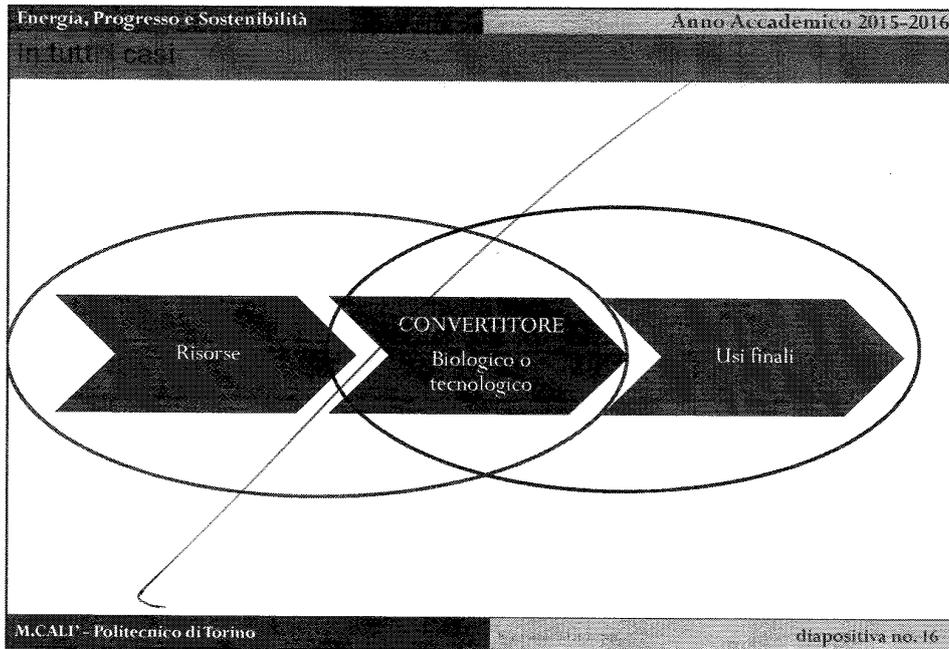
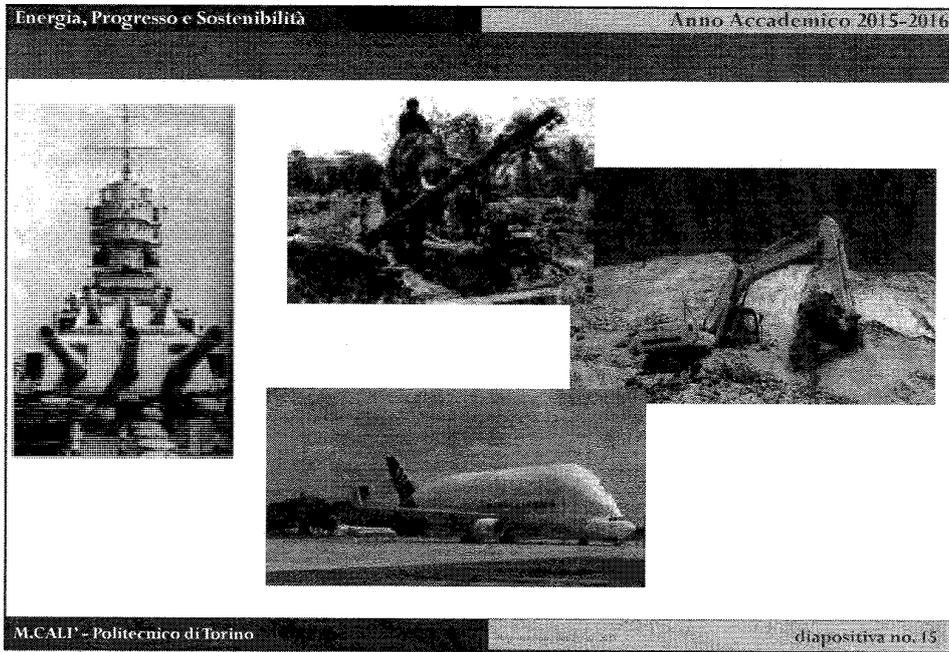
L'uomo ha imparato ad utilizzare la propria energia biologica attraverso l'uso di
 strumenti tecnologici. L'organismo biologico eroga energia per un po' di tempo,
 questa viene accumulata nello strumento tecnologico e viene erogata dallo strumento
 direttamente. L'energia è la fonte senza le stesse dell'ultimo diretto di energia,
 la sua modalità con cui l'energia si libera e la si dà e' diversa dal modo diretto

recupero: vero
 e fonte di
 energia e'
 sempre fissato,
 quindi una
 rete limitata
 altri lavori
 se si pensano
 se e meno
 la non si
 allora avviene
 certe persone.
 visto solo anche
 per ultimo diretto

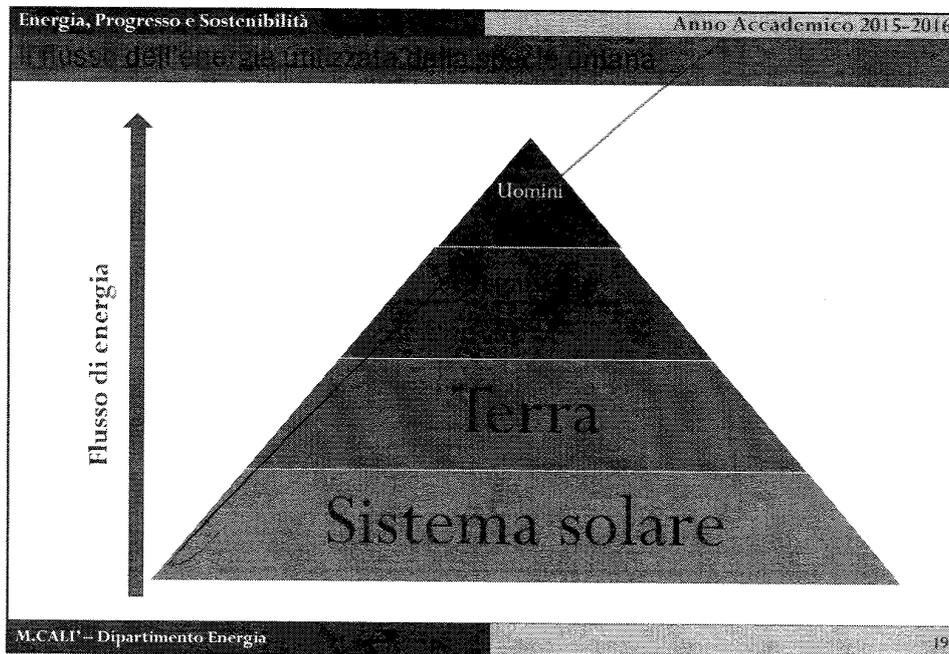


L'utilizzazione dell'energia nella storia delle ere pre-industriali
 Parte I – le Fonti

Il primo strumento di controllo dell'energia adoperato dall'uomo sono gli animali.



L'utilizzazione dell'energia nella storia delle ere pre-industriali
Parte I – le Fonti



-
- Un modo per raccontare la storia umana
- Un modo per raccontare la storia delle civiltà umane è di analizzare come nel progresso del loro sviluppo abbiano progressivamente imparato a:
 - Servirsi di energia in tutte le forme, in quantità superiori a quelle strettamente necessarie per la mera sopravvivenza biologica e nel tempo sempre crescenti e più ingenti
 - L'utilizzazione di questa energia aggiuntiva è stato uno dei fattori più importanti per l'evoluzione delle civiltà
- M.CALÌ - Politecnico di Torino diapositiva no. 20

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016
Cronologia e dell'evoluzione umana

- Smithsonian: Human Family Tree

M.CALÌ - Dipartimento Energia 27

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016
Cronologia e dell'evoluzione umana

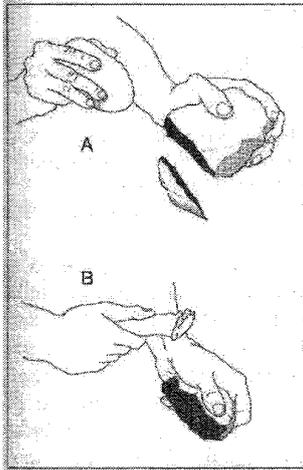
M.CALÌ - Dipartimento Energia 28

L'utilizzazione dell'energia nella storia delle ere pre-industriali
Parte I – le Fonti

più diversi erano uso di energie attraverso strumenti.

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

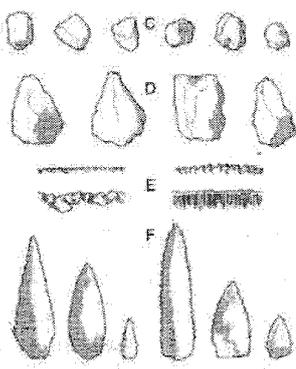
A. Battitura della pietra con un martello di pietra
B. Riduzione finale fatta con pietre più morbide, legno, ossa, o oggetti ramificati



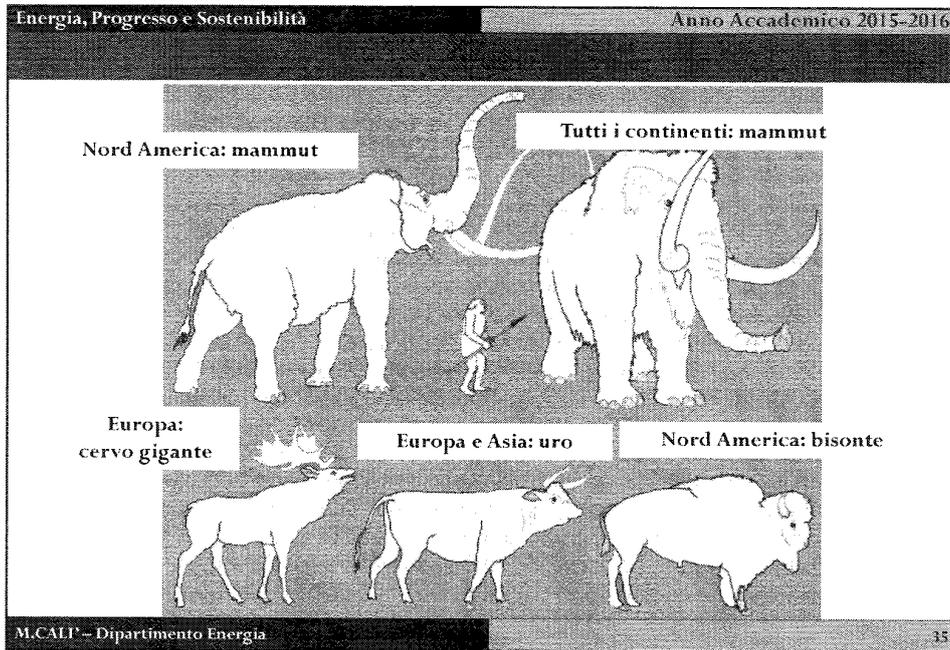
M.CALI - Dipartimento Energia 11

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

C. Gli utensili del periodo oldowiano
D. Utensili del periodo acheuleano notevolmente più grandi dei precedenti
E. Punte speciali
F. Punte a una o due facce



M.CALI - Dipartimento Energia 12



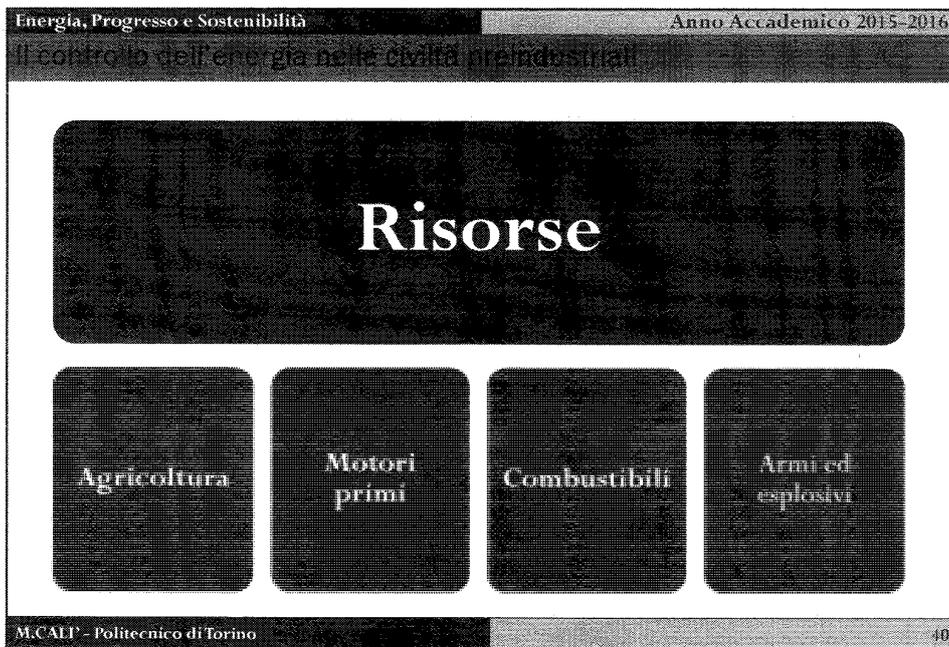
Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

- Nei gruppi che vivevano in ambienti più ricchi di risorse alimentari
 - Aumentarono la densità sociale e la complessità sociale compresa la stratificazioni in classi specializzate in lavori diversi
 - Gli insediamenti si fecero permanenti
 - Il cibo fu immagazzinato e conservato per i periodi di carestia
 - Iniziarono le prime coltivazioni
 - Nacquero abitudini consolidate e i riti

M.CALI - Dipartimento Energia 36

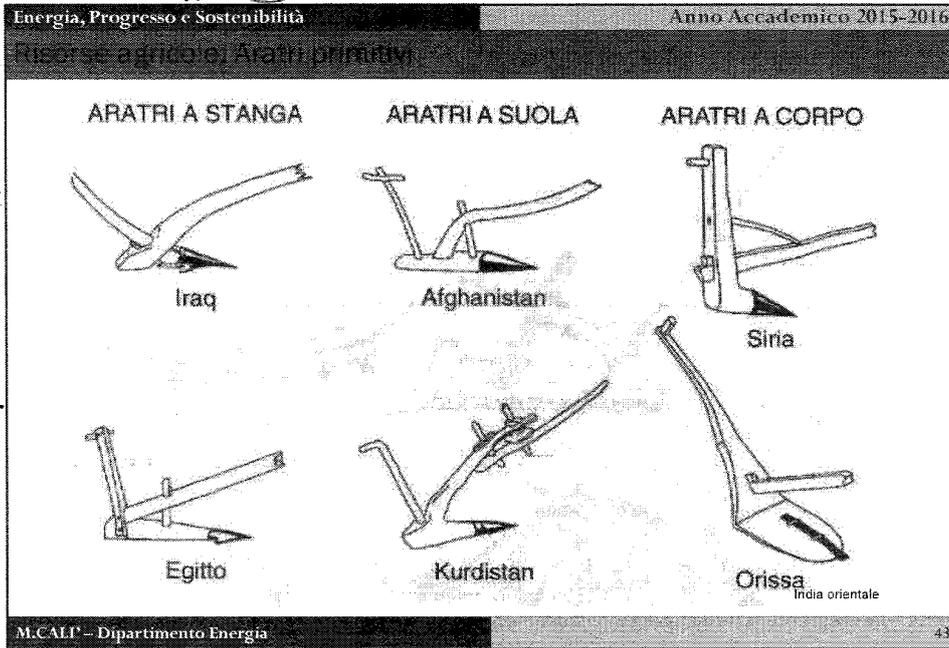


e risorse attraverso cui si ottiene energia sono: agricoltura, motori primi, combustibili e armi ed esplosivi. Pertenenti in natura

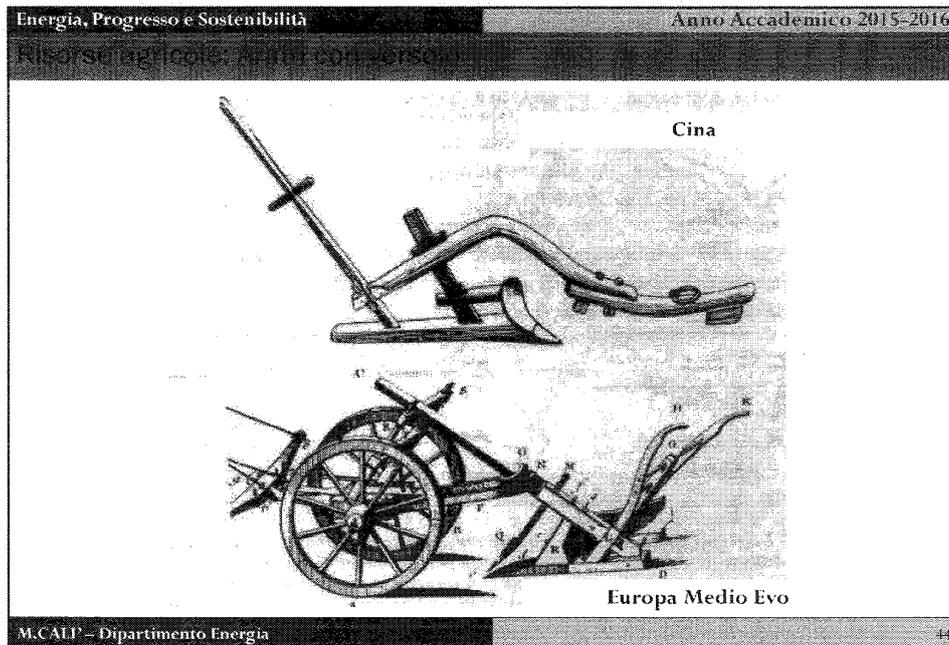


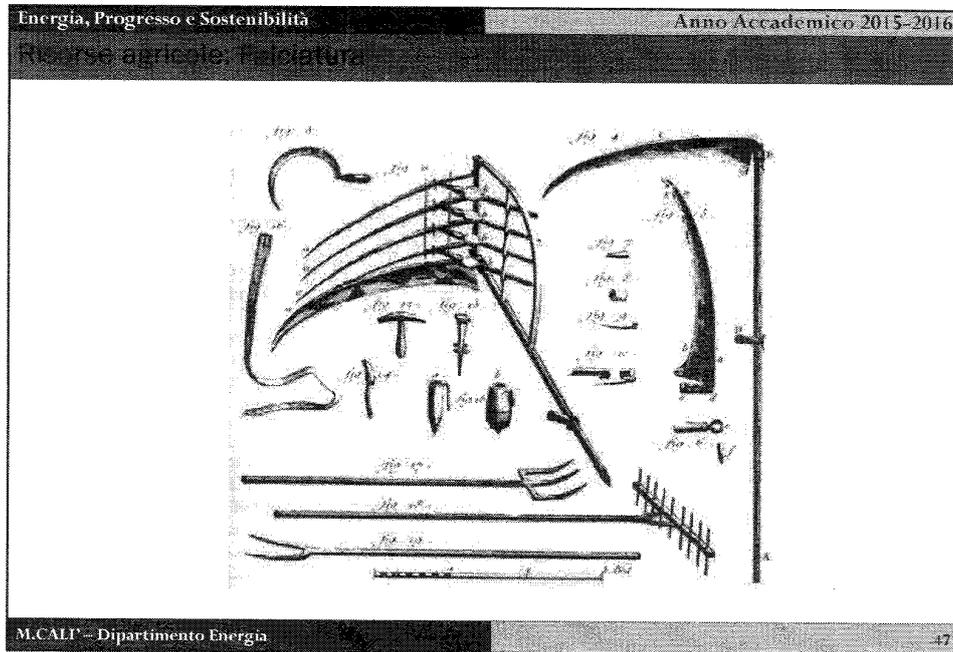
L'atreno è il tipico esemplificare della forza biologica. Supponiamo che un uomo eroghi 150W per 1 ora dunque un lavoratore ci una giornata di lavoro mette: $150W \cdot 1h \cdot 3600 \frac{s}{h} = 540kJ$. Questa è l'energia erogata.

kg di gasolio
in meccanica
fine 42 MJ
L'atreno permette
all'uomo di
sviluppare la
sua, core che
- mano nuda
non poteva fare.
L'atreno esemplifica
la forza,
su l'energia.

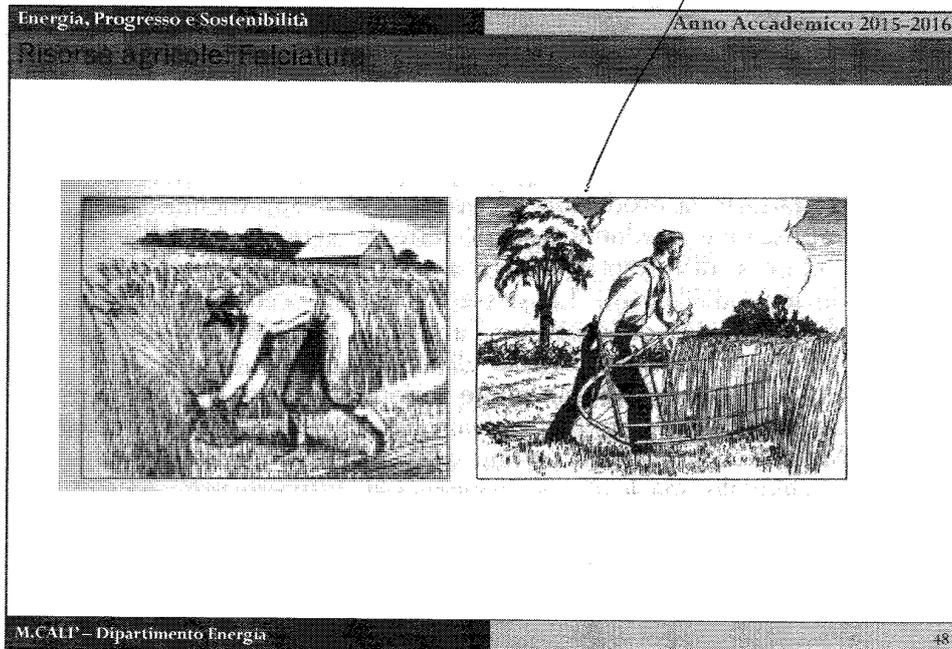


Recentemente gli aratri e chiodi vengono restituiti dal vacuo che penetra raggiungendo la terra ed inoltre la molto. Inoltre il vacuo richiede la carica costosa della metallurgia (controllo del fuoco).





*Però più comode così
più vere!*



no fino a pag. 30

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Un esempio di resa energetica del grano	
<ul style="list-style-type: none">• Il contenuto di proteine dei cereali varia dalle quote inferiori al 10 per cento di molti risi al 15 per cento del grano duro fino al 16 per cento della quinoa.<ul style="list-style-type: none">◦ La quinoa è un'erba della Bolivia e del Perù, dove è ancora coltivata con metodi tradizionali. Cresce tra i 1.800 e i 5.000 metri e non è un cereale ma simile agli spinaci e alle barbabietole.◦ È una delle piante con più proprietà nutrienti al mondo; come i cereali contiene abbondante amido, ma non glutine (indicata nella dieta dei celiaci).◦ È composta principalmente da proteine (13%), carboidrati (60,1%), grassi (6,7%), fibra alimentare (8,6%), minerali come il magnesio, particolarmente abbondante, sodio, fosforo, ferro e zinco, vitamine del gruppo B, C e vitamina E. Contiene due importanti aminoacidi: la lisina, importante per la crescita delle cellule cerebrali, e la metionina, che svolge un ruolo attivo nella metabolizzazione dell'insulina	
M.CALI - Dipartimento Energia	51

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Risorsa proteica	
<ul style="list-style-type: none">• <u>Le proteine contengono almeno un terzo di energia in più dei carboidrati, ma il loro ruolo nell'alimentazione umana non è quello di fornire energia, ma aminoacidi, essenziali per la costruzione e la riparazione dei tessuti corporei</u>• Non è possibile sintetizzare le proteine senza consumare gli aminoacidi essenziali nelle dosi giuste: i cibi animali o i funghi forniscono tutte le proteine di cui abbiamo bisogno, i vegetali no.• Anche nelle diete vegetariane le proteine necessarie si ricavano combinando diversi cibi con diverse carenze di aminoacidi• I grani cereali hanno una scarsa componente di lisina, ma i legumi, difettosi di metionina, sono molto ricchi di lisina	
M.CALI - Dipartimento Energia	52

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

Un esempio: la resa energetica del grano

- I bilanci energetici del grano sono gli indicatori più significativi della produttività dell'agricoltura nelle culture tradizionali
- **Il rapporto tra l'energia alimentare presente nel grano e l'energia alimentare necessaria per coltivarlo e produrlo indica il guadagno energetico lordo, quindi la produttività di questa fondamentale attività agricola**

M.CALÌ - Dipartimento Energia 55

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

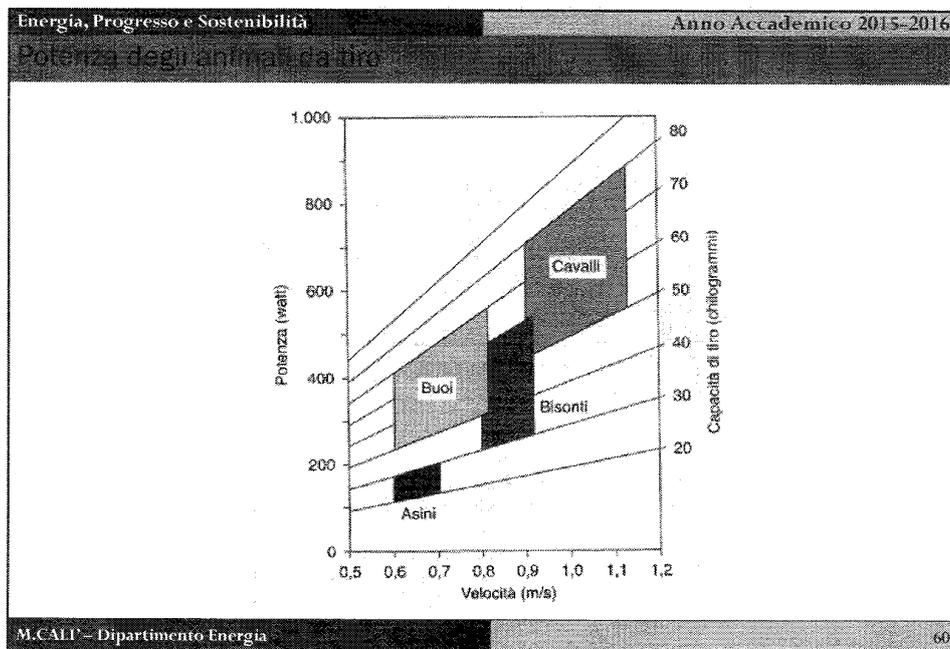
Un esempio: la resa energetica del grano

- I guadagni energetici netti devono tener conto della parte di raccolto necessaria per le future semine e delle inevitabili perdite determinate dai processi di macina e immagazzinamento
- Nel medioevo veniva messo da parte per la semina, e quindi non consumato, un terzo e a volte la metà del raccolto annuale; gradualmente, queste quote scesero a meno del 15 per cento
- Prima di essere trasformati in cibo (cucinati sul fuoco o infornati) la maggior parte dei cereali devono poi essere macinati. La farina integrale di grano incorpora il cereale completo, ma la maggior parte delle farine contiene soltanto l'80, 85 per cento del grano originario; il riso perde parti anche maggiori della sua massa durante la macina, su livelli che vanno di norma dal 25 al 35 per cento

M.CALÌ - Dipartimento Energia 56



I cavalli amburo ed usopre anche 600 W continui. (Vanno al max istantaneamente anche 1400 (solo x pochi secondi)).



no fino a pag. 36

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
La scelta degli animali da tiro	
<ul style="list-style-type: none">• Non esiste un animale da tiro perfetto, adattabile a tutte le situazioni• La scelta di determinate specie animali o dei vari modelli di bardature e finimenti è il risultato dell'influenza congiunta di condizioni ambientali e socioeconomiche• I cavalli<ul style="list-style-type: none">○ hanno maggiore potenza e maggiore resistenza○ vivono più a lungo degli altri animali da tiro○ Possono lavorare normalmente da 8 a 10 ore (i bovini quasi mai più di 6 ore)○ Lavorano normalmente dai 3-4 fino ai 18-24 anni (i bovini da 3-4 fino a 11-14 anni)○ Possono riposare e assopirsi restando in piedi senza alcun particolare costo metabolico eliminando così i costi energetici della posizione di arresto in piedi, per la presenza nelle zampe di potentissimi legamenti sospensori e di una coppia di tendini che «bloccano» gli arti senza impegnare i muscoli○ Spendono quindi poche energie durante il pascolo, e possono riposare senza che vi sia bisogno di liberarli dai finimenti• Per tutti gli altri mammiferi la posizione eretta comporta un dispendio energetico superiore del dieci per cento rispetto a quella sdraiata.	
M.CALI - Dipartimento Energia	63

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
La scelta degli animali da tiro	
<ul style="list-style-type: none">• Cavalli<ul style="list-style-type: none">○ Sono costosi da mantenere perché devono essere foraggiati col grano, attrezzati con finimenti particolari e ferrati○ Non si adattano a tutti i climi e non sopportano ambienti caldi e umidi• Bovini<ul style="list-style-type: none">○ Sono meno costosi da mantenere perché possono essere alimentati solo con paglia e fieno tritato e bardati con finimenti più semplici○ Sono più deboli e lenti○ Alcuni tipi hanno un efficiente sistema di autoregolazione termica, per cui possono lavorare meglio in presenza di temperature elevate e sono molto meno esposti agli attacchi dei parassiti○ i bufali, per esempio, crescono in ambienti caldi e umidi che i cavalli non tollerano, possono accontentarsi anche di una dieta più scarsa e povera, e limitarsi a pascolare nutrendosi di piante che crescono sotto la superficie delle acque	
M.CALI - Dipartimento Energia	64

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Il lavoro animale	
<ul style="list-style-type: none">• Vantaggi del lavoro animale<ul style="list-style-type: none">○ Velocizzare i processi molto faticosi dell'aratura e mietitura○ Prelevare maggiori volumi di acqua per l'irrigazione da pozzi più profondi.○ Far funzionare macchine fondamentali per la preparazione degli alimenti come mulini, macine, presse, ecc., quando le risorse di acqua e di vento erano assenti o troppo costose da imbrigliare○ Consentire un sensibile aumento dei livelli di produttività○ liberare i contadini da lunghe ore di faticoso lavoro manuale• Svantaggi del lavoro animale<ul style="list-style-type: none">○ Per mantenere gli animali i contadini dovevano produrre il cibo e il foraggio per alimentarli○ Nelle agricolture tradizionali parte della terra doveva essere riservata alla coltivazione di fieno e di grani di qualità inferiore per le bestie○ In America del nord e in molte parti d'Europa, bisognava riservare ai cavalli circa un terzo di tutta l'area coltivata.	
M.CALI - Dipartimento Energia	67

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
<ul style="list-style-type: none">• In Cina e in altre regioni densamente popolate dell'Asia, gli animali da tiro preferiti erano i bovini che, in quanto ruminanti, potevano essere mantenuti esclusivamente con crusca di paglia e erba da pascolo e poco grano o anche con alimenti concentrati, come crusca o croste oleose dai residui di lavorazione dei raccolti<ul style="list-style-type: none">○ Nell'agricoltura tradizionale in Cina, la quota di coltivazione riservata alle esigenze alimentari degli animali da lavoro non superava il 5 per cento○ In India ancora meno. La parte riservata a foraggio equivaleva sempre al 5 per cento della terra coltivata, la maggior parte di questo foraggio andava alle bestie da latte alle vacche sacre. Il cibo per buoi e torelli da traino non assorbiva probabilmente più del 3 per cento della terra coltivata. Nelle zone più popolate il bestiame viveva di una combinazione di sottoprodotti della coltivazione — paglia di riso, croste oleose di semi di mostarda, foglie di banana tritate, ecc. — e del poco che riusciva a procacciarsi pascolando lungo le strade o sui cigli dei canali	
M.CALI - Dipartimento Energia	68

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

**L'agricoltura tradizionale:
l'irrigazione**

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

Prodotto	Litri/ha/anno
Grano	1500
Riso	900
Mais	600

Il quantitativo di acqua richiesto dalle diverse coltivazioni dipende da molte variabili ambientali, agronomiche e genetiche

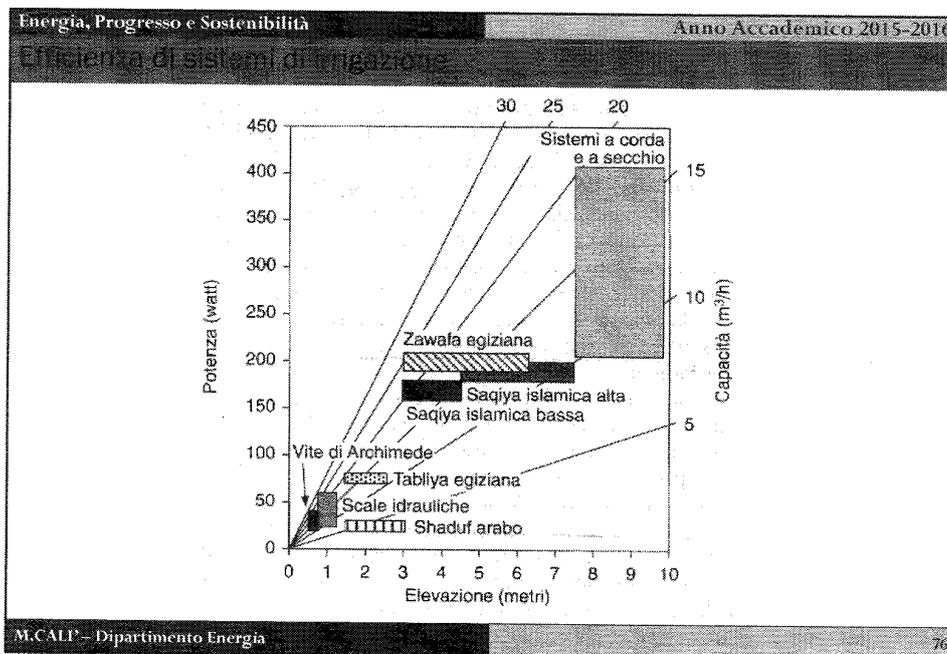
M.CALI - Dipartimento Energia 72

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

SISTEMI DI IRRIGAZIONE

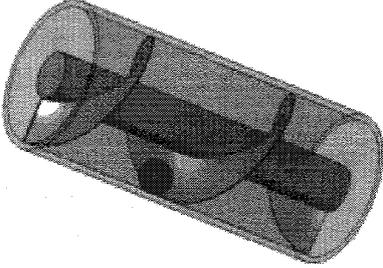
- Per spostare l'acqua necessaria all'irrigazione venne così ideata una sorprendente varietà di attrezzature e di congegni meccanici
 - I primi e più semplici dispositivi (ceste di tela molto fitta, fagotti foderati, secchi) non consentivano di sollevare l'acqua per più di un metro
 - L'adozione di ceste o di secchi appesi a una fune collegata a un tripode si rivelò solo appena più efficace
- Entrambi questi tipi di strumenti erano molto diffusi in Asia orientale e nel Medio Oriente, ma il dispositivo per il sollevamento dell'acqua più diffuso nell'antichità fu indubbiamente l'elevatore a contrappeso (il mazzacavallo), lo shaduf arabo

M.CALI - Dipartimento Energia 75



vedi

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016



Per farla girare ci voleva molta più fatica che per lo shaduf

M.CALI' - Dipartimento Energia 79

no ruota e pop-42

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

- Tutti questi dispositivi vennero potenziati con il ricorso al lavoro animale o all'energia idrica
 - Molto diffuso in India, l'elevatore semplice con corda e cesta (*monte o charsa*) azionato da due coppie di buoi che dovevano camminare lungo un piano inclinato trascinando una cesta o una sacca di cuoio assicurata ad una lunga corda
 - I greci usavano una catena continua di vasi d'argilla assicurati a due anelli di corda; i vasi portavano l'acqua a un canale artificiale. Questo meccanismo, meglio noto come *saqiya*, si diffuse in tutto il Mediterraneo con l'Islam; la sua efficacia era tuttavia limitata dalla scarsa potenza del motore primo che lo azionava, solitamente un singolo animale imbrigliato che procedeva lungo un percorso circolare
 - Una versione perfezionata di questo modello, la *zawafa* egiziana, veniva usata per scopi analoghi, ma consentiva di distribuire maggiori quantitativi di acqua e più rapidamente.
 - Il *nona*, un altro dispositivo ampiamente usato nei paesi musulmani e in Cina, si serviva di vasi d'argilla, tubi di bambù o secchi di metallo assicurati al bordo di un'unica ruota. La ruota poteva essere sia costituita da ingranaggi ad angolo retto e azionata da animali, sia dotata di pale e azionata dalla corrente idrica: questo marchingegno non era tuttavia molto efficiente perché i secchi dovevano essere sollevati a un'altezza di almeno un raggio di ruota superiore a quella del mastello in cui dovevano scaricare l'acqua
 - La *tabliya* egiziana consentì di eliminare tale inconveniente: questo modello più avanzato, alimentato dal lavoro di buoi, includeva una doppia ruota in metallo capace, girando, di raccogliere l'acqua sul lato opposto per poi scaricarla in un mastello posto al centro.

M.CALI' - Dipartimento Energia 80

notificamente non lo fa

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

L'agricoltura tradizionale:
fertilizzazione

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

- **Per la crescita delle piante**
 - Il biossido di carbonio presente nell'atmosfera e l'acqua forniscono il carbonio e l'idrogeno fondamentali per i generare i tessuti vegetali come carboidrati
 - Per la fotosintesi sono assolutamente necessari anche macronutrienti (azoto, fosforo e potassio) e micronutrienti (ferro, rame, zolfo silicio, calcio)

M.CALP - Dipartimento Energia 84

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
<ul style="list-style-type: none">• Il ricorso a queste tecniche di concimazione dipendeva da<ul style="list-style-type: none">○ La reperibilità del concime (molto elevata nel caso dei volatili da cortile, ma trascurabile per le bestie da pascolo)○ Gli atteggiamenti culturali nei confronti della manipolazione degli escrementi umani (che andavano dalla proibizione assoluta a pratiche abitudinarie di riciclo)○ I livelli di intensità dei processi di coltivazione• Molto dell'azoto presente nei rifiuti così riciclati si perdeva durante la loro raccolta, nella lavorazione dei residui e nel processo di applicazione e l'assunzione di azoto da parte delle piante era molto bassa• A causa di queste perdite (che comportavano uno spreco pari ai due terzi dei quantitativi iniziali di azoto) i contadini dovevano applicare quantitativi enormi di rifiuti organici• Grandi quote di lavoro agricolo dovevano quindi essere dedicate all'incombenza sgradevole e molto faticosa di raccogliere, far fermentare, trasportare e applicare i rifiuti organici	
M.CALI - Dipartimento Energia	87

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
<ul style="list-style-type: none">• La concimazione vegetale è stata praticata in Europa sin dall'antichità ma era ampiamente utilizzata anche in Asia orientale e si basava soprattutto sulle caratteristiche peculiari di alcuni legumi, in particolar modo veccia e trifoglio<ul style="list-style-type: none">○ Queste piante sono infatti in grado di fissare notevoli quantità di nutrienti convertendo l'azoto atmosferico inerte in composti di azoto metabolizzabile dalle piante○ In un clima mite tre o quattro mesi di coltivazione a legumi durante l'inverno possono fornire al terreno l'azoto sufficiente alla produzione di un buon raccolto estivo di cereali.• Nelle zone più popolate, i contadini dovevano spesso preparare un altro raccolto di cereali durante l'inverno• Sul breve periodo, questa coltivazione addizionale era ovviamente vantaggiosa poiché consentiva un ulteriore ricavo di oli e carboidrati• Lo sfruttamento eccessivo del terreno provocava una progressiva diminuzione della disponibilità complessiva di azoto e quindi una riduzione dei rendimenti• Le forme di agricoltura intensiva non possono quindi fare a meno della capacità di fissare l'azoto tipica dei legumi, e devono quindi sistematicamente ricorrere alla coltivazione di questo tipo di piante• Tale pratica, ripetuta ogni anno o con intervalli più lunghi all'interno di uno schema di rotazione delle colture, rappresenta probabilmente la più significativa e ammirevole forma di ottimizzazione energetica dell'agricoltura tradizionale. Non a caso, costituiva il nucleo essenziale di tutti i regimi di agricoltura intensiva basati su complicati sistemi di rotazione delle colture.	
M.CALI - Dipartimento Energia	88

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

- La rotazione delle colture, che alterna cereali e legumi, garantisce invece la sostituzione delle riserve di azoto o quantomeno consente di limitarne la perdita
- La coltivazione di tutta una varietà di cereali, tuberì, oli, fibre, riduce il rischio di fallimento dei raccolti, scoraggia malattie e infestazioni croniche, contiene i fenomeni di erosione, contribuisce al mantenimento delle proprietà naturali dei terreni
- Le tecniche di rotazione possono quindi essere privilegiate sia per far fronte alle condizioni climatiche e alle esigenze specifiche di terreni dissimili, sia per assecondare determinate preferenze dietetiche
- Nelle società più povere, il ricorso alla rotazione può servire per raggiungere l'autosufficienza alimentare a livello locale

M.CALP - Dipartimento Energia 91

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

- Per quanto altamente benefiche dal punto di vista agronomico, anche le tecniche di rotazione comportano un certo costo energetico
- Coltivare ogni anno più di una specie (multicoltivazione) richiede senza dubbio maggiori investimenti di lavoro. Nelle zone dove le precipitazioni piovose sono limitate, saranno necessari maggiori sforzi in termini di irrigazione; dove, invece la multicoltivazione è sviluppata in forme più intensive, con la coltivazione nello stesso campo di tre, quattro piante diverse nel corso di un anno, ottenere ricavi adeguati sarà possibile solo effettuando significativi lavori di concimazione
- Nel caso di forme di coltivazione intercalare (cioè della coltivazione di due o più piante nello stesso campo simultaneamente) la domanda di lavoro può essere persino più elevata. Il vantaggio e il guadagno fondamentale delle multicoltivazioni sta nel fatto che consentono di sostenere un maggior numero di persone, senza per altro accrescere l'ammontare complessivo di terra coltivata

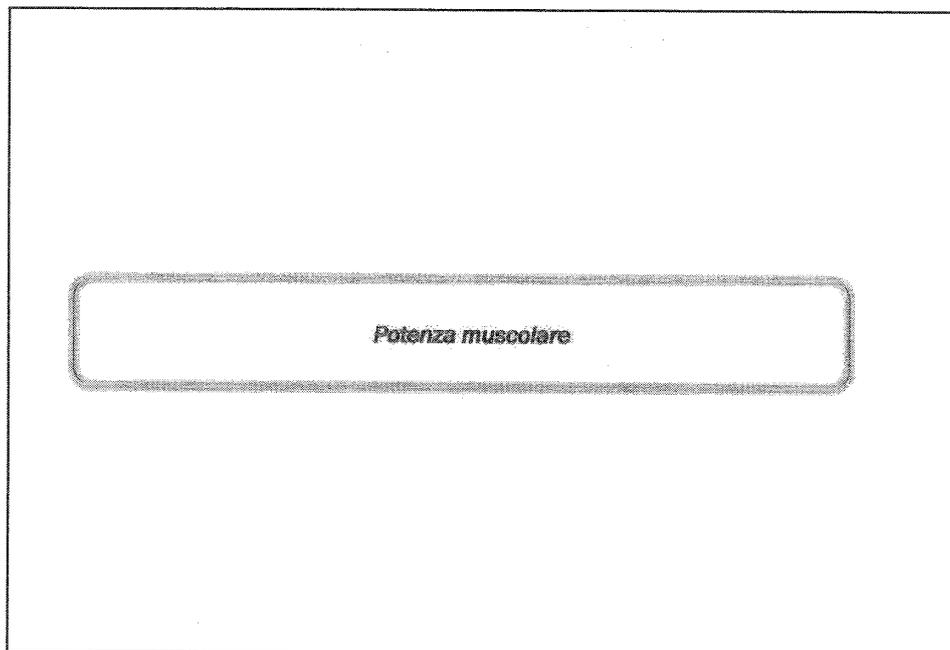
M.CALP - Dipartimento Energia 92

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Costo energetico, efficienza, prestazioni di un cavallo di tiro	
<ul style="list-style-type: none"> • Il mantenimento di un cavallo da lavoro del peso di 500 kg richiedeva circa 70 MJ di energia digeribile al giorno • Ma in concreto le razioni giornaliere composte in diverse proporzioni da cereali altamente digeribili e da paglia e fieno, meno digeribili, potevano superare questo livello del 25 per cento • Le esigenze alimentari durante i periodi di lavoro erano 1,5-1,9 volte superiori ai livelli normali • Trainando un peso equivalente al 15 per cento del suo peso corporeo (75 kg) e muovendosi alla velocità di un metro al secondo (m/s) un cavallo poteva produrre circa 20 MJ di lavoro utile in otto ore • La sua efficienza energetica in tutta la giornata poteva attestarsi così attorno a una media del 13 per cento (20/150 quasi uguale a quella dell'uomo, perché entrambi mammiferi) 	
M.CALP - Dipartimento Energia	95

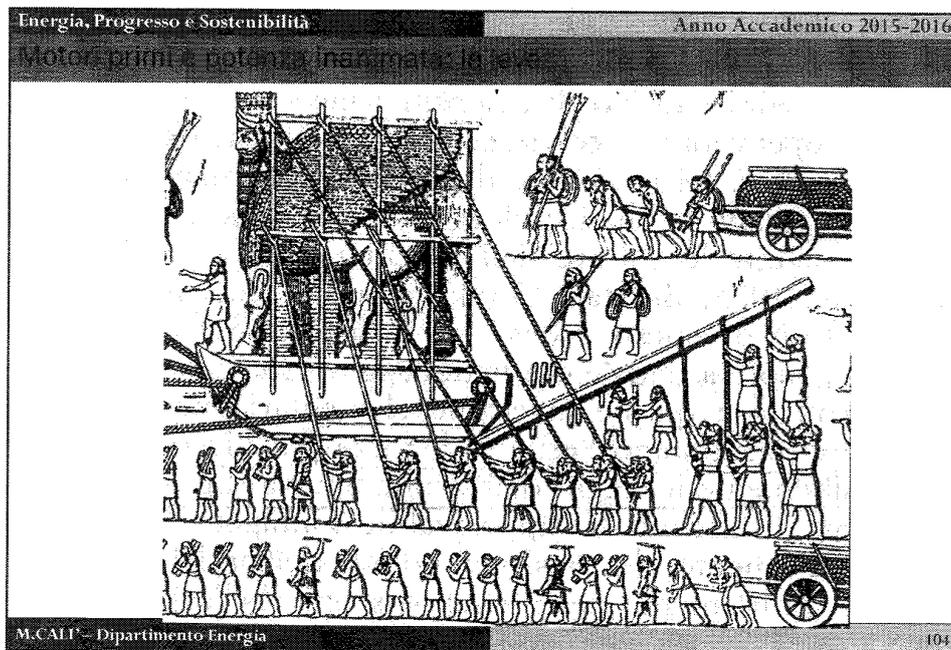
Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Costo energetico, efficienza, prestazioni di un uomo	
<ul style="list-style-type: none"> • L'efficienza energetica media del lavoro umano su livelli moderatamente duri si colloca al 13 per cento comparabile a quella del cavallo • Gli esseri umani non possono sostenere livelli di potenza utile superiore ai 70 W - 100 W, mentre gli animali da tiro possono lavorare per ore su livelli oscillanti tra i 500 - 800 W • Eccezione fatta per gli asini, ciascun animale, da solo, vale al minimo 5 o 6 e in media 8 uomini. Durante le fasi di lavoro agricolo particolarmente duro, un animale ben nutrito può lavorare per diversi giorni su livelli equivalenti al lavoro di 13, persino 15 uomini 	
M.CALP - Dipartimento Energia	96

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Rapporto tra il cibo e il lavoro umano e animale	
<ul style="list-style-type: none">• Durante la tarda dinastia Qing, la produzione di un buon raccolto invernale di grano di circa 1,5 tonnellate per ettaro (t/ha) necessitava di 300 ore di lavoro umano e di 250 ore di lavoro animale mentre le operazioni di fertilizzazione coprivano rispettivamente il 17 per cento e il 40 per cento di questi totali• Assumendo per difetto che le 10 tonnellate di concime applicate per ettaro contengano soltanto uno 0,5 per cento di azoto e considerando che per le inevitabili perdite (lisciviazione o volatilizzazione, soprattutto), di fatto solo la metà di questo azoto veniva effettivamente assorbita dalle piante, 1 kg di azoto garantiva un aumento della produzione pari a 10 kg di grano.• Un campo fertilizzato produceva almeno 250 kg di grano in più di un campo non fertilizzato• Non più del 3-4 per cento di questo grano era destinato a foraggio per gli animali. Dopo la macina, il prodotto garantiva almeno 200 kg di farina, pari a 2,8 GJ di energia alimentare, a fronte di investimenti di 40 MJ di cibo aggiuntivo necessario per il lavoro umano. Ogni unità di energia alimentare investita nelle operazioni di fertilizzazione garantiva dunque un ritorno di 70 unità di piante commestibili. Un rapporto costi/benefici davvero impressionante	
M.CALÌ - Dipartimento Energia	99

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Rapporto tra il cibo e il lavoro umano e animale	
<ul style="list-style-type: none">• Non più del 3-4 per cento di questo grano era destinato a foraggio per gli animali• Dopo la macina, il prodotto garantiva almeno 200 kg di farina, pari a 2,8 GJ di energia alimentare, a fronte di investimenti di 40 MJ di cibo aggiuntivo necessario per il lavoro umano• Ogni unità di energia alimentare investita nelle operazioni di fertilizzazione garantiva dunque un ritorno di 70 unità di piante commestibili	
M.CALÌ - Dipartimento Energia	100



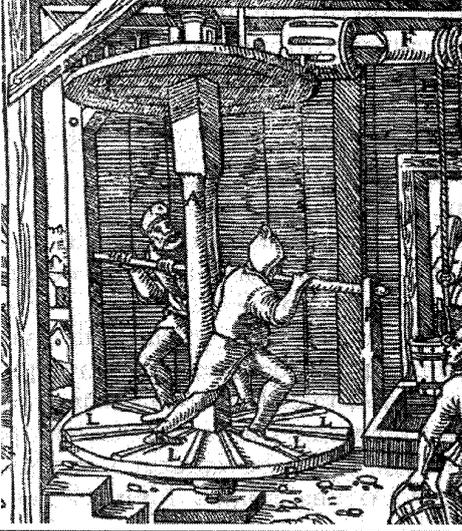
la leva e' una macchina che trasferisce energia da una mano ad un'altra
con una piccola forza si alza una grande massa.
E' un moltiplicatore di forza



*Strumenti che utilizzano energia meccanica -
Sono tutti moltiplicatori di forza.*

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

Motori primi e potenza meccanica

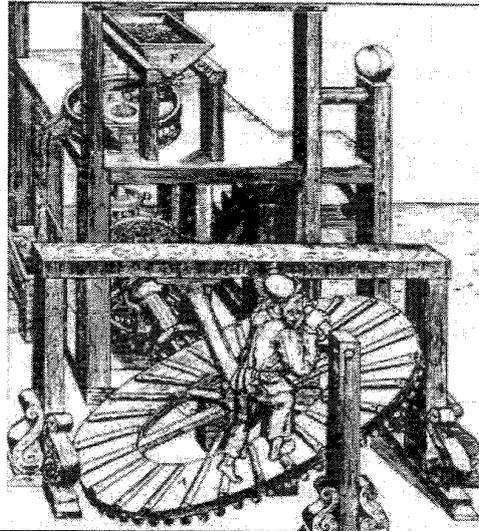


Ruota a pedale orizzontali e inclinata
E' fornita di cunei per migliorare la trazione, e spesso era usata per macinare il grano o per frantumare i minerali
Fonte: Agricola [1556],

M.CALI - Dipartimento Energia 107

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

Motori primi e potenza meccanica



M.CALI - Dipartimento Energia 108

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

Motori primi e potenza meccanica



M.CALP - Dipartimento Energia 111

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

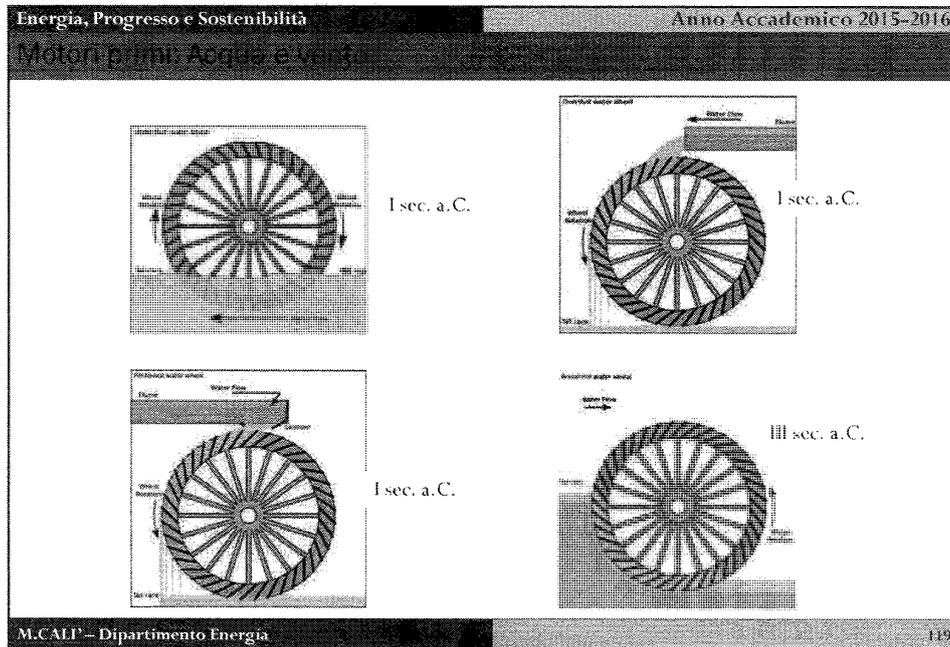
Motori primi e potenza meccanica

- Moltiplicano gli effetti delle forze muscolari
 - Leve: Sollevamento pesi, pinze, carri e carriole
 - Piani inclinati: cunei, viti, costruzioni
 - Pulegge: conosciute durante la dinastia Han in Cina
- Dispositivi meccanici
 - Paranchi
 - Argani
 - Ingranaggi
 - Ruote a pedale che attivano i muscoli più potenti del corpo umano, schiena e gambe

M.CALP - Dipartimento Energia 112

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Ruote idrauliche	
<ul style="list-style-type: none"> • Oltre alle ruote idrauliche fisse, esistevano anche ruote galleggianti, installabili su bettoline o su mulini di marca in grado di sfruttare i flussi e i riflussi della corrente marina usati fino al XVIII secolo <ul style="list-style-type: none"> ○ Per macinare i cereali vennero utilizzati per la prima volta sul fiume Tevere quando nel 537, durante l'assedio di Roma, i goti distrussero l'acquedotto che portava l'acqua ai mulini della città ○ L'utilizzo della potenza intermittente della corrente marina è documentato per la prima volta a Basra, nel X secolo. Nel Medioevo piccoli mulini galleggianti vennero costruiti in Inghilterra, in Olanda, sulla costa atlantica della penisola iberica e soprattutto in Bretagna. Successivamente, si diffusero anche in America del nord e nei Caraibi ○ Prevalentemente queste macchine disponevano di una ruota verticale e potevano lavorare solo sfruttando la marea di riflusso. I mulini più grandi disponevano anche di serbatoi che consentivano di funzionare anche 16 ore al giorno. • Progressivamente, le ruote idrauliche cominciarono ad essere impiegate anche per operazioni diverse dalla macina dei cereali • L'energia prodotta dalle ruote venne utilizzata per alimentare alcuni tipi di lavoro sino ad allora realizzati in forma esclusivamente manuale con livelli di efficienza e produttività che il lavoro manuale non avrebbe mai potuto garantire <ul style="list-style-type: none"> ○ Estrazione dei minerali e metallurgia, segatura e tornitura del legno, spremitura dell'olio, produzione della carta, follatura della stoffa, concia del cuoio, frantumazione dei minerali, preparazione del ferro, trazione dei fili, incisione, taglio e molatura dei metalli, bruciatura del legno, fusione dei metalli, invetriatura e lucidatura della ceramica • L'ampiezza, la continuità, l'affidabilità senza precedenti della potenza fornita dal lavoro delle ruote idrauliche aprì la strada a nuove possibilità produttive, particolarmente nei settori dell'estrazione mineraria e della metallurgia 	
M.CALI - Dipartimento Energia	115

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Ruote idrauliche	
<ul style="list-style-type: none"> • La fondazione energetica del processo di industrializzazione occidentale è legata in misura non trascurabile all'uso specializzato delle ruote idrauliche <ul style="list-style-type: none"> ○ I muscoli umani o animali non avrebbero mai potuto generare quei livelli di potenza elevati, concentrati e continui, indispensabili per incrementare l'estensione, la velocità, la qualità di una serie infinita di operazioni industriali • Prima che le ruote idrauliche riuscissero comunque a superare le capacità e l'efficienza di una numerosa squadra di animali dovette tuttavia passare molto tempo. Per diversi secoli, l'unico sistema per incrementare la potenza dei mulini restò quello di installare una serie di piccole unità operative in siti idonei. Una celebre linea di mulini romani a Barbegal, nei pressi di Arles, contava ben 16 ruote; ciascuna di queste ruote aveva una capacità di circa 2 kW, per un totale superiore ai 30 kW • Installazioni di questo genere restarono molto rare nei secoli successivi • Nei primi decenni del XVIII secolo, le ruote idrauliche europee non superavano in media 4 kW e solo poche macchine raggiungevano i 7 kW: rifiniture imperfette e ingranaggi rudimentali determinavano una bassa efficienza di conversione • Anche le famose e ammirate quattordici grandi ruote idrauliche (12 metri di diametro) realizzate a Marly sulla Senna tra il 1681 e il 1685 per alimentare le fontane della villa di Luigi XIV a Versailles — avevano in teoria una capacità inferiore di poco a 7 kW, ma in pratica non garantivano un risultato utile superiore a 4 kW. 	
M.CALI - Dipartimento Energia	116



The image shows a detailed illustration of a horizontal water wheel mechanism. The wheel is mounted on a wooden frame and is positioned to be struck by water flowing from a channel above. The wheel is connected to a large millstone (macina) mounted on a horizontal shaft. The entire mechanism is housed within a wooden structure. The slide has a header 'Energia, Progresso e Sostenibilità' and 'Anno Accademico 2015-2016', and a footer 'M.CALÌ - Dipartimento Energia' and '120'.

- La ruota idraulica orizzontale, detta ruota greca o norvegese, azionata per impatto dell'acqua corrente che metteva direttamente in moto la macina superiore

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

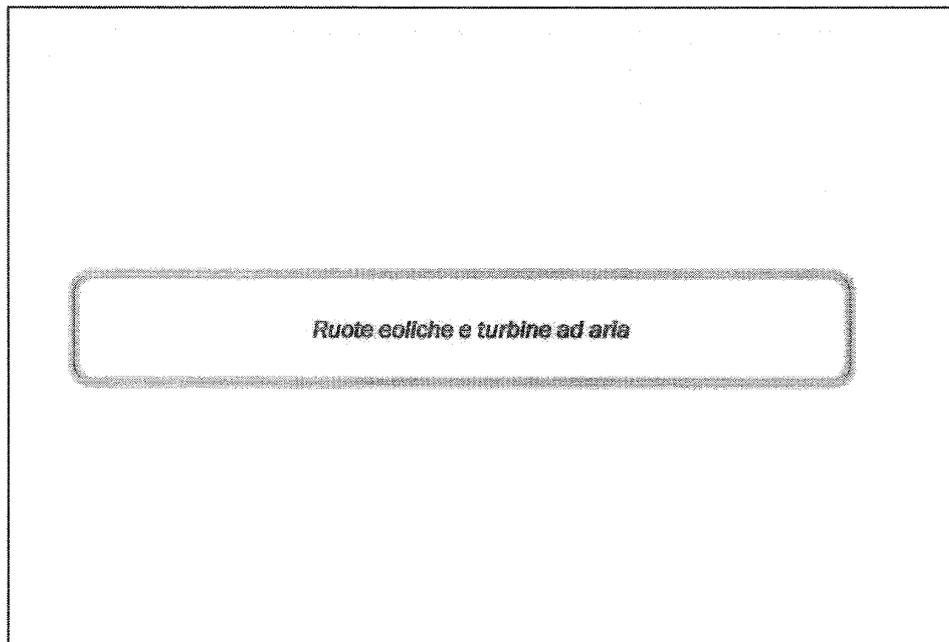
Potenza delle ruote idrauliche a impatto superiore

- L'energia potenziale dell'acqua è

$$E_p = M \cdot g \cdot \Delta h$$

- Un ruota a impatto superiore azionata da una portata di 0,2 m³ di acqua (200 kg) e posta a 3 metri di altezza rispetto al canale di scarico ha un'energia potenziale di circa 6 kJ
- Con un flusso idrico di 400 kg/s la ruota potrebbe avere in linea teorica una potenza di quasi 12 kW
- La potenza meccanica utile di una simile macchina oscillava presumibilmente tra meno di 4 kW per le antiche ruote pesanti in legno a più di 9 kW per una ruota metallica del XIX secolo, ben costruita ben lubrificata

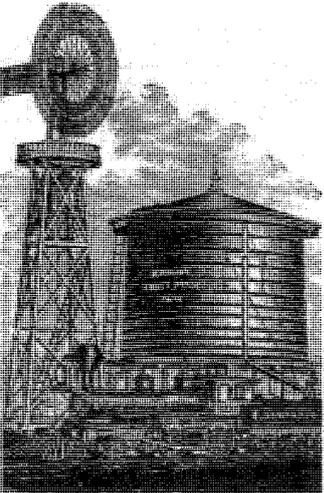
M.CALÌ - Dipartimento Energia 123



Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

Motori primari: Acqua e vento

- Mulino a vento Halladay degli anni 1890-1900 in USA
 - Comuni nei pressi delle stazioni ferroviarie dell'Ovest, dove servivano a pompare l'acqua per rifornire le locomotive a vapore

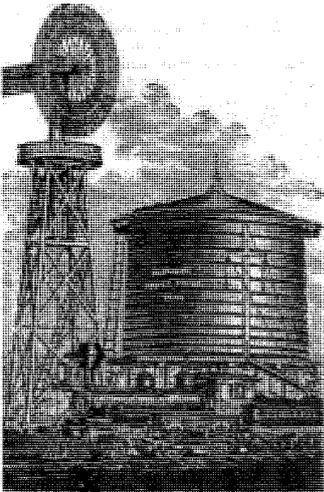


M.CALÌ - Dipartimento Energia 127

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

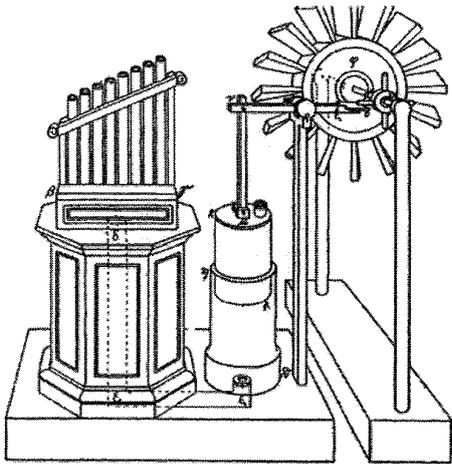
Motori primari: Acqua e vento

- Mulino a vento Halladay degli anni 1890-1900 in USA
 - Comuni nei pressi delle stazioni ferroviarie dell'Ovest, dove servivano a pompare l'acqua per rifornire le locomotive a vapore



M.CALÌ - Dipartimento Energia 128

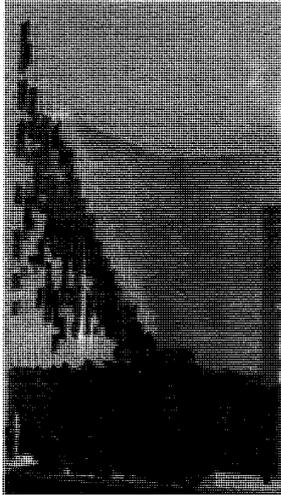
Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016
Motori primitivi: Acqua e vento



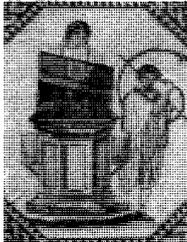
Organo a canne azionato da una pompa mossa dal vento ed attribuito ad Erone di Alessandria (c. 62 a.C.)

M.CALP - Dipartimento Energia 131

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016
Motori primitivi: Acqua e vento



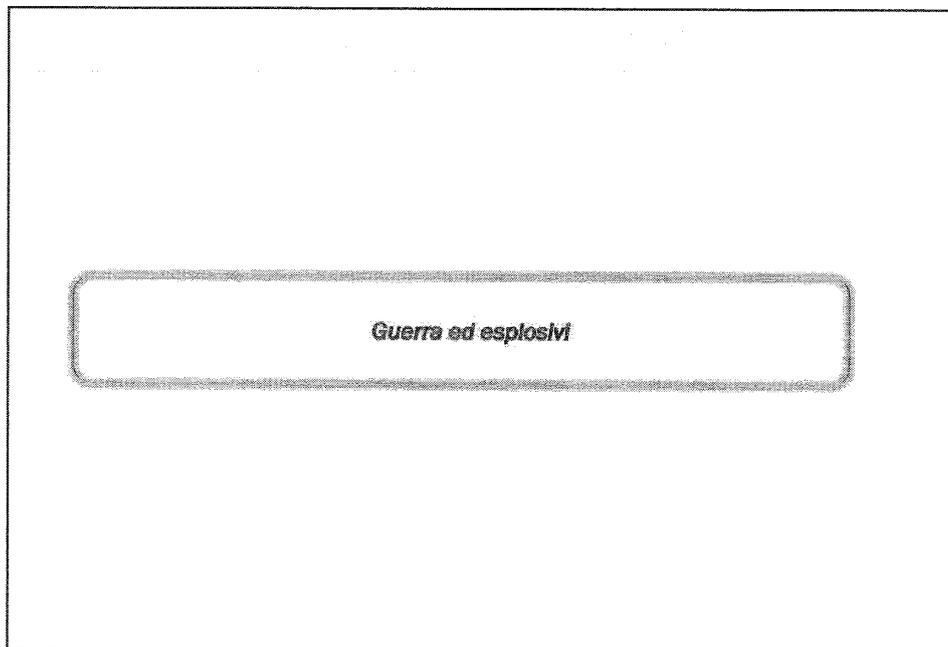
- Hydraulis, tipo primitivo di organo a canne nel quale si convertiva l'energia dinamica dell'acqua in pressione nelle canne sonore
- E' attribuito a Ctesibio ingegnere e scienziato ellenistico di Alessandria, nel III del 3° secolo a.C.
- Probabilmente fu il primo strumento a tastiera al mondo, predecessore dell'organo della chiesa moderna



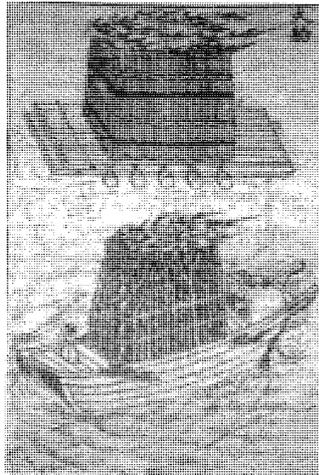
M.CALP - Dipartimento Energia 132

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Mulini a vento e turbine ad acqua	
<ul style="list-style-type: none"> • I mulini a vento erano solitamente usati per macinare il grano e pompare l'acqua come si faceva anche sulle navi con piccole macchine portatili <ul style="list-style-type: none"> ◦ In alcune zone dell'Europa o del mondo islamico venivano anche usati per macinare e rompere diverse materie prime (gesso, cauna da zucchero, mostarda, cacao), per fare la carta, per segare il legno o lavorare il metallo [Hill 1984] ◦ In Olanda, oltre a tutte queste funzioni, i mulini diedero un contributo decisivo al drenaggio delle terre basse del paese e alla conquista di nuovi campi coltivabili per l'agricoltura. I primi mulini olandesi da drenaggio risalgono al 1300, ma si diffusero generalmente solo nel XVI secolo. ◦ In America l'espansione nelle grandi pianure ventose dell'Ovest rese necessaria l'invenzione di nuove macchine, più piccole e semplici, ma comunque efficienti, in grado di servire stazioni ferroviarie e fattorie isolate ◦ Al posto di poche, grandi pale, i mulini a vento americani avevano di norma un gran numero di piccole sottili lame o di stecche collegate a ruote sferiche o in sezione. Normalmente erano equipaggiati con un governatore centrifugo o laterale e con timoni indipendenti, collocati in cima alle torri. Prevalentemente, venivano usati per pompare l'acqua per le case e per il bestiame o per rifornire le locomotive a vapore, un'applicazione indispensabile nel corso dell'espansione ad Ovest delle ferrovie • I mulini a vento raggiunsero la loro massima importanza nel corso del XIX secolo <ul style="list-style-type: none"> ◦ Le Provincie Unite d'Olanda contavano almeno 8.000 mulini nel 1650, ma all'inizio del XIX secolo c'erano 10.000 mulini funzionanti in Inghilterra e più di 48.000 in Germania ◦ Nei paesi affacciati sul mare del Nord, nel 1900, funzionavano almeno 30.000 mulini, per una capacità complessiva di circa 100 MW ◦ Negli Stati Uniti, vennero immessi sul mercato nella seconda metà del XIX secolo diversi milioni di mulini Halladay, Adams e Buchanan, oltre ad altri modelli più piccoli. Un gran numero di mulini a vento per il pompaggio dell'acqua veniva ancora usato all'inizio del nostro secolo in Australia, Sud Africa e Argentina. 	
M.CALÌ - Dipartimento Energia	135

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Mulini a vento e turbine ad acqua	
<ul style="list-style-type: none"> • Le capacità effettive dei primi mulini a vento non sono note <ul style="list-style-type: none"> ◦ Le prime affidabili misurazioni sperimentali risalgono al 1760, quando Smeaton valutò che la potenza di un mulino olandese standard con pale di 9 metri equivaleva alla potenza di dieci uomini o di due cavalli ◦ Questo calcolo, basato su simulazioni effettuate su un modellino, venne confermato dall'analisi delle prestazioni effettive nella spremitura di semi oleosi. Azionati dal mulino, gli ingranaggi della macina facevano 7 giri al minuto: azionati da due cavalli non superavano i tre giri e mezzo. ◦ Un grande mulino olandese del XVIII secolo, con un'apertura alare di 30 metri, aveva una capacità di circa 10 cavalli vapore (7,5 kW) ◦ Calcoli effettuati recentemente su un mulino olandese da drenaggio ben conservato indicano una potenza teorica di circa 30 kW, anche se le imperfezioni e le perdite legate a meccanismi di trasmissione inefficienti abbassavano questo risultato a circa 12 kW ◦ Rankine accredita i mulini a pilastro di una potenza utile tra 1,5 e 5 kW e i mulini a torre di una potenza tra 4,5 e 10,5 kW ◦ Calcoli analoghi relativi ai mulini a vento americani individuano una potenza utile oscillante tra i 30 watt per le ruote da due metri e mezzo a un kW e più per i modelli di 7,6 metri ◦ Nel Medioevo i mulini a vento e i mulini ad acqua avevano all'incirca la medesima capacità (da 1 a 2 kW) • Ma all'inizio del XIX secolo un divario enorme separava ormai questi due motori primi meccanici. Gran parte dei mulini ad acqua erano dalle quattro alle cinque volte più potenti anche dei più grandi mulini a vento e generavano da 8 a 12 kilowatt di potenza utile. Questa differenza si sarebbe poi ulteriormente accentuata con l'introduzione e lo sviluppo delle turbine idrauliche. 	
M.CALÌ - Dipartimento Energia	136



Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016



- Brulotti cinesi; immagine tratta dal manoscritto militare Wujing Zongyao, 1044 dinastia Song

M.CALP - Dipartimento Energia 140

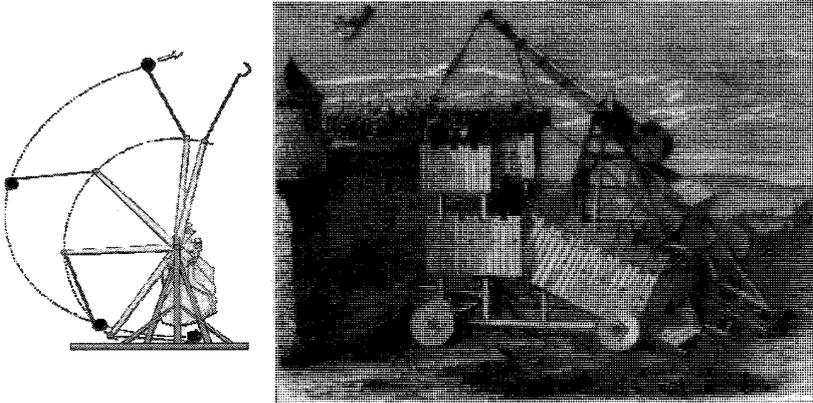
Arco e trabucco sono degli accumulatori di energia.

Ad esempio un arco che tende un arco per un minuto scende nell'arco
questo è l'energia rilasciata istantaneamente (potenza).

$$150 \cdot 60 \text{ s} = 9 \text{ kJ}$$

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

Trabucco



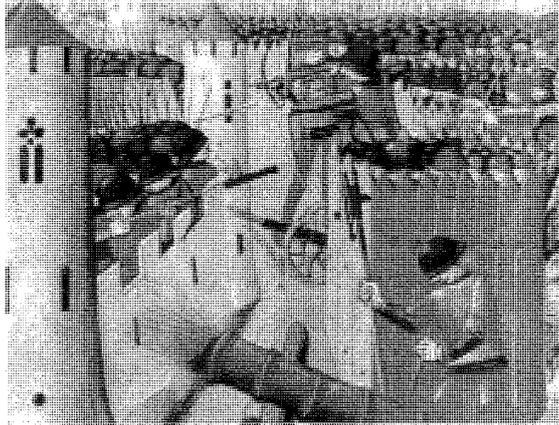
Incisione del 1869 raffigurante un trabucco del XIII secolo nell'atto di lanciare una salva incendiaria

M.CALI - Dipartimento Energia 143

Il corso adoperando fuoco e cannoni disperava cioè il controllo di grandi
quantità di energia.

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2015-2016

I primi cannoni



Battaglia di Orléans del 1428

M.CALI - Dipartimento Energia 144

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Metodi primi: Guerra ed Esplosivi	
<ul style="list-style-type: none"> • Solo la polvere da sparo riuscì a combinare la forza propulsiva con un notevole potenziale esplosivo e infiammatorio. • La polvere da sparo trae indubbiamente origine dall'esperienza alchemica e metallurgica dei cinesi <ul style="list-style-type: none"> ◦ Prima ancora di provare a combinarli insieme, i cinesi conoscevano bene questi tre ingredienti: il nitrato di potassio (KNO₃, salnitro), lo zolfo, il carbone ◦ La prima formula risale a un testo taoista classico della metà del IX secolo ma dettagliate istruzioni per preparare la polvere di diversi tipi di bombe furono pubblicate nel 1040 ◦ Le prime misture comunque non erano veri e propri esplosivi perché contenevano soltanto il 50 per cento di salnitro. • La proporzione giusta per avere un'adeguata capacità detonante prevedeva il 75 per cento di salnitro, il 15 per cento di carbone e il 10 per cento di zolfo • A differenza dei processi di combustione ordinari, in cui l'ossigeno deve essere preso dall'aria, il KNO₃ incendiato fornisce l'ossigeno in modo autonomo; la polvere da sparo produce quindi velocemente un'espansione di 3.000 volte il proprio volume gassoso • Se appropriatamente circoscritta e direzionata, questa forza può essere usata come propellente per proiettili anche molto pesanti, come attesta la rapida diffusione di cannoni e diversi altri tipi di arma da fuoco dopo l'invenzione della polvere da sparo. 	
M.CALI - Dipartimento Energia	147

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2015-2016
Metodi primi: Guerra ed Esplosivi	
<ul style="list-style-type: none"> • I primi pezzi di artiglieria furono le lance da fuoco cinesi del X secolo, tubi capaci di sparare frammenti di materiali vari e realizzati in bambù, quindi in metallo, diventando poi semplici cannoni di bronzo in grado di scagliare pietre • I primi fucili vennero realizzati in Cina prima della fine del XIII secolo e in Europa nei primi decenni del XIV • Le esigenze belliche determinarono un tasso di innovazione molto rapido, che portò alla creazione di fucili e bocche da fuoco sempre più potenti e precisi la cui potenza aumentò sensibilmente con l'introduzione delle pallottole in ferro nel XV secolo • Le implicazioni strategiche dell'uso bellico della polvere da sparo furono immense, su terra e su mare <ul style="list-style-type: none"> ◦ Eliminò la necessità di prolungati assedi a fortezze e castelli apparentemente inspiegabili ◦ I pezzi di artiglieria più precisi e palle e pallottole in ferro, molto più compatte e distruttive delle vecchie munizioni in pietra, permettevano di conquistare facilmente molte fortezze perché gli attaccanti potevano distruggere pesanti strutture in pietra tenendosi fuori dalla portata delle armi nemiche • L'introduzione di queste innovazioni segnò la fine del valore difensivo dei castelli e delle città fortificate tradizionali <ul style="list-style-type: none"> ◦ Le vecchie fortezze medievali protette da sottili mura di pietra furono rimpiazzate da nuovi modelli. I più comuni consistevano in bassi poligoni a forma di stella protetti da massicci terrapieni e da enormi fossati pieni d'acqua, la cui realizzazione richiedeva sempre considerevoli spese in termini di materiale di costruzione e di energia ◦ Le fortificazioni di Longwy (nella Francia nordorientale), progetto del famoso architetto militare francese Sébastien Vauban (1633-1707), richiesero 640.000 metri cubi di roccia e pietra e 120.000 metri cubi di mattoni • Le navi da guerra armate di cannoni furono i principali veicoli della grande espansione degli europei che, forti della loro superiorità tecnica, riuscirono a estendere il loro dominio in angoli anche molto remoti del pianeta <ul style="list-style-type: none"> ◦ La disponibilità di cannoni a lunga gittata garantì alla flotta inglese il vantaggio decisivo sull'Invincibile Armata spagnola nel 1588 ◦ Un secolo dopo, i grandi velieri erano in grado di montare anche 100 pezzi di artiglieria: la flotta inglese e quella olandese impegnate nella battaglia di La Hogue, nel 1692, erano armate di ben 6.756 cannoni • Questo livello di sviluppo tecnico nel settore degli armamenti fu superato alla metà del XIX secolo con l'introduzione delle polveri a nitrocellulosa (durante gli anni Sessanta) e della dinamite (brevettata da Alfred Nobel nel 1867) 	
M.CALI - Dipartimento Energia	148

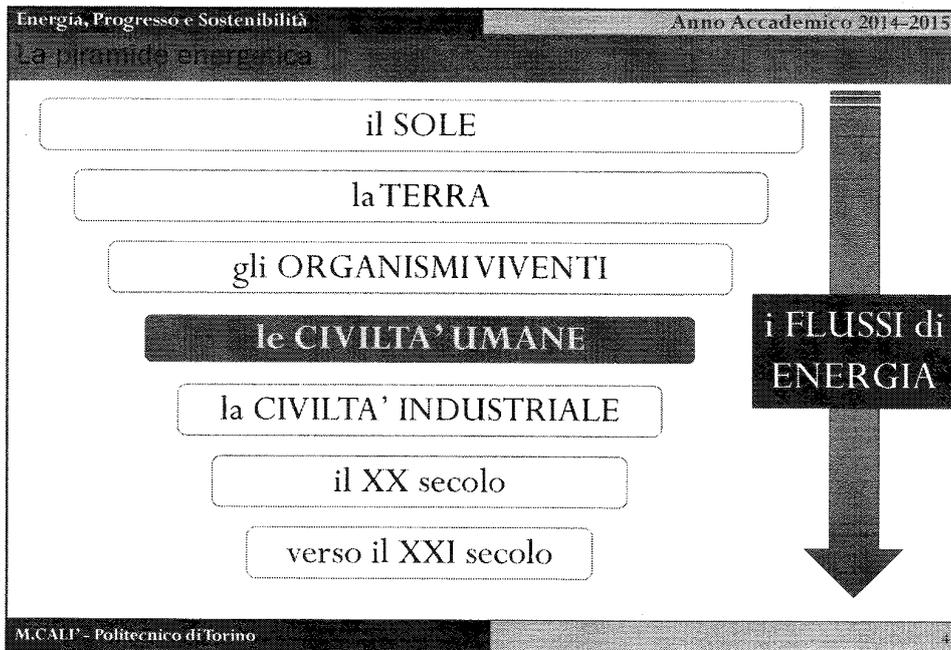


Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

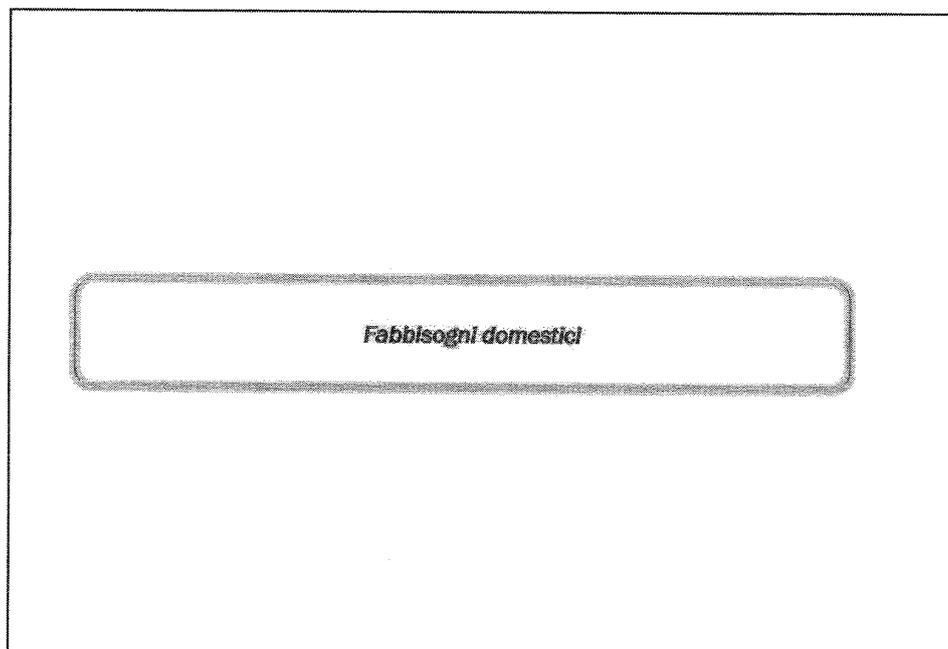
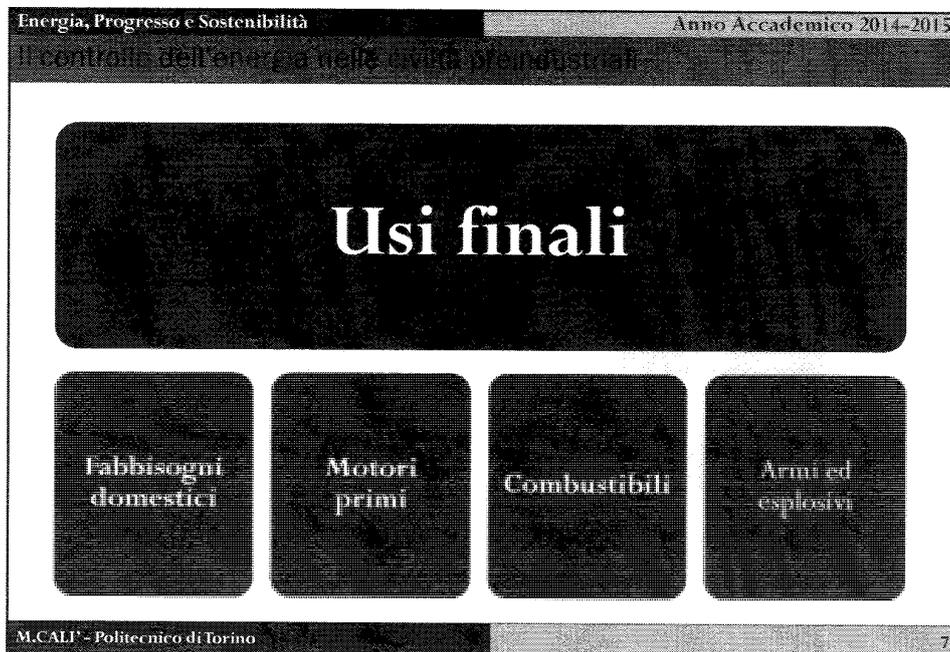
Multipli e sottomultipli delle unità di misura

10 ⁿ	Prefisso	Simbolo	Nome	Equivalente decimale
10 ²⁴	Yotta	Y	Quadrilionesimo	1.000.000.000.000.000.000.000.000
10 ²¹	Zetta	Z	Trilionesimo	1.000.000.000.000.000.000.000
10 ¹⁸	Ecta	E	Milionesimo	1.000.000.000.000.000.000
10 ¹⁵	Peta	P	Bilionesimo	1.000.000.000.000.000
10 ¹²	Tera	T	Millionesimo	1.000.000.000.000
10 ⁹	Giga	G	Milionesimo	1.000.000.000
10 ⁶	Mega	M	Millesimo	1.000.000
10 ³	Kilo	k	Mille	1.000
10 ²	hecto	h	Cento	100
10 ¹	deca	da	Dieci	10
10 ⁰			Uno	1
10 ⁻¹	deci	d	Decimo	0,1
10 ⁻²	centi	c	Centesimo	0,01
10 ⁻³	milli	m	Millesimo	0,001
10 ⁻⁶	micro	μ	Millesimo	0,000.0001
10 ⁻⁹	nano	n	Millesimo	0,000.000.0001
10 ⁻¹²	pico	p	Billesimo	0,000.000.000.0001
10 ⁻¹⁵	femto	f	Trilionesimo	0,000.000.000.000.0001
10 ⁻¹⁸	atto	a	Trilionesimo	0,000.000.000.000.000.0001
10 ⁻²¹	zepto	z	Trilionesimo	0,000.000.000.000.000.000.0001
10 ⁻²⁴	yocto	y	Quadrilionesimo	0,000.000.000.000.000.000.000.0001

M.CALP - Politecnico di Torino 1



L'acqua chlorava le unave per i propri usi finali.



Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
<ul style="list-style-type: none"> • Le differenze tra le diverse varietà di legna erano sorprendentemente poco rilevanti • Esistono migliaia di piante legnose diverse, ma la loro composizione chimica è singolarmente omogenea. Tutte, più o meno, sono composte per due quinti da cellulosa e per un terzo da semicellulosa e da lignina • Le differenze fisiche sono invece decisive <ul style="list-style-type: none"> ○ La massa specifica di alcune querce, per esempio, è circa il doppio di quella di molti pioppi. ○ Il contenuto energetico del legno è proporzionale al contenuto di lignina e di resina, ma le differenze tra le specie più diffuse sono relativamente limitate ○ Quando il contenuto di umidità del legno supera il 67 per cento il fuoco non prende ○ Per questo motivo, i rami o gli arbusti caduti o gli alberi morti sono stati sempre preferibili alla legna fresca e il legno è sempre stato fatto asciugare all'aria prima di essere bruciato • Nelle società tradizionali, la legna tagliata veniva accatastata, coperta e lasciata a seccare per almeno due mesi, ma anche nei climi più asciutti conservava sempre una componente di umidità del 15 per cento 	
M.CALI - Dipartimento Energia	11

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
<h3>Il carbone di legna</h3> <ul style="list-style-type: none"> • Caratteristiche <ul style="list-style-type: none"> ○ Ha trascurabili tracce di umidità e per questo motivo è sempre stato preferito da quelle società che potevano permetterselo. ○ Praticamente non produce fumo e il suo contenuto energetico, pari a quello del carbone bituminoso, è all'incirca superiore del 50 per cento a quello del legno essiccato all'aria ○ E' relativamente puro ed ha un basso contenuto di zolfo e di fosforo che ne fa il combustibile ideale per il ri-scaldamento degli interni, per la produzione di mattoni, tegole, calce da fornace e per la fusione dei metalli ○ Per quanto riguarda la fusione ha l'ulteriore vantaggio di elevata porosità e di una densità specifica tra 0,13 e 0,20 rispetto al 2,0 della fuliggine che favorisce infatti l'ascesa dei gas nella fornace • I metodi tradizionali di produzione <ul style="list-style-type: none"> ○ Comportavano molti sprechi perché il calore necessario per la carbonizzazione era generato dalla combustione parziale del legno ammassato in buche o in primitive fornaci di terra ○ Non c'era bisogno perciò di ulteriore combustibile, ma la qualità e la quantità del prodotto finale erano piuttosto difficili da controllare ○ In media il carbone prodotto in queste fornaci equivaleva al 15-25 per cento del legno bruciato, con una perdita quindi del 60 per cento circa in termini di energia complessiva 	
M.CALI - Dipartimento Energia	12

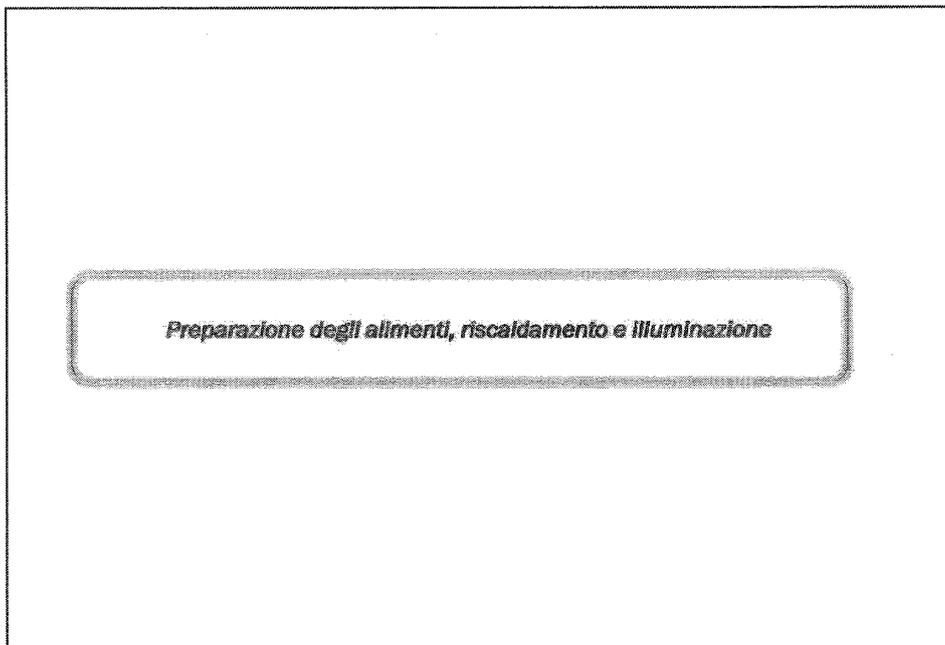
Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Il fabbisogno di energia

- Studi condotti su società tradizionali ancora dipendenti nella seconda metà del XX secolo dai combustibili organici hanno indicato un fabbisogno inferiore ai 500 kg di combustibile pro capite nelle zone più povere dei tropici
- La presenza di inverni più rigidi e prolungati e di forme di produzione e di manifattura basate sul legno possono determinare comunque un fabbisogno anche cinque volte superiore
- Prima di passare al carbon fossile, in Europa occidentale e in nord America il fabbisogno medio era molto più alto.
 - Nell'Ottocento, alcune comunità del nord Europa, del New England, del Midwest e del Canada, che per cucinare e per riscaldarsi usavano esclusivamente legna, consumavano dalle 3 alle 6 tonnellate di combustibile pro capite l'anno
 - A metà del XIX secolo, in ogni caso, la media nazionale americana era sulle 5 tonnellate pro capite
 - Anche se questa cifra comprendeva già un crescente fabbisogno legato alla produzione industriale e ai trasporti, la domanda di legna per uso domestico restò la voce principale dei consumi di legna americani fino agli anni Cinquanta dell'Ottocento

M.CALÌ - Dipartimento Energia 15

confronto di fabbisogno domestici

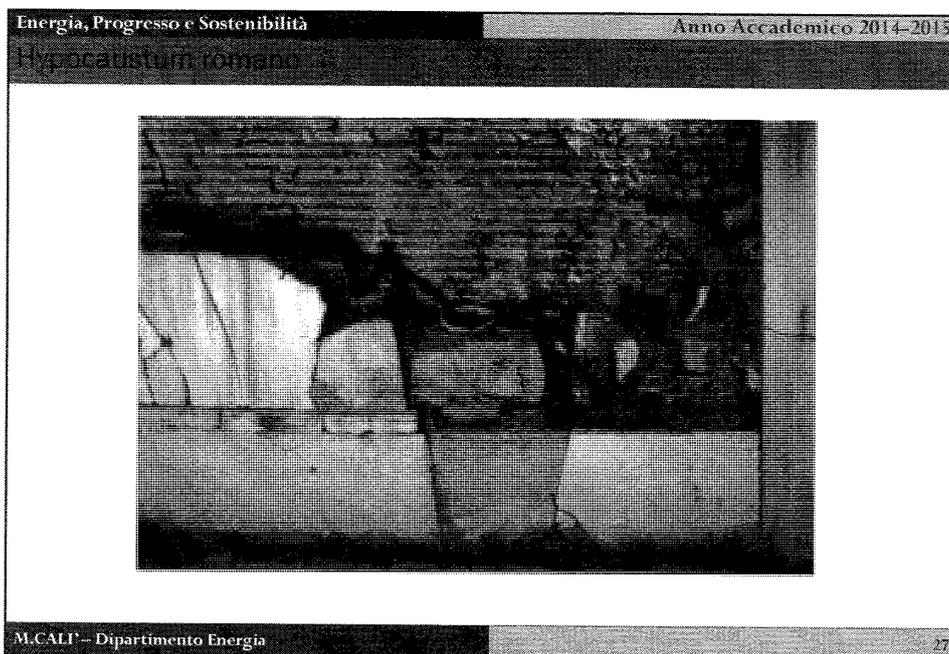


Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Preparazione degli alimenti: riscaldamento e illuminazione	
<ul style="list-style-type: none"> • In tutte le società situate lungo latitudini medie e in tutte le culture boreali era indispensabile anche il riscaldamento stagionale delle abitazioni <ul style="list-style-type: none"> ○ Le case dell'età preindustriale generalmente venivano riscaldate per periodi di tempo sorprendentemente brevi e a temperature relativamente basse ○ Nelle regioni in cui il combustibile era particolarmente scarso, il riscaldamento delle case era sconosciuto, nonostante inverni lunghi e molto freddi ○ Nelle pianure deforestate della Cina Ming e Qing, nessuna abitazione veniva riscaldata nelle zone a sud del fiume Yangzee, anche se in alcune zone più settentrionali di questa regione le temperature tra gennaio e febbraio oscillavano in media tra i 2 e i 4°C, con punte minime di -10°C • Il fabbisogno energetico domestico delle società dell'Asia orientale o del Medio Oriente era di conseguenza molto basso • In termini assoluti la domanda di combustibile di alcune comunità dell'Europa settentrionale e dell'America del nord era molto più alta, ricordando che l'efficienza di combustione era in molti casi estremamente bassa <ul style="list-style-type: none"> ○ Un alto consumo di combustibile poteva in effetti produrre quote relativamente limitate di calore utile: di conseguenza, anche nell'America del XIX secolo, che poteva contare su una grande abbondanza di legna da ardere, ciascuna famiglia in media sfruttava solo una piccola frazione dell'energia utile consumata da una famiglia del nostro secolo. 	
M.CALI - Dipartimento Energia	19

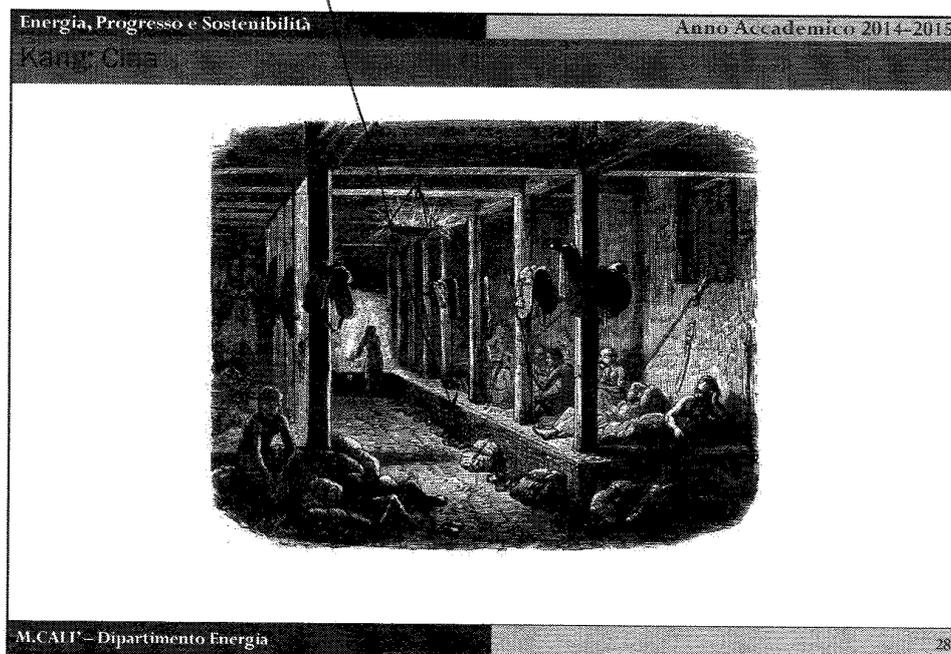
Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Preparazione degli alimenti: riscaldamento e illuminazione	
<ul style="list-style-type: none"> • Considerato il predominio dei cereali nelle diete base di tutte le culture avanzate, la macina del grano ha rappresentato indubbiamente la più importante tecnica di lavorazione alimentare perché il grano non lavorato non è particolarmente gustoso, è difficile da digerire e non può essere usato per fare il pane <ul style="list-style-type: none"> ○ La macina produce farine di varia grossezza che possono essere utilizzate per preparare alimenti estremamente digeribili, pane e pasta soprattutto. ○ I primi utensili per macinare il grano erano pietre incavate, pestelli e mortai di pietra ○ Le antiche società del Medio Oriente e le popolazioni dell'Europa preclassica usavano una pietra oblunga, ovale, a forma di sella che poteva essere azionata stando in ginocchio ○ La prima innovazione importante fu l'introduzione della macina a spinta dotata di cassette e di una pietra d'appoggio scanalata ○ La macina greca a clessidra aveva un cassetto conico e una mola ○ La produttività di tutti questi utensili azionati esclusivamente dalla forza muscolare umana era naturalmente molto bassa • Il faticoso, noioso lavoro di macina a mano non rendeva più di 2-3 kg di farina grezza all'ora <ul style="list-style-type: none"> ○ In Grecia e a Roma, due uomini (normalmente schiavi) che giravano una macina a mano, lavoravano a livelli inferiori ai 200 W e potevano macinare 7 kg di farina all'ora ○ Un asino che azionava una macina a clessidra a una potenza di circa 300 watt riusciva invece a macinare circa 12 kg di farina all'ora. 	
M.CALI - Dipartimento Energia	20

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Riscaldamento e illuminazione	
<ul style="list-style-type: none"> • Fino all'inizio dell'era industriale si fecero invece pochissimi progressi. Le popolazioni dall'antichità <ul style="list-style-type: none"> ◦ Accendevano fuochi all'aperto per preparare arrosti (direttamente sul fuoco o con spiedi, schirioni, griglie) o per bollire, friggere, stufare i cibi ◦ Usavano bracieri per bollire l'acqua o per grigliare la carne, e semplici forni di argilla o di pietra per preparare il pane ◦ Le focacce venivano cotte lungo le pareti di forni in argilla mentre il pane lievitato veniva collocato su superfici piatte ◦ La scarsità di combustibile tendeva a favorire metodi di cottura a bassa energia ◦ I cinesi usavano già delle pentole poste su tre gambe cave (li) nel 1500 a.C. ◦ Paddle curve e profonde — il kuali indiano e del Sudest asiatico, il kuo cinese, meglio noto in occidente come il wok cantonese — venivano utilizzate per friggere, stufare, e cuocere a vapore i cibi più velocemente • Le origini della stufa da cucina restano incerte, ma la sua diffusione rese necessaria la costruzione di camini <ul style="list-style-type: none"> ◦ Anche nelle zone più ricche e avanzate d'Europa, i camini restarono una rarità fino all'inizio del XV secolo ◦ I cinesi usavano stufe in argilla o in mattoni, ma in molte case i camini furono introdotti solo all'inizio del XX secolo ◦ Le prime stufe in ferro capaci di racchiudere completamente il fuoco e di sostituire del tutto i fuochi aperti nella cottura degli alimenti e nel riscaldamento delle abitazioni si affermarono solo nel XVIII secolo ◦ Benjamin Franklin inventò la sua famosa stufa nel 1740; la sua controparte europea fu l'arrostitore Rumford, brevettato del 1798 	
M.CALI - Dipartimento Energia	23

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Riscaldamento e illuminazione	
<ul style="list-style-type: none"> • I metodi tradizionali di riscaldamento e illuminazione erano spesso primitivi e inefficienti, il che in fondo è abbastanza strano considerato il livello di innovazione meccanica spesso sorprendentemente elevato delle civiltà dell'antichità <ul style="list-style-type: none"> ◦ Per millenni, le abitazioni continuarono ad essere riscaldate con fuochi aperti e semplici focolari utilizzati anche per cucinare ◦ Il bagliore del fuoco, la luce debole e tremolante delle candele e delle lampade ad olio fornivano l'unica, scarsa fonte di illuminazione. ◦ La prima innovazione di rilievo consistette nella costruzione di rudimentali camini a tre lati, ma questa novità non garantì che un trascurabile aumento di efficienza ◦ Un buon camino permetteva infatti di mantenere il fuoco acceso per tutta la notte ma non era egualmente molto efficiente. I migliori livelli di efficienza potevano avvicinarsi al 10 per cento, ma le prestazioni medie non superavano il 5 % ◦ Spesso il camino riscaldeva solo uno spazio molto circoscritto ma tendeva a risucchiare aria fredda dall'esterno: in questo modo, c'era addirittura il rischio di una perdita complessiva di calore nella stanza. ◦ I livelli di efficienza delle tradizionali stufe in argilla o in mattoni erano molto vari e dipendevano sia dal modello (spesso determinato dai metodi di cottura) sia dal tipo di combustibile impiegato • Calcoli moderni effettuati su tipiche stufe rurali di origine asiatica, rimaste immutate per secoli, consentono di definirne i livelli massimi di efficienza <ul style="list-style-type: none"> ◦ Le grandi stufe di mattoni a grate alimentate a legna (con lunghe canne fumarie e un tetto spesso) avevano un'efficienza del 20 % ◦ Le stufe più piccole, maggiormente esposte alle correnti d'aria, con canna fumaria più corta e alimentate da paglia o fieno, avevano invece un'efficienza tra il 15 e il 10 per cento 	
M.CALI - Dipartimento Energia	24

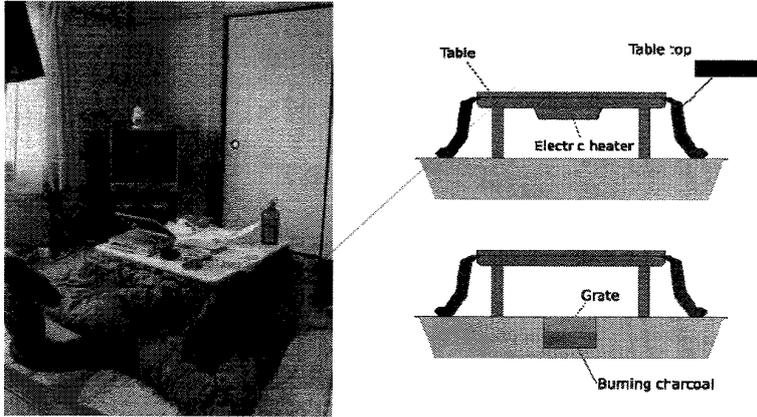


Per riscaldare i piani letto fatti di mattoni, al di sotto di questi vecchi mucchi della legna -



Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Giappone: Kobasui



M.CALI - Dipartimento Energia 31

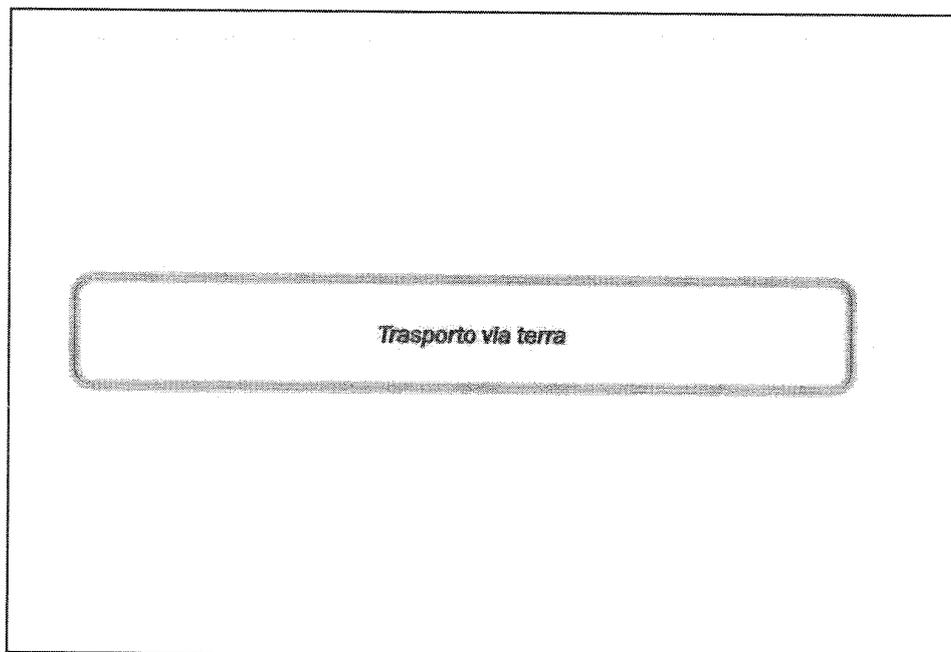
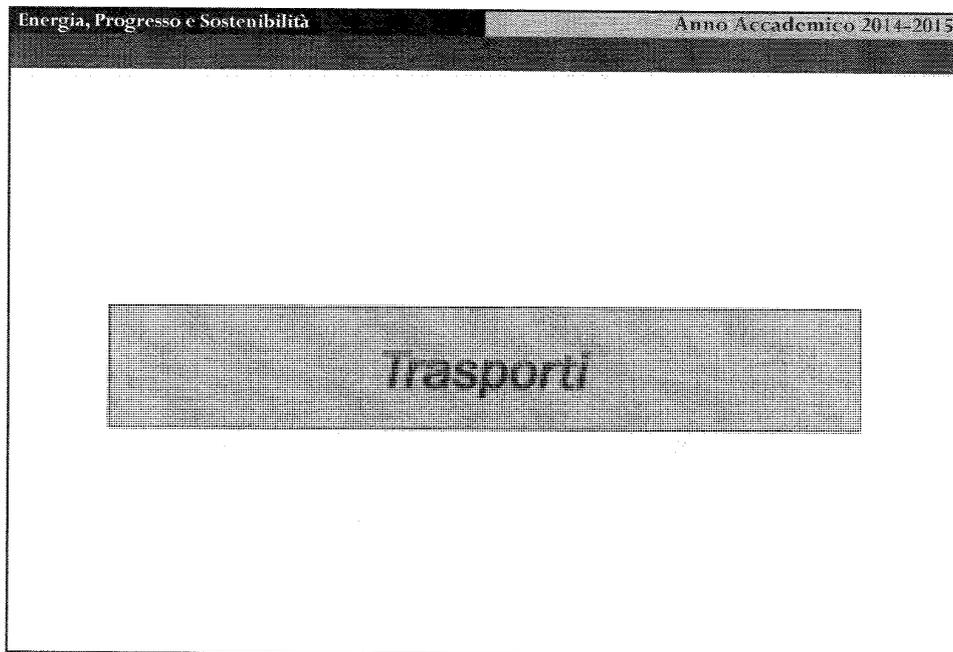
M.D

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Riscaldamento e Illuminazione

- Nelle società preindustriali i combustibili a base organica fornivano anche gran parte dell'energia necessaria per l'illuminazione
- Le fiaccole, vari tipi di torcia in legno resinoso, rappresentavano il sistema di illuminazione più semplice ma al tempo stesso meno efficiente e meno conveniente
 - Lampade alimentate a olio o da grassi animali fecero la loro apparizione in Europa nell'alto paleolitico, circa 40.000 anni fa
 - Le candele cominciarono a essere usate in Medio Oriente solo dopo l'800 a.C.
 - Sia le lampade a olio sia le candele producevano molto fumo e rappresentavano una fonte di luce debole e inefficiente, ma almeno erano facilmente trasportabili e non molto pericolose
 - Candele e lampade bruciavano tutta una varietà di grassi e di cere animali e vegetali (olio d'oliva e di ricino, semi di colza di lino, grasso di balena, sego, cera d'api) con stoppini di papiro, giunco, fibra di lino, canapa
 - Sino alla fine del XVIII secolo, l'illuminazione artificiale degli interni era affidata di norma ad una sola candela. Una maggiore illuminazione fu resa possibile solo da una straordinaria moltiplicazione di queste piccole fonti di luce.
- Le candele convertono in luce solo lo 0,01 per cento della loro energia chimica. Il punto luce di una fiamma di candela ha un'irradiazione media (il tasso di energia per unità di area) superiore solo del 20 per cento alla luce del giorno. Le innovazioni introdotte all'inizio del Settecento portarono prima a duplicare poi a triplicare queste ridotte prestazioni

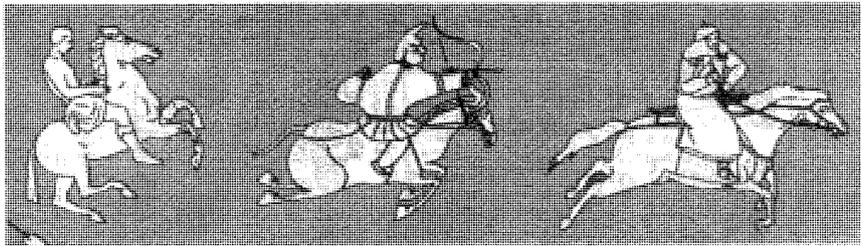
M.CALI - Dipartimento Energia 32



Le staffe migliorarono l'uso del cavallo.

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Trasporto via terra: cavalcature senza staffe

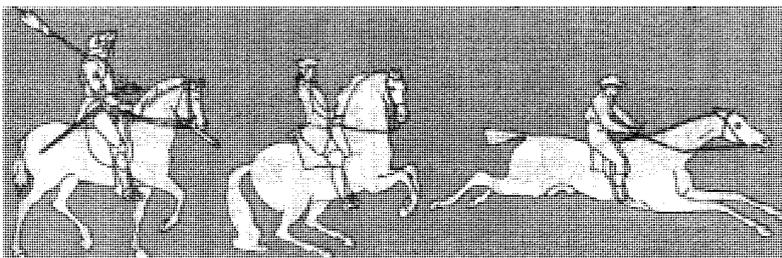


- Gli arcieri nomadi cavalcavano senza staffe. Con i loro cavalli piccoli e scattanti, e archi e frecce molto potenti, erano straordinarie e mobilissime unità di combattimento già parecchi secoli prima dell'invenzione delle staffe
- da sinistra a destra
 - un cavaliere dell'antica Grecia senza staffe, che si regge con la forza delle proprie ginocchia
 - un arciere a cavallo dell'Asia, secondo la raffigurazione di un artista della dinastia Han
 - un cavaliere della Mongolia durante l'attacco alle truppe giapponesi a Kyushu nel 1274

M.CALÌ - Dipartimento Energia 39

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Trasporto via terra: cavalcature con le staffe



- Le staffe si diffusero in Occidente attraverso l'Eurasia dopo il III secolo. Senza di esse un cavaliere rivestito da un'armatura pesante con lancia o spadone non sarebbe neppure riuscito montare a cavallo o a combattere in modo efficace
- Da sinistra a destra
 - il cavaliere di Albrecht Dürer (da Il cavaliere, la morte e il diavolo, incisione del 1513);
 - un cavaliere spagnolo del XVIII un cavaliere inglese del XIX secolo

M.CALÌ - Dipartimento Energia 40

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Trasporti via terra di pesi

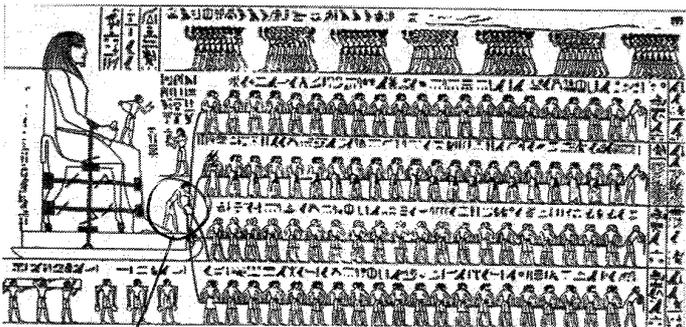
- In termini energetici, nelle società tradizionali l'operazione più costosa e faticosa consisteva nel trasporto delle enormi pietre da costruzione e di materiali finiti sino ai luoghi di costruzione
- Tutte le culture dell'antichità scavavano, trasportavano e mettevano in opera grandi pietre

M.CALI - Dipartimento Energia 43

Tutti i miei: e come moltiplicare la potenza di un motore

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Trasporti via terra di pesi



Dipinto egiziano del 1880 a.C. che raffigura la cava di el-Bersheh dove 166 uomini trascinano una statua colossale di pietra alta 7 metri e pesante più di 50 tonnellate su una enorme slitta. Il percorso della slitta è costantemente lubrificato da un operaio che versa a terra acqua o olio. Poiché la lubrificazione poteva quasi dimezzare l'attrito della slitta, il lavoro degli operai, in grado di toccare una punta massima superiore ai 30 W, era in grado di spostare un carico di 50 t

M.CALI - Dipartimento Energia 44

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

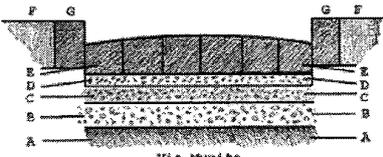
Sistema viario romano

- I romani a partire dal 312 a.C. (costruzione della Via Appia che porta da Roma a Capua), realizzarono un'imponente rete viaria (le viae) tutta con di strade pavimentate con notevoli investimenti in termini di lavoro ed elevatissime capacità organizzative
 - Le viae romane erano ricoperte da conglomerati di ghiaia e ciottoli e da lastroni di pietra. Sotto Diocleziano, il sistema viario romano, il cursus publicus, copriva circa 85.000 km
 - La sua realizzazione richiese circa 1 miliardo di giornate lavorative, ma nel corso dei secoli, col perfezionamento delle tecniche di costruzione, questo tasso di investimenti era sceso a livelli meno impegnativi
 - In Europa occidentale, i risultati romani in questo settore vennero superati solo nel XIX secolo e in molte regioni orientali del continente addirittura soltanto nel XX secolo.

M.CALI - Dipartimento Energia 47

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Costo energetico delle strade romane



F G G F
 E D C B A E D C B A
 VIA MUSITA

Date le dimensioni medie delle strade romane (5 metri di larghezza, 1 metro di profondità) i lavoratori dovettero rimuovere qualcosa come 800 milioni di metri cubi di rocce e terra e mettere in posa circa 425 Mm³ di sabbia, ghiaia, calcestruzzo, pietra per costruire letti stradali, banchine, fossi per 85.000 km di rete stradale

- Con l'ipotesi che un lavoratore potesse lavorare soltanto 1 m³ di materiale al giorno, le diverse operazioni necessarie per la posa in opera della strada (l'estrazione, il taglio, la frantumazione e il trasporto delle pietre, lo scavo della sabbia per fondamenta, fossi e letti stradali, la preparazione del calcestruzzo e della malta) richiesero complessivamente 1,2 miliardi di giornate lavorative.
- Ipotizzando che la manutenzione ordinaria ed eventuali lavori di riparazione portino a triplicare questa stima, il totale complessivo in 600 anni di costruzioni darebbe una media di 6 milioni di giornate lavorative all'anno, pari all'impiego di circa 20.000 lavoratori a tempo pieno
- A un tasso, poniamo, di 800 kJ/h, questo ammontare di lavoro rappresentava un investimento annuale di energia di quasi 5 Tj/a, e a un picco di potenza superiore ai 4 MW

M.CALI - Dipartimento Energia 48

han'uo

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Sistema Strada in Cina	
<ul style="list-style-type: none">• In Cina, durante le dinastie Qin e Han venne costruito un grande sistema di strade per un totale di 40.000 km<ul style="list-style-type: none">○ La rete stradale cinese era meno ampia del coevo cursus romano — sia in termini assoluti, sia in termini di densità di strade per unità di area — e meno avanzata tecnicamente○ Le strade cinesi, costruite pressando ghiaia e calcinacci con pestelli in metallo, avevano una superficie più elastica ma meno resistente delle migliori strade romane○ La gran parte delle merci era trasportata su carri tirati dai buoi e su carriole, mentre per il trasporto delle persone si usavano carretti su ruote e portantine○ Nonostante la diffusione di un'eccellente sorta di sistema postale capace di sopravvivere anche alla crisi della dinastia Han, in Cina il trasporto su strada di merci e persone entrò in seguito in una fase di declino, che in molte regioni del paese fu però compensato in modo più che soddisfacente dallo sviluppo di un buon sistema di canali e di trasporti su acqua	
M.CALI - Dipartimento Energia	51

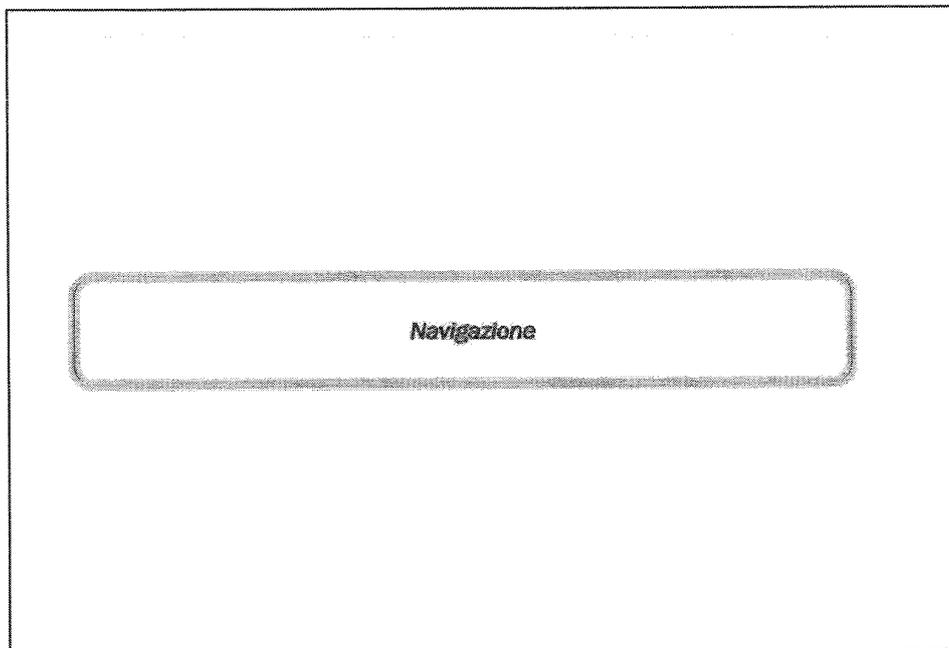
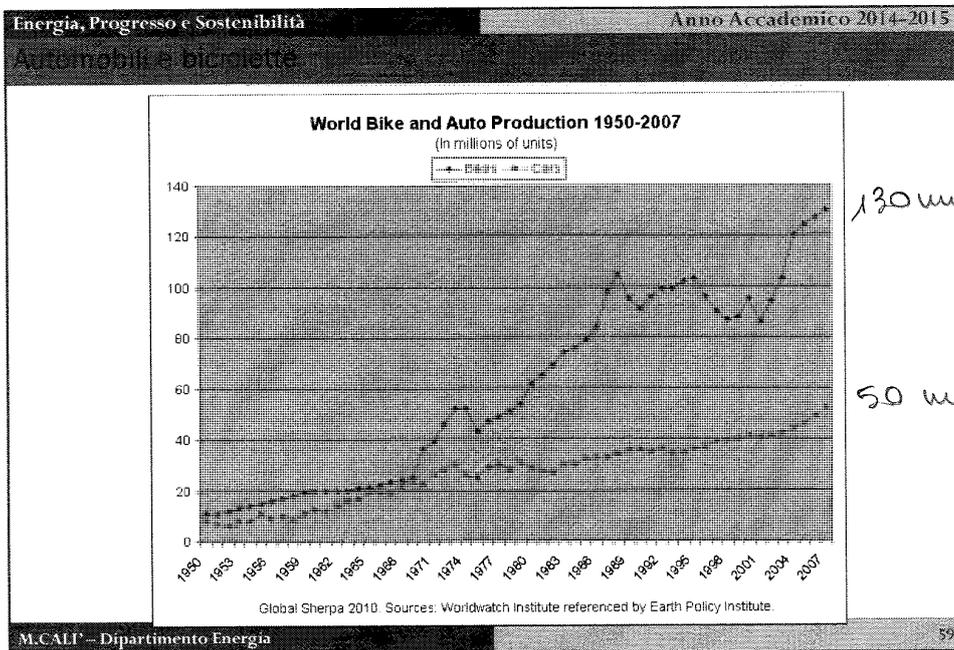
Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
I primi veicoli	
<ul style="list-style-type: none">• I primi veicoli di cui abbiamo notizia vengono dall'Uruk, attorno al 3200 a.C., con ruote piene fino a 1 metro di diametro, ed erano composti da tre o più tavole connesse a mortasa e assemblate da listelli di legno• La successiva diffusione della ruota in diverse culture europee fu notevolmente rapida• Alcune delle ruote più antiche ruotavano attorno a un asse fisso; altre giravano insieme con l'asse• Più tardi (all'inizio del II millennio a.C.), vennero sviluppate delle nuove ruote a raggi, molto più leggere, e veicoli a quattro ruote con un asse guida anteriore, una soluzione che consentiva di effettuare svolte e curve più strette	
M.CALI - Dipartimento Energia	52

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
<ul style="list-style-type: none"> • Gli stessi limiti rimasero in moltissime società sino al XVIII secolo. In Europa <ul style="list-style-type: none"> ○ All'inizio del secolo era più conveniente importare molte merci via mare che non trasportarle con gli animali lungo le strade del paese ○ La neve e la pioggia rendevano le strade inglesi impraticabili, scomode e sconnesse per lunghi periodi di tempo ogni anno; per di più, in molti casi erano anche talmente strette da consentire soltanto il transito di pedoni e di animali da soma. ○ A metà del XVIII secolo, le strade che potevano tollerare il passaggio di carri pesanti tirati dai cavalli erano o molto scarse o addirittura inesistenti in ampie zone dell'Europa orientale ○ Le squadre di quattro, sei cavalli che trascinavano le carrozze duravano in media non più di tre anni ○ Miglioramenti significativi si ebbero soltanto dopo il 1750, iniziando con allargare la carreggiata delle strade e a migliorarne il drenaggio; successivamente si rafforzò la pavimentazione, rendendola più resistente alle intemperie (con ghiaia, asfalto, calcestruzzo comune) ○ Grazie a queste innovazioni, i pesanti cavalli europei riuscirono finalmente a dimostrare le loro eccellenti capacità. A metà del XIX secolo il carico massimo sopportabile dalle strade francesi era salito fino a 1,4 tonnellate, vale a dire a un livello quattro volte superiore la media delle strade romane 	
M.CALI - Dipartimento Energia	55

Appl. uniti del 1900 c'era un miliardo di persone, di cui solo il 3% in città. Oggi su 7,5 miliardi il 50% è in città. Per spostarsi in città bisognava sostituire i cavalli che spersero e creavano disordine in mezzo alle case -

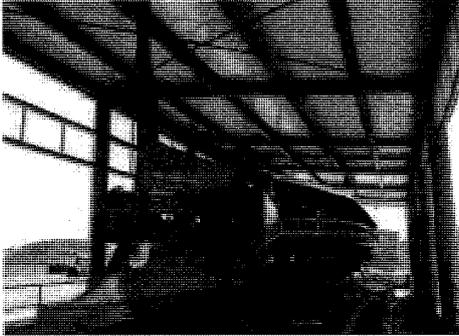
Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
<h3>I trasporti urbani</h3> <ul style="list-style-type: none"> • I cavalli raggiunsero la loro massima importanza nel periodo di sviluppo delle ferrovie, tra il 1820-1830 e la fine del secolo • Nonostante la progressiva affermazione delle ferrovie nel campo dei viaggi e delle spedizioni a lunga distanza, i trasporti a cavallo dominavano il paesaggio in continua e rapida espansione delle città europee e nordamericane. <ul style="list-style-type: none"> ○ Molti carichi spediti via treno dovevano essere raccolti e distribuiti con camion, vagoni e carri trainati da cavalli che consegnavano anche cibo e materie prime provenienti dalla campagna ○ La crescita della popolazione urbana portò anche a una crescente diffusione di vari tipi di carrozze, carrozzelle, omnibus (introdotti per la prima volta a Londra nel 1829) e di furgoni per la consegna delle merci ○ L'alloggiamento degli animali in stalle e la necessità di conservare il foraggio per alimentarli influirono profondamente sull'organizzazione degli spazi urbani ○ Alla fine del regno della regina Vittoria, a Londra si contavano circa 300.000 cavalli ○ I pianificatori di New York presero in considerazione l'ipotesi di riservare alcuni spazi cittadini al pascolo e di sistemarvi i cavalli da utilizzare per il trasporto urbano. • Il costo energetico diretto e indiretto del trasporto urbano a cavallo (i cavalli dovevano essere nutriti; alloggiati, curati, ferrati, guidati, e bisognava provvedere alla rimozione e allo smaltimento dei rifiuti che producevano) era una delle voci più importanti del bilancio energetico delle città della fine del XIX secolo • Questa situazione si modificò in modo abbastanza brusco proprio quando il numero di cavalli urbani stava toccando la sua punta massima, negli anni Novanta, vennero introdotti l'elettricità e il motore a vapore • In meno di una generazione, il traffico equino venne ampiamente soppiantato da vetture elettriche, automobili e bus. 	
M.CALI - Dipartimento Energia	56

ci sono più biciclette che auto!



Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

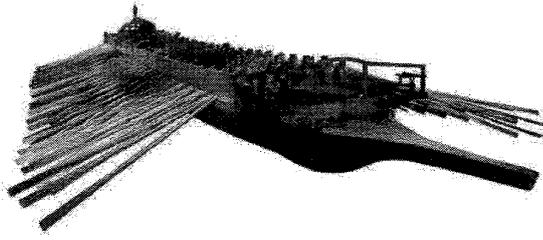
Ingegneria greca



M.CALÌ - Dipartimento Energia 63

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Ingegneria greca



- Nel Mediterraneo, i grandi vascelli a remi rimasero importantissimi sino a tutto il XVII secolo. In quel periodo, le più grandi galere veneziane erano equipaggiate con 56 remi; ciascun remo veniva azionato da 5 uomini [Lane 1934]. Curiosamente, la grandi canoe Maori portavano un equipaggio quasi altrettanto numeroso (sino a duecento guerrieri). Se ne può concludere, di conseguenza, che il limite generale di potenza umana aggregata in prolungate operazioni ai remi oscillava tra 10 e 20 kW.

M.CALÌ - Dipartimento Energia 64

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

La marina a vela

- Nelle culture antiche e classiche del Mediterraneo si usavano vele quadrate (in alto a sinistra)
- Le vele triangolari sono state predominanti per diversi secoli nell'Oceano Indiano e nel mondo arabo, e poi adottate anche dagli Europei
- Un grande scalo in giunco dello Jiangsu esemplifica l'efficienza dei modelli cinesi con vele a fiocche
- La Santa Maria di Cristoforo Colombo aveva vele quadrate, una vela di garro-fetto, una latina a mezzana e una vela a turchia sotto il bompresso
- Il Flying Cloud, un clipper statunitense di metà Ottocento destinato per aver realizzato diversi record di navigazione, era attrezzato con piccole vele triangolari di orientamento a prua, randa di poppa, e altri controvelacci principali con velasini

M.CALP - Dipartimento Energia 67

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Imbarcazioni a remi

- Imbarcazioni a propulsione umana erano piuttosto comuni nell'antichità anche con centinaia di rematori
 - I vascelli che condussero le truppe greche a Troia, i penteconteres, avevano un equipaggio di 50 rematori, e potevano raggiungere punte massime di potenza utile fino a 7 kilowatt
- Le triremi
 - Le trieres o triremi in latino, a tre file di remi furono le migliori navi da guerra del periodo classico, erano azionate da 170 vogatori
 - Un equipaggio di rematori esperti e robusti poteva generare per brevi periodi di tempo anche 20 kW, e raggiungere velocità pari ai 20 km orari.
 - Anche quando restavano su livelli di velocità massima normali, tra i 10 e i 15 km/h, l'alta capacità di manovra faceva comunque delle triremi delle straordinarie macchine da combattimento
 - Con lo sperone di bronzo potevano forare lo scafo delle navi nemiche con effetti devastanti.
 - In uno degli scontri decisivi della storia occidentale, la battaglia di Salamina, nel 480 a.C., i greci sconfissero una grande flotta persiana proprio in questo modo
 - Le triremi rappresentavano anche le più importanti navi da guerra della Roma repubblicana

M.CALP - Dipartimento Energia 68

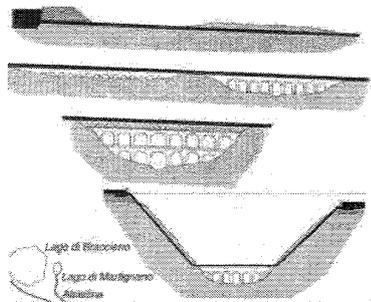
Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
I canali in Europa	
<ul style="list-style-type: none"> • In Europa, dove i canali raggiunsero la loro maggior importanza nel XVIII e nel XIX secolo, i motori primi principali furono prevalentemente i cavalli. <ul style="list-style-type: none"> ○ In Europa i primi canali adibiti al trasporto delle merci, chiaramente ispirati all'esperienza cinese, furono realizzati nell'Italia del nord durante il XVI secolo ○ In Francia, il Canal du Midi, lungo 240 km, venne ultimato nel 1681 ○ In Inghilterra e nel resto del continente, comunque, canali più lunghi vennero costruiti solo dopo il 1750 ○ In Germania furono addirittura successivi alla messa in opera delle prime ferrovie [Ville 1990] • Le chiatte trasportavano grandi quantitativi di materie prime e di merci destinate all'industria e alle città, e raccoglievano i rifiuti urbani e industriali. Sino all'introduzione delle ferrovie, gran parte del traffico commerciale europeo era affidato alla navigazione su canali • Percorrendo strade costruite in parallelo al corso dei canali, i cavalli o i muli potevano tirare una chiatte carica a una velocità media di 3 km all'ora • I vantaggi meccanici delle chiatte sono evidenti. Su un buon canale, un singolo cavallo può tirare un carico di 30-50 tonnellate, quantitativi che neppure il più forte dei cavalli potrebbe gestire sulla migliore delle strade • Gradualmente, gli animali furono rimpiazzati dai motori a vapore, anche se molti cavalli continuarono a lavorare presso i canali più piccoli durante l'ultimo decennio del XIX secolo. 	
M.CALI - Dipartimento Energia	71

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
La navigazione controvento	
<ul style="list-style-type: none"> • Quando il vento colpisce una vela, la differenza di pressione genera due forze: la portanza e la resistenza. La direzione della portanza è perpendicolare alla vela; la resistenza agisce lungo la vela. Con vento di poppa (o quasi perfettamente di poppa), la portanza sarà molto superiore alla resistenza, e l'imbarcazione potrà procedere speditamente. Con vento al traverso, invece, la forza che tende a spingere l'imbarcazione indietro sarà superiore a quella che la spinge in avanti. Se l'imbarcazione proverà a virare controvento, la resistenza supererà la portanza e l'imbarcazione verrà respinta indietro. • Le capacità massime di navigazione controvento sono cresciute di almeno cento volte dalle origini della navigazione a vela <ul style="list-style-type: none"> ○ Le prime navi egiziane a vela quadra potevano gestire soltanto un angolo di 150° (vento di poppa, e deviazioni massime del 30 per cento) ○ le imbarcazioni medievali riuscivano a procedere, anche se lentamente, con vento al traverso (90°) e i navigatori post-rinascimentali erano in grado di raggiungere un'angolazione di 80° • La navigazione controvento divenne possibile solo con l'introduzione di vele asimmetriche più in linea con l'asse della nave e in grado di ruotare attorno all'albero. Le imbarcazioni che combinavano l'uso di vele quadre e di vele mezzane potevano gestire un angolo di 62°, mentre quelle attrezzate con vele di taglio (vele triangolari, trinchetti, vele a tarchia, rande) potevano raggiungere i 45°. I moderni yacht si avvicinano molto ai 30°, il massimo aerodinamico. • L'unico modo per aggirare questi limiti era mantenersi sempre sotto l'angolazione migliore ed eventualmente modificare la rotta. Le imbarcazioni a vela quadra dovevano ricorrere a manovre di virata, effettuando una rotazione completa. Quelle equipaggiate con vele di taglio, invece, dovevano bordeggiare, e girare la prua verso il vento per catturarlo dal lato opposto della vela. 	
M.CALI - Dipartimento Energia	72

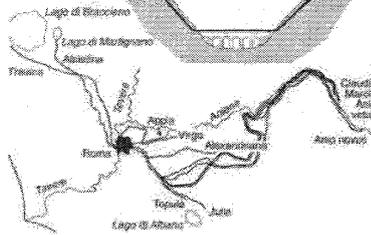
*Il problema degli acquedotti è che le tubazioni erano in terracotta e accadeva in
vecchie si rompono. Per questo venivano canali a pelo libero o sistemi a
sfere (per superare le grandi valli) ed erano le grandi opere. Con i rifornimenti
in armonia
energia di
risorse in
energia elettrica.*

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Acquedotti romani



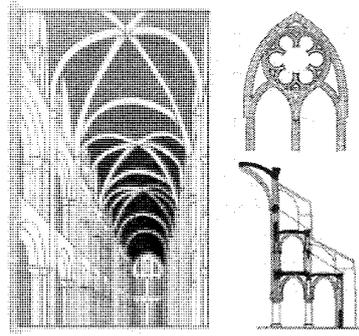
- Gli acquedotti romani trasportavano acqua da fiumi, sorgenti, laghi o bacini artificiali per combinazione di almeno due o tre delle seguenti strutture
 - bassi canali rettangolari posti su fondamenta
 - tunnel accessibili da pozzi
 - banchine sostenute da file di archi
 - ponti a doppia o tripla fila di archi
 - tubature a sifoni invertiti in grado di portare l'acqua oltre avvallamenti anche profondi
- Gli acquedotti romani, capaci di erogare circa 1 Mm³/di furono costruiti in più di 500 anni



M.CALI - Dipartimento Energia 75

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Cattedrali medievali



- Principali elementi principali e strutturali delle cattedrali medievali
- le volte della navata di St. Etienne a Caen)
- Grandi finestroni delle vetrate ornamentali
- Della cattedrale di Reims
- Archi rampanti del coro di Notre-Dame a Parigi

M.CALI - Dipartimento Energia 76

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Costruzioni	
<ul style="list-style-type: none"> • La più grande piramide mai costruita, la tomba del faraone Cheope, della quarta dinastia, riassume ed esemplifica tutte queste caratteristiche • Composta da circa 2,5 milioni di grandi pietre ciascuna del peso di circa 2,5 tonnellate con una massa di più di 6 milioni di tonnellate per un volume complessivo di 2,5 milioni di m³ assemblati insieme con ammirevole precisione e rapidità • Gli egittologi ipotizzano che i lavoratori abbiano scavato sul posto le pietre portanti della costruzione, dopo aver trasportato lungo il Nilo i lastroni usati per il rivestimento esterno della piramide • Un'unica immagine, rinvenuta presso Deir el-Bahri, testimonia effettivamente che grandi pietre furono trasportate lungo il fiume con delle barche. Altre fonti rivelano che i due grandi obelischi di Karnak, lunghi 0,7 metri ciascuno, furono caricati su una chiatta di 63 metri tirata da trenta barche azionate da circa 900 rematori • Erodoto ci ha lasciato la descrizione di un grande piano inclinato di pietra levigata che avrebbe collegato il Nilo alla spianata di Giza. Secondo il suo racconto, squadre di lavoratori tiravano grandi blocchi di pietra su slitte che scorrevano sopra questa enorme struttura. Erodoto dice anche che i blocchi di pietra venivano sollevati da terra mediante «congegni realizzati con corti tronchi d'albero», ma molti egittologi sostengono che rampe di argilla, pietra e mattoni siano state usate anche per erigere le stesse piramidi 	
M.CALP - Dipartimento Energia	79

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Costruzioni	
<ul style="list-style-type: none"> • Anche alcune piramidi del Centroamerica, particolarmente quelle di Teotihuacan (realizzata durante il II secolo d.C.) e di Choula, sono molto imponenti <ul style="list-style-type: none"> ○ La più alta, la grande piramide del Sole a tetto piatto di Teotihuacan, superava probabilmente i 70 metri, tempio incluso ○ Le sue modalità di costruzione sembrano in ogni caso più semplici di quelle delle tre grandi strutture in pietra della piana di Giza ○ Il nucleo della piramide era composto di terra, ciottoli, mattoni di creta; solo l'esterno era rivestito da lastre di pietra lavorata, che era fissata alla struttura con una sorta di moschettoni e intonacata con malta di calce ○ Il suo completamento comunque deve aver richiesto il lavoro di 10.000 operai per almeno venti anni • Altre strutture piramidali massicce e solide, realizzate con un notevole impiego di forza lavoro, sono i grandi templi a gradini della Mesopotamia (gli <i>ziggurat</i>), costruiti dopo il 2200 a.C., e gli <i>stupa</i> buddisti diffusi in India, a Ceylon e in varie parti del Sudest asiatico. 	
M.CALP - Dipartimento Energia	80

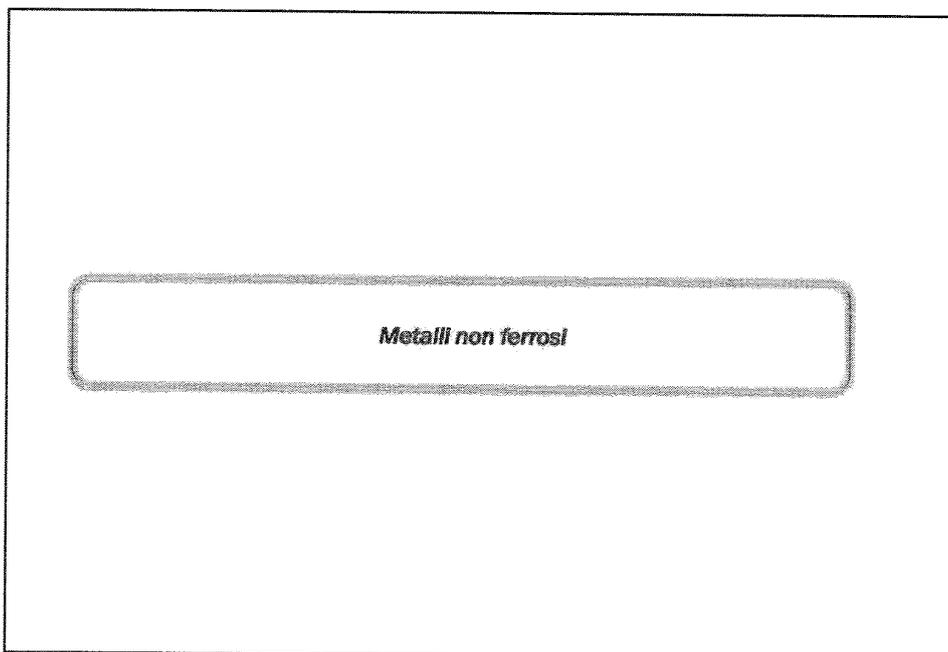
Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Costruzioni (opere civili)	
<ul style="list-style-type: none"> • Acquedotti romani <ul style="list-style-type: none"> ○ Tutte le città romane potevano contare su rifornimenti idrici regolari e ben pianificati, con i risultati che sono stati superati soltanto dalle opere idrauliche realizzate durante la rivoluzione industriale ○ Particolarmente impressionante era la rete di acquedotti della città di Roma, che Plinio, nella sua <i>Historia Naturalis</i>, definisce come l'opera più meravigliosa mai realizzata al mondo. ○ A partire dall'Aqua Appia, realizzata nel 312 a.C., il sistema di acquedotti di Roma comprendeva undici tronconi per un totale di almeno 500 km ○ Nel corso del II secolo, quando era in grado di soddisfare i bisogni di più di 1 milione di persone, questa rete di acquedotti forniva non meno di 1 Mm³/di (1 miliardo di litri) d'acqua al giorno con una media giornaliera di 1 m³/capite moderni (il consumo domestico di acqua nelle case italiane degli anni Ottanta del nostro secolo non superava il mezzo metro cubo al giorno) 	
M.CALÌ - Dipartimento Energia	83

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Costruzioni (elementi strutturali) - acquedotti romani	
<ul style="list-style-type: none"> • I canali conduttori partivano da fonti, laghi o bacini artificiali, avevano una sezione rettangolare, erano realizzati in lastre di pietra o in conglomerati di ghiaia e altro materiale e venivano foderati con cemento • I canali, con un gradiente non inferiore a rapporti di 1 a 200, tendevano a mantenere un'inclinazione costante per evitare l'interramento in tunnel • Quando questa opzione era inevitabile, i tunnel erano resi accessibili dall'alto grazie a un sistema di pozzi • Nelle valli troppo lunghe per essere aggirate o troppo profonde per limitarsi a un sistema di argini e di terrapieni i romani ricorrevano alla costruzione di ponti • Per oltre 65 km gli acquedotti di Roma erano sostenuti da diverse file di archi. Spesso uno stesso ponte serviva più acquedotti. (vedi i ponti di Augusto a Gard, alto più di 50 metri, di Merida e Taragona) • Alcuni operai si occupavano della pulizia e della manutenzione costante di canali, tunnel e ponti, spesso minacciati da rischi di erosione • Quando per attraversare una valle sarebbe stato necessario costruire un ponte più alto di 50-60 metri, gli ingegneri romani preferivano costruire dei sifoni invertiti <ul style="list-style-type: none"> ○ Le tubature del sifone collegavano un serbatoio più alto da un lato della valle a un serbatoio leggermente più basso dalla parte opposta ○ Sul fondo valle veniva costruito un ponte. La realizzazione di queste strutture, particolarmente delle tubature ad alta pressione che potevano sostenere fino a 18 atmosfere, richiedeva l'impiego di notevoli quantità di piombo, che doveva essere trasportato, spesso per distanze molt. lunghe, con elevati costi energetici ○ Ad esempio, per completare i nove sifoni del sistema di acquedotti che rifornivano Lione, furono impiegate circa 15.000 tonnellate di piombo. 	
M.CALÌ - Dipartimento Energia	84

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
I metalli	
<ul style="list-style-type: none"> • Si utilizzavano rame, stagno (combinato col rame per fare il bronzo), ferro, piombo, mercurio (liquido a temperatura ambiente), argento e oro • La relativa scarsità dell'oro e la sua malleabilità lo rendevano adatto per realizzare monete e ornamenti, ma ne impedivano l'utilizzo in produzioni di massa; per quanto molto più abbondante dell'oro, anche l'argento era comunque troppo raro per essere impiegato in tal modo • Il piombo e lo stagno sono metalli morbidi e non mescolati ad altri metalli potevano essere utilizzati solo per realizzare piccoli oggetti come tubi o contenitori per i cibi • Solo il rame e il ferro erano relativamente abbondanti e resistenti, avendo inoltre, soprattutto se in lega con altri metalli, caratteristiche di grande forza ed estrema duttilità che ne facevano in pratica le uniche due scelte possibili per la produzione di massa di oggetti e utensili vari. Il rame e il bronzo hanno dominato i primi due millenni della storia mondiale, mentre il ferro e i suoi derivati sono ancora oggi i metalli principali. 	
M.CALÌ - Dipartimento Energia	87

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
I metalli	
<ul style="list-style-type: none"> • Il carbone di legna alimentava la fusione dei minerali non ferrosi e del ferro, nonché tutti i processi successivi di lavorazione e di trasformazione del metallo grezzo in oggetti metallici • Lo scavo, l'estrazione e la frammentazione dei minerali, il taglio della legna, la preparazione del carbone, la costruzione delle fornaci, la fusione, la lavorazione, il raffinamento e la forgia dei metalli erano operazioni che richiedevano notevoli dispendi in termini di tempo e di lavoro • In molte società, dall'Africa subsahariana al Giappone, sino all'introduzione dei moderni metodi industriali la metallurgia continuò a essere affidata esclusivamente al lavoro manuale • In Europa e, più tardi, in America del nord, l'impiego degli animali e soprattutto della forza idraulica agevolò almeno in parte queste operazioni ripetitive e faticosissime: l'estrazione e la frantumazione dei minerali, il pompaggio dell'acqua dalle miniere, la forgiatura dei metalli • La disponibilità di cibo e, successivamente, di adeguate e affidabili risorse idriche capaci di azionare martelli e mantici più grandi e più potenti, fu perciò la chiave di volta di tutti i progressi decisivi nel campo della metallurgia • Citare la Bessa 	
M.CALÌ - Dipartimento Energia	88

non la fe



Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Rame

- Gli utensili e le armi di rame segnano il momento di passaggio tra l'età della pietra e l'età del ferro
 - Tra il VI e il V millennio a.C., il rame non veniva fuso: le popolazioni dell'antichità si servivano di strumenti elementari per modellare pezzi di metallo puro, o lo temperavano riscaldandolo e martellandolo alternativamente
 - La fusione e la lavorazione del metallo si diffusero soltanto dopo la metà del quarto millennio in diverse regioni con riserve consistenti e relativamente accessibili di minerali di ossido e di carbonato
 - Le antiche società della Mesopotamia (prima del 400 a.C.), l'Egitto predinastico (prima del 3200 a.C.), la cultura di Mohenjo-daro, nella valle dell'Indo (2500 a.C.), gli antichi cinesi (dopo il 1500 a.C.) ci hanno lasciato molti oggetti in rame: anelli, bulini, asce, coltelli, lance.
 - Tra i principali centri minerari per l'estrazione del rame bisogna ricordare la penisola del Sinai, in Egitto, il nord Africa, Cipro, la Siria, l'Iran, l'Afghanistan, il Caucaso, l'Asia centrale; successivamente, la produzione del rame venne avviata, anche in Italia, Portogallo e Spagna
- Considerato il punto di fusione relativamente elevato del metallo (1.083 °C), la **produzione di rame puro era un processo ad alta intensità di energia**
 - Le popolazioni antiche usavano legno o carbone di legna per ridurre il materiale primo in pentole di argilla; successivamente adottarono delle basse **fornaci in argilla** dotate di **mantici** e di un sistema di **tiraggio naturale**
 - Le prime testimonianze relative all'introduzione dei mantici vengono dall'Egitto e risalgono al VI secolo a.C., ma questi molto probabilmente erano conosciuti già da qualche tempo
 - I lavoratori raffinavano i metalli grezzi scaldandoli in piccoli crogiuoli e gli davano forma con stampi di pietra, argilla o sabbia
 - il minerale era poi martellato, affilato, inciso, levigato e trasformato in utensili o in oggetti ornamentali.

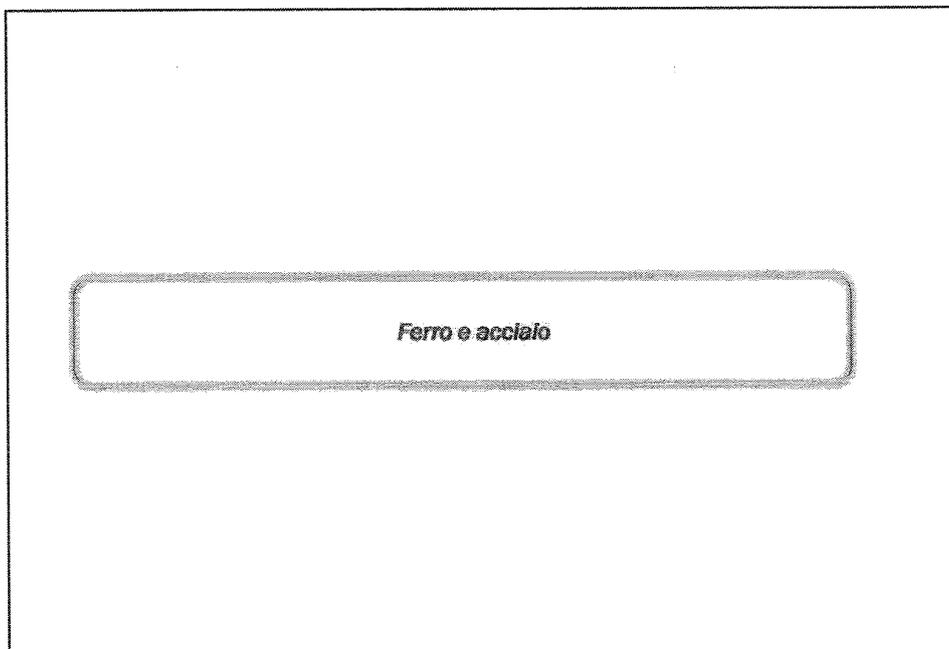
M.CALP - Dipartimento Energia 90

Energia, Progresso e Sostenibilità Anno Accademico 2014-2015

Torino

- E' una lega derivata rame-zinco con una percentuale di rame dal 50 all'85 per cento.
- La sua produzione ha un **consumo energetico inferiore a quello necessario alla fusione del rame puro** (il punto di fusione dello zinco è di soli 419 °C)
 - L'elasticità e la durezza sono proporzionali alla percentuale di zinco impiegata: in una lega standard, questi fattori sono circa 1,7 volte più alti rispetto al rame trafilato a freddo, ma più elevate percentuali di zinco non ne riducono comunque la malleabilità e la capacità di resistenza agli agenti corrosivi
- Il primo uso può essere datato al I secolo a.C. ma tale lega cominciò ad essere più diffusamente utilizzata in Europa solo durante il secolo XI e si impose definitivamente solo dopo il 1500.
- Tra il I e il XV secolo, le **società sudamericane preincaiche** - i mochica, i chimù - si servivano prevalentemente di una lega di rame anomala, composta da rame e da arsenico
 - Con metodi imprecisi e inefficienti, i metalli erano fusi in piccole fornaci poco profonde con un processo lungo, molto dispendioso in termini di lavoro: dato che il carbone e le piccole fornaci non erano comunque sufficienti a produrre metallo liquido, i lavoratori dovevano recuperare piccole goccioline di metallo setacciando le scorie.

M.CALI - Dipartimento Energia 93



Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Il ferro	
<ul style="list-style-type: none"> • I primi produttori fondevano il minerale frantumato in piccole fornaci basse, spesso foderate di argilla o di pietra in genere situate su alture o colline, per favorire il tiraggio naturale: successivamente, vennero adottati degli stretti tubi in argilla e dei piccoli mantici di cuoio per soffiare sul fuoco <ul style="list-style-type: none"> ○ Il minerale fuso era contenuto entro muretti di argilla, alti da pochi decimetri a poco più di un metro. Gli archeologi hanno rinvenuto migliaia di queste strutture in quasi tutto il mondo, dall'India alla penisola iberica, dal nord Europa all'Africa centrale ○ Questi primi focolari non producevano ferro liquido, ma solo una massa porosa (tra il 25 e i 70 kg) di piccoli globuli di ferro incorporati in scorie e cenere, nota come bloom (lingotto sbizzato) ○ Solo ripetuti e successivi riscaldamenti e martellamenti del bloom permettevano di produrre un malloppo duro e malleabile di ferro battuto • Il metallo, con una percentuale di carbone poco superiore allo 0,1 per cento e un punto di fusione di 1.535 °C, era impiegato per la realizzazione di tutta una serie di utensili e di oggetti, dai chiodi alle asce 	
M.CALI - Dipartimento Energia	97

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Il ferro	
<ul style="list-style-type: none"> • I cinesi furono tra i primi a usare il ferro grazie a notevoli invenzioni nei processi metallurgici • Il ferro liquido venne invece prodotto per la prima volta dagli artigiani cinesi durante la dinastia Han (207 a.C.-220 d.C.) <ul style="list-style-type: none"> ○ Le fornaci, costruite in argilla refrattaria e spesso rafforzate da rampicanti e da tronchi d'albero, potevano superare i 5 metri ○ Erano in grado di caricare quasi una tonnellata di minerale e di garantire due cicli di lavorazione completa al giorno ○ Usavano del minerale di ferro con un alto contenuto di fosforo, che consentiva di abbassare il punto di fusione del metallo ○ Usavano mantici doppi capaci di sprigionare un getto d'aria molto potente ○ Successivamente si sistemò il carbone attorno a una serie di crogiuoli a forma di tubo sistemati in batteria e mantici più grandi azionati da ruote idrauliche ○ Con stampi intercambiabili, già prima della fine della dinastia Han i cinesi erano in grado di produrre diversi oggetti in serie: utensili, teglie e piatti, statue • Anche in questo settore, però, come per molte altre invenzioni di origine cinese, nei secoli successivi non vennero introdotti perfezionamenti e modifiche importanti: le piccole fornaci cinesi non possono perciò essere considerate le dirette antenate degli altiforni contemporanei 	
M.CALI - Dipartimento Energia	98

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Il ferro: gli alti forni	
<ul style="list-style-type: none"> • I piccoli forni medievali utilizzavano da 3,6 a 8,8 kg di combustibile per ogni kg di minerale • Anche con minerali abbastanza puri, con un contenuto di metallo intorno al 60 per cento, la fusione del <i>bloom</i> richiedeva comunque da un minimo di 8 kg a un massimo di 20 kg di carbone di legna per ogni kg di metallo caldo • Verso la fine del XVIII secolo, il rapporto medio tra carbone di legna e metallo era circa di 8:1; nel 1900 la proporzione era calata sensibilmente, attestandosi su un rapporto di 1,2:1 • A fine Ottocento una buona fornace a carbone di legna consumava solo un decimo dell'energia utilizzata dalle sue antenate medievali. • Prima del 1800, l'alto fabbisogno energetico dei processi di combustione alimentati a carbone di legna determinava inevitabilmente gravi processi di deforestazione nelle zone circostanti le fornaci • Per mandare avanti una fornace inglese tipo del primo XVIII secolo bisognava abbattere circa 1.600, ettari di alberi • Nei primi anni del Settecento, la produzione inglese di ferro consumava ogni anno circa 1.100 km quadrati di foreste • Un secolo più tardi, negli Stati Uniti, questo consumo era più che raddoppiato. 	
M.CALP - Dipartimento Energia	101

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
Il ferro: effetti ambientali della produzione	
<ul style="list-style-type: none"> • La maggior parte degli stabilimenti si concentrava comunque nelle regioni montuose, più ricche di alberi <ul style="list-style-type: none"> ○ Vicini alla loro riserva di combustibile, i produttori potevano limitare al minimo la lunghezza dei trasporti di combustibile e servirsi di ruote e mulini idraulici per alimentare con estrema efficacia le fornaci e i mantici ○ Anche la vicinanza delle miniere era ovviamente importante, ma in ogni caso il trasporto del minerale era meno ingombrante e complicato rispetto al trasporto della legna necessaria per fare il carbone • La deforestazione fu così l'inevitabile costo ambientale pagato per produrre chiodi, asce, ferri da cavallo, armature, lance, palle di cannone • I fattori energetici erano un elemento critico nella produzione tradizionale del ferro <ul style="list-style-type: none"> ○ Una singola fornace poteva portare alla distruzione delle foreste e dei boschi circostanti per un raggio di 4 km 	
M.CALP - Dipartimento Energia	102

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
L'acciaio	
<ul style="list-style-type: none"> • La maggior parte delle società preindustriali giunse all'acciaio carbonizzando il ferro battuto o de-carbonizzando la ghisa • Carbonizzazione del ferro <ul style="list-style-type: none"> ○ La tecnica più antica che consiste in un prolungato riscaldamento del metallo in carbone di legna, che determina una graduale diffusione del carbone all'interno del metallo ○ Senza ulteriori interventi di forgia, questo metodo consentiva di produrre intorno a un nucleo di ferro più morbido un duro involucro di acciaio particolarmente adatto per realizzare i vomeri degli aratri e le armature; ripetuti interventi di forgiatura potevano invece distribuire meglio il carbone assorbito, permettevano di produrre anche ottime lame per le spade. • La decarbonizzazione <ul style="list-style-type: none"> ○ Praticata in Cina durante la dinastia Han ○ Si elimina il carbone dalla ghisa con processi di ossigenazione ○ Il metallo così prodotto era migliore per costruire oggetti esigenti e delicati, come ad esempio le catene impiegate per sostenere i ponti sospesi 	
M.CALI - Dipartimento Energia	103

Energia, Progresso e Sostenibilità	Anno Accademico 2014-2015
L'acciaio	
<ul style="list-style-type: none"> • La crescente disponibilità di ferro e acciaio determinò gradualmente profondi cambiamenti sociali <ul style="list-style-type: none"> ○ Seghe di ferro, asce, martelli e chiodi incrementarono l'edilizia e ne migliorarono la qualità ○ Le posate di ferro e tutta una serie di altri utensili e di oggetti — dagli anelli ai rastrelli, dalle griglie alle grattugie — resero più facile cucinare a gestire le abitazioni ○ I ferri da cavallo e gli aratri in ferro furono fondamentali nel processo di intensificazione dell'agricoltura ○ Anche le tecniche belliche furono rivoluzionate dalla diffusione del ferro e dell'acciaio: prima con l'introduzione di magli e armature, olmi e pesanti spade di ferro, poi con l'avvento di palle da cannone ferro e di armi da fuoco sempre più precise ○ Queste tendenze vennero enormemente accelerate dall'introduzione della fusione con carbon fossile e dall'invenzione della macchina a vapore. 	
M.CALI - Dipartimento Energia	106

decisione energetica Cali e ultraderiva energetica 7 (Fatta da leone).

il ruolo delle fonti di energia disponibili sottoriforma di stock di energia che disponibili sottoriforma di flusso. Quasi tutte le decisioni sono una da energia sottoriforma di flusso cioè ruolo delle quantità di energia che flussiscono costantemente nel pianeta perché fanno parte dei principali cicli energetici del pianeta. L'uomo può sfruttare una minima parte di questi flussi per assolvere al proprio fabbisogno di energia. Lo stock di energia sono i combustibili fossili e la biomassa. Questi sono esportati da processi fotosintetici quindi derivano dal flusso di energia solare accumulati nel terreno. Oggi ultimamente prevalentemente energie rinnovabili prevalenti in stock.

alle lezioni 7 vediamo di classificare gli stock energetici ed i flussi energetici (cioè le rinnovabili), successivamente nelle prossime lezioni vedremo a conseguenze dell'uso di tali risorse da parte dell'uomo.

Lo sviluppo delle società si è auto generato alla capacità dell'uomo di usare e distribuire sempre più energia. L'uomo ha vissuto il 96% del tempo dalla sua comparsa nel pleistocene. Il neolitico inizia circa 10.000 anni fa quando fu scoperta l'agricoltura e ricopre il 3,8% del tempo. L'età moderna è quella degli ultimi 100 anni ed è lo 0,2%. - Il ritmo che ci ha fatto la storia dell'uomo, siamo emersi 82 miliardi di anni fa. Di questi negli ultimi 250 anni sono nati il 20%. Parti pensare che oggi si è 7,5 miliardi. Questo è stato penetrate il quanto l'uomo nel tempo è risorto ad avere a disposizione sempre contatto maggior di energia accedendo in maniera sempre maggiore ed efficace alle risorse naturali. Ciò ha anche portato alla stratificazione e sociale e allo sviluppo delle scienze e delle arti.

alle risorse energetiche a disposizione se confrontate con le disponibili è di cibo ambiente.

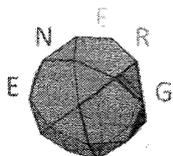
Nel 2014 la disponibilità di energia è di 550 EJ/4. Quella a disposizione della popolazione mondiale agli inizi dell'età industriale era di circa 50 EJ. Tutti questi numeri però devono essere confrontati con il numero della popolazione mondiale ai vari tempi. Nel pleistocene la quantità di energia ricevuta e disponibile era di 0,2 TEP, nel neolitico di 0,45 TEP. Sempre tra pleistocene e neolitico la quantità ricevuta raddoppia, ma la popolazione aumenta di molto e ciò comporta una disponibilità di energia 20 volte superiore nel neolitico rispetto a quella disponibile complessivamente nel pleistocene.

Dopo la rivoluzione industriale la quantità di energia ricevuta è aumentata notevolmente ma in maniera disomogenea nel pianeta. Oggi si hanno per i centri dell'Africa sub sahariana valori di energia ricevuta di 0,6 TEP (valore inferiore a quello del neolitico), di 3,2 TEP per l'Europa e 6,8 TEP per gli USA.



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento Energia



LEZIONE 7 – RISORSE E FLUSSI DI ENERGIA
PIERLUIGI LEONE

Energia, Progresso e Sostenibilità
A.A. 2015-2016

RISORSE E FLUSSI DI ENERGIA

Energia, Progresso e Sostenibilità
A.A. 2015-2016

L'appropriazione delle risorse naturali



POLITECNICO
DI TORINO



*come visto nell'antichità,
l'accesso alle risorse naturali
è e' molto importante
per lo sviluppo delle
civiltà.*



Appropriazione delle risorse naturali

Il potenziale tecnico delle rinnovabili

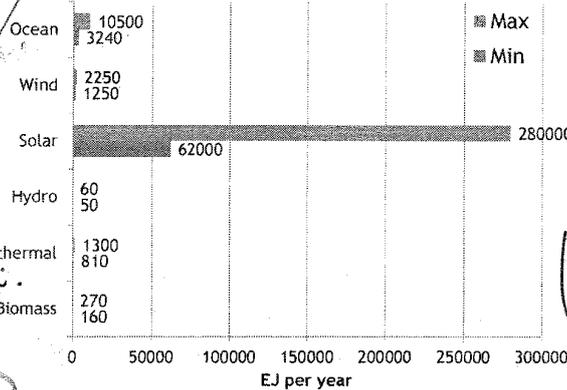


- Il potenziale tecnico della produzione di energia da fonti rinnovabili
 - Criticità dei processi degli ecosistemi
 - Aree disponibili e accessibili per la produzione di energia
 - Disponibilità di tecnologie per la conversione

Il potenziale tecnico delle rinnovabili



Il calcolo del potenziale tecnico teorico dell'energia mostra che i valori di energia ricavabili dalle rinnovabili sono di gran lunga inferiori ai potenziali teorici che attraversano i cicli planetari. Una parte di energia non può essere sfruttata in quanto è critica per il sostentamento di cicli planetari ed ecosistemi. In un'altra parte non si può sfruttare perché inaccessibile, non disponibili in merito all'accesso, a fronte di tecnologie imperniate ecc.)



Elaborazione da International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)

Un'altra parte va in parte si dispone di tecnologie, con scarse rivoluzioni di conversione. Ad esempio non si riesce a sfruttare le correnti oceaniche.

* si pensi alla biomassa che è necessaria agli ecosistemi altrimenti si creano impoverimenti del suolo ecc.

Oggi seppur servono 55 EJ/y, dalle rinnovabili si ricavano solo 80 EJ/y, cioè circa il 14%.

Però il potenziale è grande delle rinnovabili: 295000 EJ/y < del 20% di 5490000 EJ.

Gli stock di energia

buried sunshine I combustibili fossili

Quali sono gli stocks di energia principali del pianeta?

Il stock di energia sono accumuli di energia e sono costituiti dai carb. fossili (derivanti dalla degradazione della biomassa e quindi dalla leg. dell'energia solare accumulata milioni di anni fa nelle piante tramite fotosintesi) e dai materiali fossili e fertili che si sono accumulati durante la formazione del pianeta e dalla biomassa.

Combustibili fossili



- Le riserve generalmente aumentano con l'innovazione tecnologica
- Le politiche ambientali possono ridurre quelle che sono le risorse economicamente vantaggiose da estrarre

Il rapporto tra riserve provate e prodotte si allargano gli anni per cui una certa riserva può sostenere i livelli di consumo attuali. Le riserve prodotte sono in (t/y) mentre quelle provate in t, per cui il rapporto da gli anni.

Il numero di anni a disposizione si nota che aumenta nel tempo. Questo perché migliora l'innovazione tecnologica relativa sia

all'estrazione che all'esplosione del sottosuolo.

□ Carbone

- Hard coals: Antracite e carbone bituminoso
- Carbone sub-bituminoso
- Lignite



WP_20140910_007.mp4

Carbone



Le riserve sono in 4-5 Paesi e il 70%: USA, Russia, Cina, Australia, India.

□ Potere calorifico, PCI - PCS

- Hard coals, Antracite e carbone bituminoso > 23.9 MJ/kg (alto contenuto di C)
- Carbone sub-bituminoso 17.9 MJ/kg < PCI < 23.9 MJ/kg
- Lignite PCI < 17.9 MJ/kg simile alla biomassa

Riserve: 21 ZJ
Risorse: 500 ZJ

Le riserve di hard coal sono circa 700 Gt
" lignite sono circa 300 Gt
in totale le riserve e' 1000 Gt e con il decado una media di PCI si ottiene 21 ZJ.

e (riserve parate) sono circa $216 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$ di gas convenzionale,
di cui il 50% di queste
sono in Russia,
Iran e Qatar.

Gas naturale



Gas naturale

Gas naturale



Russia, Iran e Qatar, contengono il 54% delle riserve globali di gas naturale

Gas naturale



Riserve: 7 ZJ
Risorse: 27 ZJ

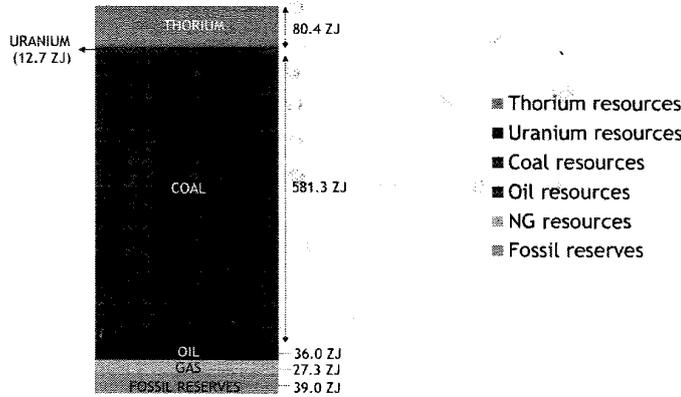




Le risorse di energia

Il carbone ha grande massa

Energy resources (1 ZJ = 10²¹ J)



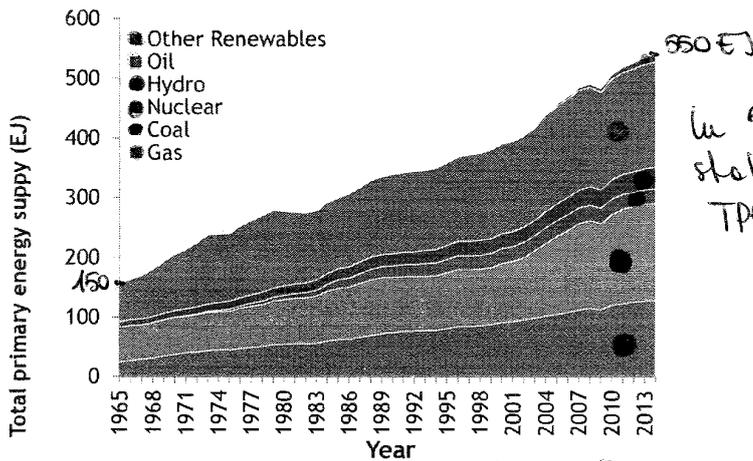
Il parlo di energia nucleare quando questa deriva da fonti di energia che si rinnovano in natura.

Energia primaria - TPES

TPES (total primary energy supply) è la somma di energia primaria.

La popolazione del '65 è 2,14 e' più che raddoppiata: da $3,3 \cdot 10^9$ a $7,1 \cdot 10^9$.

La quantità di energia prodotta è aumentata da 1,1 toe a 1,8 toe.



In 50 anni c'è stato il raddoppio di TPES

Notazione BP: British Petroleum

nel tempo si nota che l'energia ricavata dalle diverse fonti è cresciuta per carenza di queste.

Energia primaria - TPES

Le altre rinnovabili si utilizzano le fonti rinnovabili al di fuori dell'idroelettrico.

Disponibilità pro-capite di energia primaria

1.1 toe in 1965
1.8 toe in 2014

La BP le altre rinnovabili superando l'esito, il governo, il settore delle biomasse e rifiuti commerciali. Non rivedano gli usi tradizionali di biomassa con tecnologie base (incalcolamento, cottura etc.).

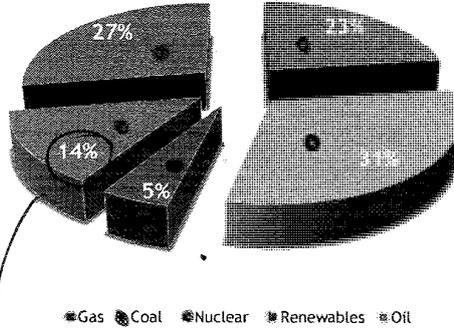
e del TPES il 14% proviene da fonte rinnovabile, di questo 14% più di 1/3 corrisponde all'energia prodotta da biomassa ad uso tradizionale !!
Inoltre l'apporto delle ^{altre} rinnovabili sul TPES aumenta al 4-5% (per la BP).

Partecipazione per fonte dell'energia primaria nel 2013.

Energia primaria - TPES



Primary energy supply - 2013 -

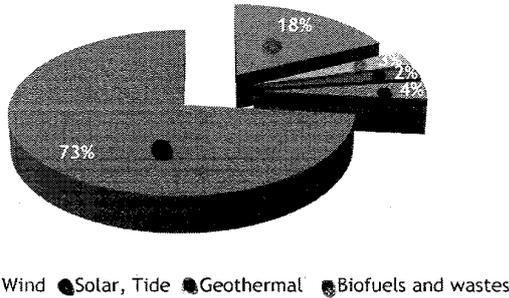


Il carbone e' la fonte più utilizzata al mondo e' il carbone (nel 2012 era il petrolio).

Energia primaria - TPES



Renewable sources share to total renewable primary energy



vediamo cosa e' nel 14%.

Il 73% del 14% sono biofuel e rifiuti.

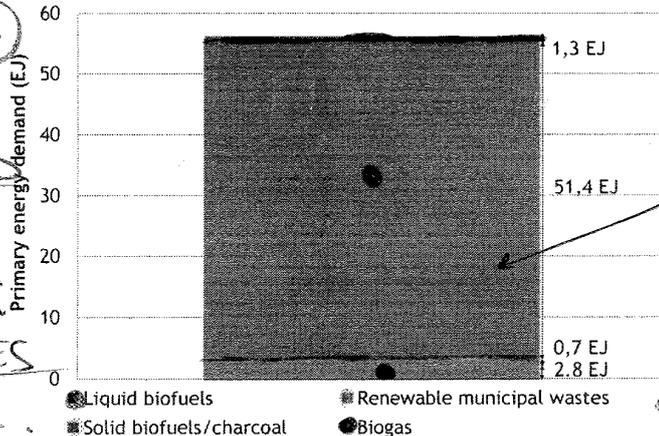
Il 18% del 14% sono le centrali idroelettriche e rinnovabili moderne (vento, sole, geotermico) hanno percentuali benissime, fanno il 9% del 14% cioè il 1% del TPES.

Energia primaria - TPES



Vediamo cosa c'è nel 73% del 14%.

Il 91% del 73% del 14% sono massicce tradizionali: dunque le massicce tradizionali fanno il 9% del TPES e sono controllate nel 14% delle rinnovabili del TPES dunque al TPES contribuiscono solo il 5% delle "vere" rinnovabili.



$$\frac{51,4}{56,7} = 91\%$$

questo e' un segno di poverta' e inutilizzo.

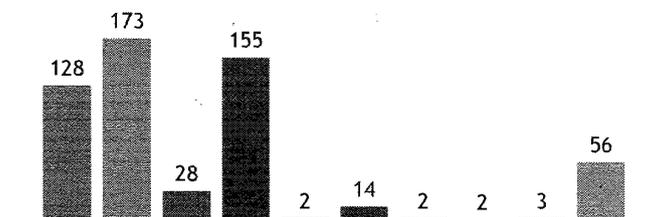
le biomasse tradizionali e' la fonte rinnovabile più utilizzata!!

TPES – effetti geografici



Flows of primary energy sources (EJ) - 2013

128 Gas 173 Coal 28 Nuclear 155 Oil 2 Other*
14 Hydro 2 Wind 2 Solar, Tide 3 Geothermal 56 Bioenergy



sono i valori delle stocks precedenti riportati in EJ

Conclusioni



Questioni ambientali, sociali ed economiche

Effetti tangibili nel mondo naturale

Effetti intangibili sulla dimensione immateriale

Questo è la fotografia dei flussi e stocks di energia e come si eccede alle uscite a livello globale - Ora vediamo quali sono gli effetti di queste utilizzazioni energetiche sia materiali che immateriali.

le conseguenze tangibili ed intangibili hanno effetti sull'ambiente, sulla società e sull'economia. Impatto delle cose.

Quanto si parla di effetti sull'ambiente

Effetti degli usi energetici tangibili



POLITECNICO DI TORINO



Insieme considero i natural assets (contabili naturali) e le natural liabilities (debiti naturali).

- Ambiente
- Società
- Economia



Questi sono due termini che derivano dall'economia assicurativa.

- Effetti tangibili e intangibili

"Natural assets e liabilities"

Natural assets comprendono le riserve naturali e i flussi di energia.

Effetti degli usi energetici



POLITECNICO DI TORINO



e liabilities sono dei debiti che si autogenerano con lo stesso debito al fatto che le società usano le risorse/accumulo delle sost. inquinanti in ambiente, ambiente e' habitat come un settore).



Effetti degli usi energetici



POLITECNICO DI TORINO



- Natural liabilities

Le qualità di energia modifica lo stato dei corpi che consumano energia, sempre ogni volta che si riceve energia c'è sempre un impatto (grande o piccolo se controllato, ma sempre un impatto). (Il principio termodinamico). Effetti degli usi energetici



TPES è 550 EJ/y.

Indicatore per i secondi dell'anno si trova la potenza

- Le inevitabili conseguenze degli usi energetici
- Le irreversibilità dei fenomeni fisici



Sadi Carnot

rischio emergere per mantenere il sistema mondiale. il valore è 17 TW.

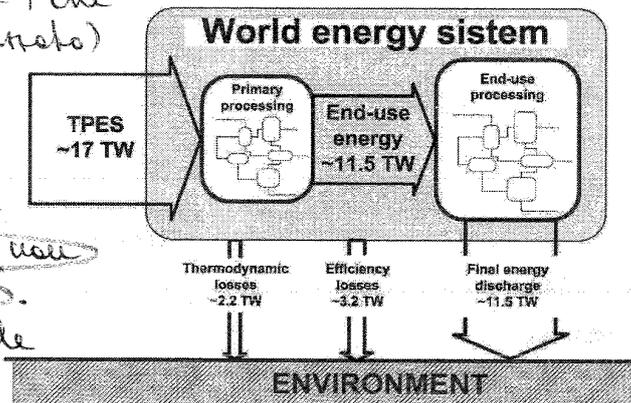
l'energia viene trasformata per essere utilizzata ai vari usi finali. In tale processo di trasformazione si hanno delle perdite termodinamiche dovute alla fisica dei processi e delle perdite tutte all'efficienza tecnologica. Queste perdite ammontano a 5,5 TW. L'energia disponibile agli usi finali è circa 11,5 TW. Alla fine della fase tutta l'energia viene restituita dall'ambiente forma all'ambiente.

Effetti degli usi energetici



l'energia a basso qualità (calore a bassa T che non può più essere utilizzato) oppure materiali con qualità energetica bassa (cioè materiali con valore di entropia alto) oppure scarti che non possono essere utilizzati.

è un tipo di materiale a bassa entropia (cioè alta qualità energetica), questi vengono processati e ritornano come scarti alla natura (ambiente). Ogni processo energetico crea un impatto in quanto i prodotti vengono scaricati nell'ambiente e questi sono difficilmente utilizzabili.

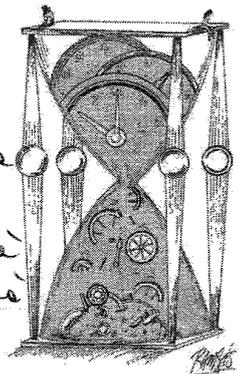


Effetti degli usi energetici



lessico: i fenomeni coinvolgono in una direzione ben precisa verso l'aumento di entropia.

Dunque non a caso che le risorse vengono utilizzate se ce ne sono e disperse sempre meno perché tutti gli scarti hanno scarsa qualità rispetto alle risorse primarie.



Time to time - Ramses Morales Izquierdo

dei pianeti verso della (ciclo biogeochimico) in questi cicli gli elementi chimici
organici ricombinati ha le diete molecolari e ricostituiti in processi tipicamente
notici o abitativi.

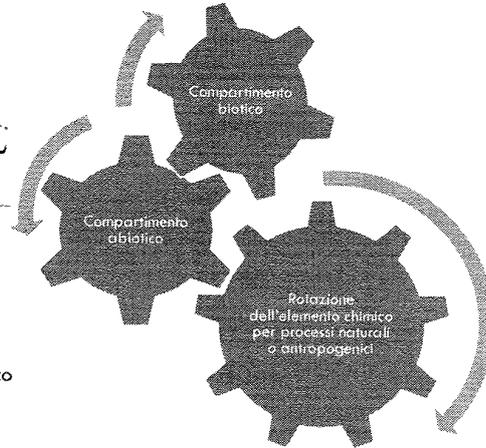
questi cicli
involcano quasi
tutta l'acqua oceanica.

Insieme sono diversi
degli altri in quanto la
composizione inorganica (energie
usate) che intervengono
sono diversi da quelli
abitativi.

Effetti degli usi energetici



POLITECNICO
DI TORINO



Ciclo bio-geochimico

Cicli biogeochimici più importanti



POLITECNICO
DI TORINO



- Acqua
- Carbonio
- Azoto
- Fosforo
- Zolfo

l'acqua è fondamentale per gli esseri viventi perché da origine al funzionamento di
fotosintesi e perché regge tutti i processi vitali. L'acqua ha un ruolo
importante sulla Terra in quanto ne ricopre il 71% della superficie.

Il ciclo dell' acqua è obiettivo gea concentrato. L'acqua evapora, per condensare
(nubi o neve) e precipita. Poi infiltrarsi nel suolo o scorrere nei fiumi e laghi
per ritornare
al mare.

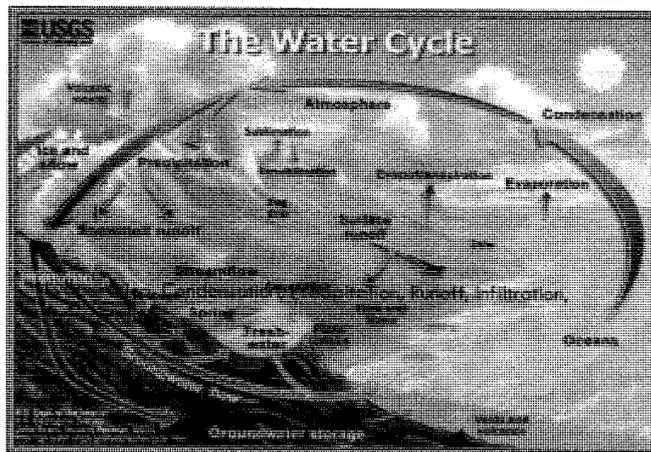
Ciclo dell'acqua



POLITECNICO
DI TORINO

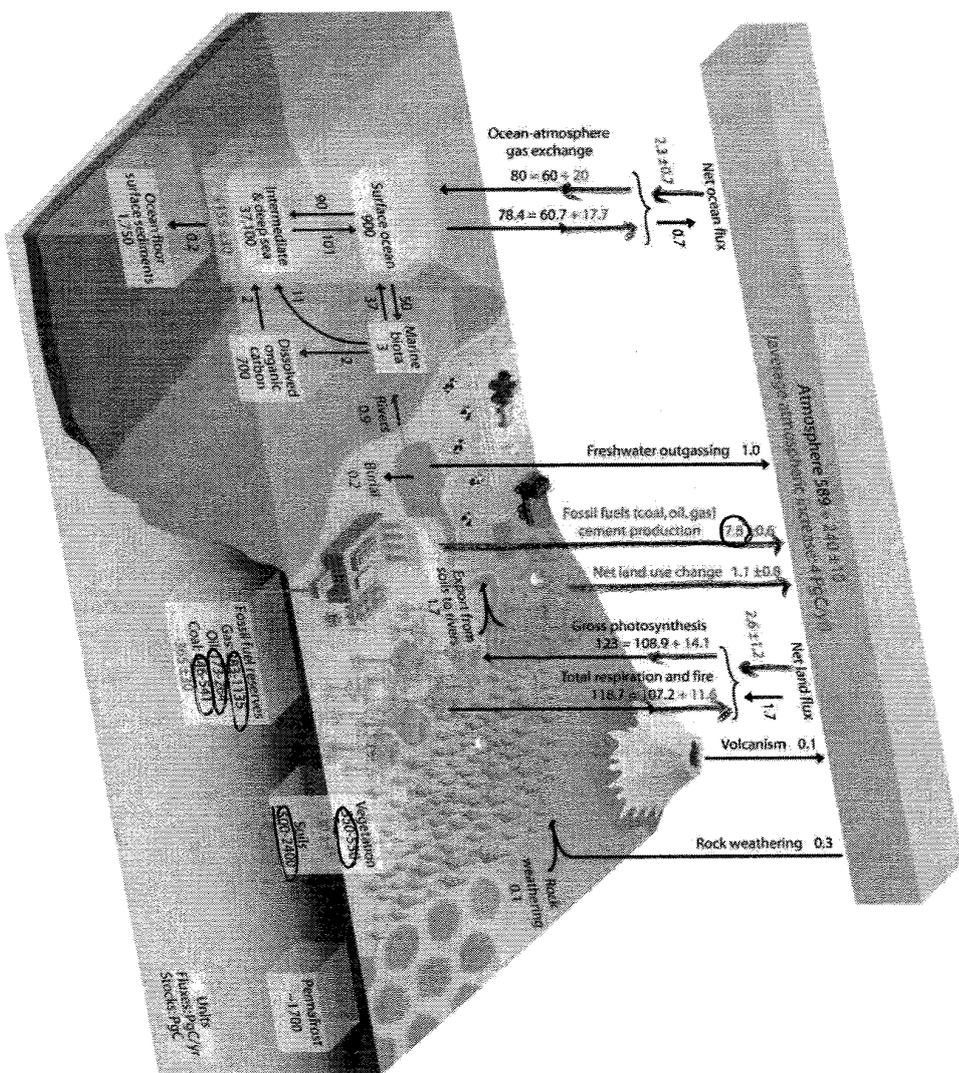


La parte dell' acqua
del riservo si
mantiene pressoché
costante.

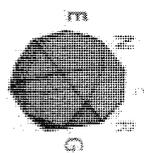


Fonte: USGS

Ciclo del carbonio



POLITECNICO DI TORINO



95 bis

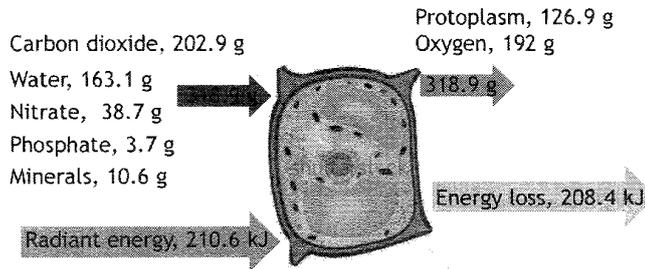
È molto importante perché l'azoto è un minerale importante per la fotosintesi. L' N_2 è una molecola molto stabile. Le altre forme sono reattive.

Il processo è stato
scritto verso reattivo

Ciclo dell'azoto



Le funzioni naturali: fissazione o per fissaggio biologico. L'energia dei funghi spezza le molecole di azoto e lo rende attivo. Il processo di fissazione è dato



alle leguminose ed alle piante in genere.

Il ciclo dell'azoto coinvolge terra, superficie e oceani.

contribuisce in modo alla produzione di N_2 reattivo verso la combustione di combustibili che portano alla formazione degli NO_x o da processi industriali N_2O , HNO_3 ecc. I fertilizzanti contengono molto azoto reattivo e se ne fa uso massiccio.

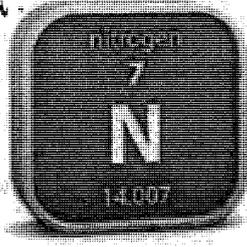
oltre l'aumento di altre piante il

Ciclo dell'azoto



fertilizzanti vengono prodotti con un processo termochimico detto di Haber-Bosch attraverso cui si crea $ammoniaca$ a partire da azoto e idrogeno. Dell' $ammoniaca$ si produce $urea$ e per i fertilizzanti.

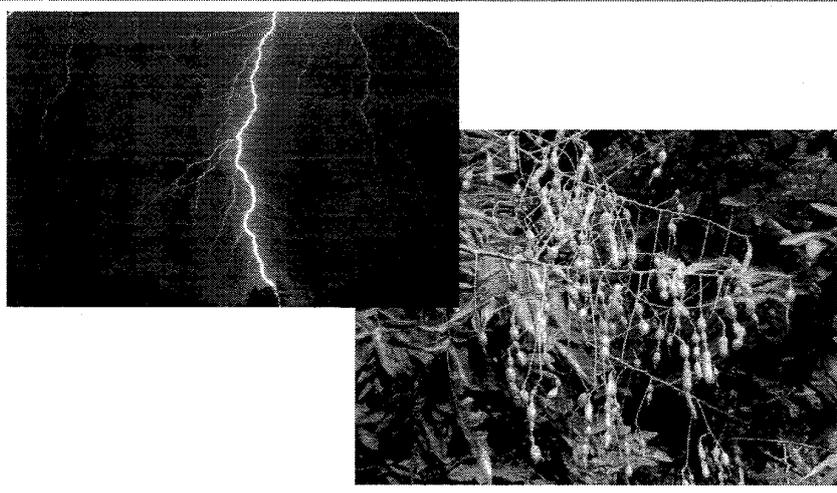
fertilizzanti si sciolgono e sono in fiumi e falde e per i reef oceanici.



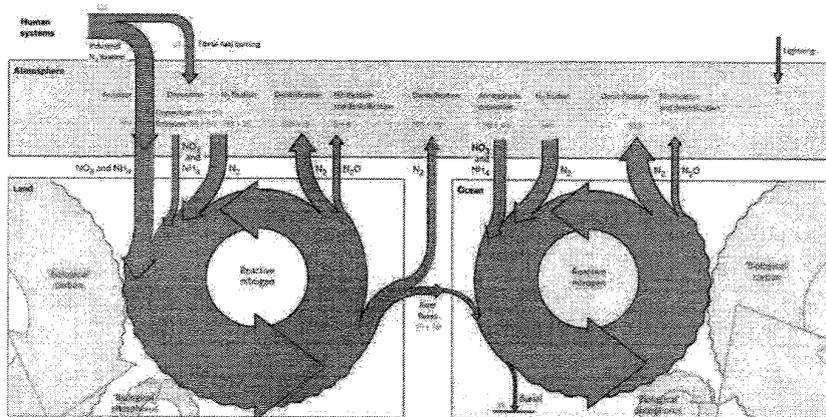
problemi che comporta l'azoto sono quello di acidificazione dei suoli e di eutroficazione.

- N_2 = azoto molecolare (gas diatomico in the atmosphere)
- Nr = azoto reattivo (NO_x , N_2O , NH_3 , HNO_3 , etc.)

Ciclo dell'azoto



Ciclo dell'azoto

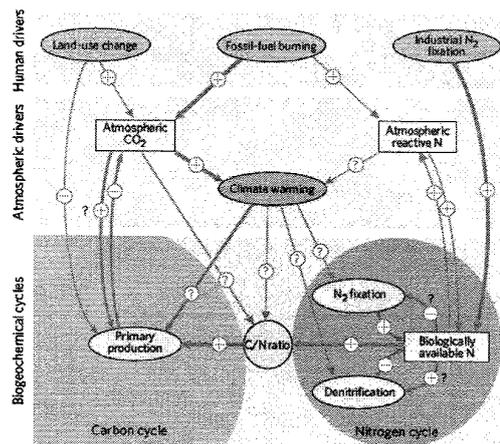


non concordo

Nicolas Gruber & James N. Galloway, An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle, NATURE, 2008.

Ciclo dell'N interferisce con quello del C della fotosintesi, nella denitrificazione ecc.

Molti processi sono Interazione C-N in fase di studio si vede? in figura).

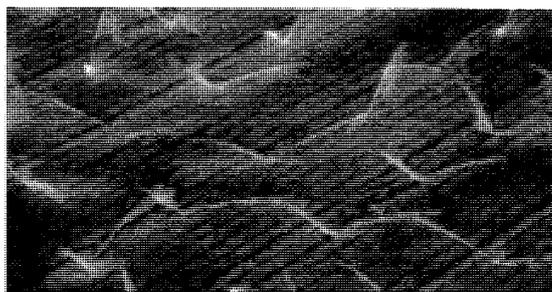


Nicolas Gruber & James N. Galloway, An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle, NATURE, 2008.

Ciclo dell'azoto



*eutropiche
largenti di N₂ atate
pume*



Sorgenti di azoto reattivo

- 1) Aumento colture responsabili di fissaggio biologico di azoto
- 2) Combustione fonti fossili- NO_x
- 3) Utilizzo del suolo per produzione di massa di alimenti
- 4) Produzione di cibo- fertilizzante

Ciclo del fosforo



- Intervento umano ecosistemi planetari
- Interferenza con i cicli naturali
- Perdita di biodiversità
- Specie a rischio di estinzione alla fine del XXI secolo: 20-50% : ci perde di 6° estinzione



Studiare questi cicli fa vedere come
suo intercambiato fra loro. Come
flussi di energia si ^{trasferisce} riserbano all'interno di un ciclo e fra più cicli.
si usa come il caso ha interferito pesantemente ai questi cicli.
e conseguenza e' la perdita di biodiversità.

Il CC è una conseguenza dell'interazione antropica nel ciclo del carbonio e non solo: si pensi che gas serra sono anche N_2O , metano prodotto da allevamenti ecc.

Cambiamento climatico



POLITECNICO DI TORINO

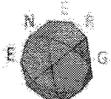


- E' uno dei fattori della questione energetica (questa richiede un approccio multidimensionale tra)
- Negli ultimi anni, principalmente a seguito dell'ultimo rapporto dell'IPCC, lo scetticismo ha ceduto il passo ad una sempre più profonda consapevolezza dell'impatto antropico sull'equilibrio climatico globale
- Alcuni paesi del mondo si stanno muovendo per implementare delle direttive di sviluppo vincolanti in maniera di mitigazione dei cambiamenti climatici
- Gli obiettivi di mitigazione indicati dalla comunità scientifica sono tuttavia estremamente ambiziosi e richiedono un cambiamento radicale della concezione di progresso (la visione delle politiche).

Cambiamento climatico



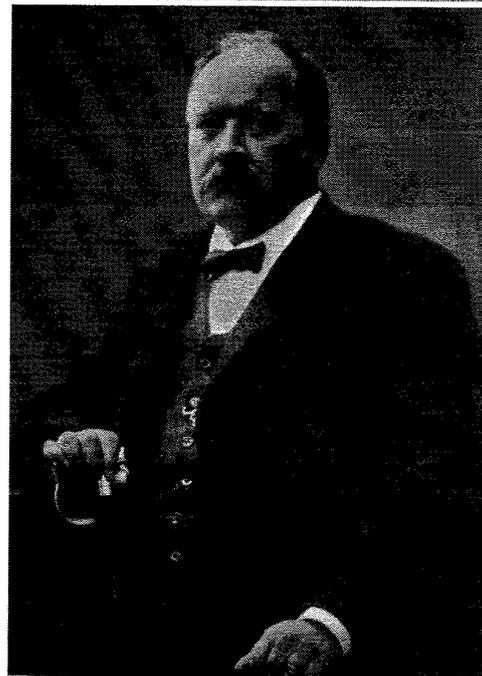
POLITECNICO DI TORINO



Svante Arrhenius

On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground

Arrhenius è stato uno dei primi a teorizzare l'influenza dei gas serra sulla temperatura della Terra, e quindi sull'equilibrio energetico planetario Terra - Sole - (1896).



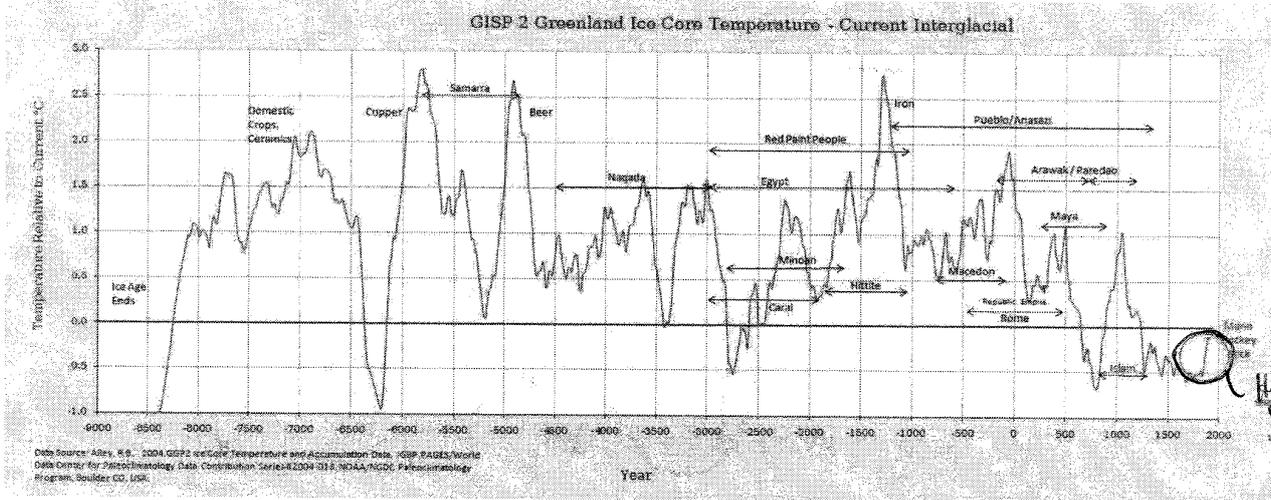
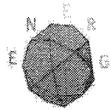
Svante Arrhenius

Temperatura a 10000 anni (dalla nascita dell'agricoltura in Mesopotamia).
 Le culture sono coltivate quando la temp. è costante

Cambiamento climatico



POLITECNICO DI TORINO



Alley, R.B., 2004, GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2004-013. NOAA/NGDC paleoclimatology. Program, Boulder CO, USA.

Cambiamento climatico



POLITECNICO DI TORINO



- Promessa di un futuro migliore
- Costume da ballo mostra Luigi XIV di Francia come personificazione del sole
- Molti altri sovrani si fecero rappresentare come Re Sole durante l'epoca glaciale.

topo e' a 10000 la T del pianeta e' calata.
 questo ha comportato carestie, difficolta' epidemie ecc.
 Re Sole si chiamava così perché doveva dare speranza alle popolazioni.



Luigi XIV di Francia

è fatto del miscelare i campioni con un miscelatore in modo da avere un solo tipo di campione. degli isotopi di $D^{14}C$ con la stessa media degli oceani. Libby legge il decadimento del ^{14}C con l'età e così rivelare il campione organico e dunque si rivelò il clima (si pensi alle piante e al clima stesso).

Archivi della terra



POLITECNICO DI TORINO



Harold Clayton Urey (1893-1981). A pioneering work on isotopes earned him the Nobel Prize in Chemistry



William Frank Libby (1908-1980). Nobel prize in chemistry in 1960 for radiocarbon dating



Willi Dansgaard (1922-2011). Danish paleoclimatologist

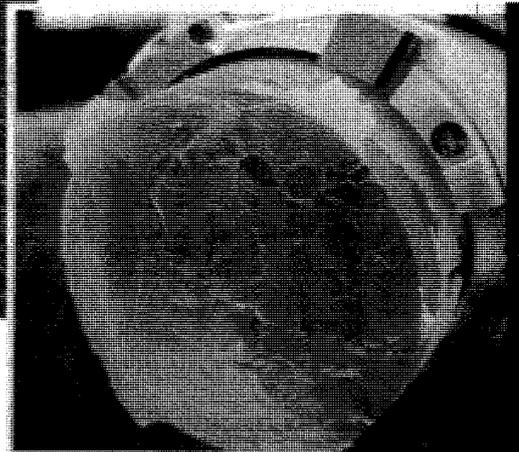
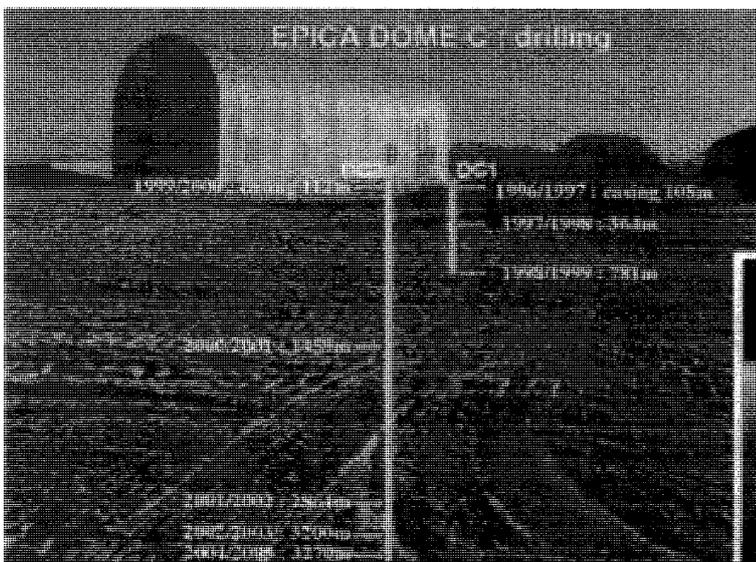
su i corotaggi di ghiaccio si analizzano l'aria in esse presenti e dunque il clima. a Antartide si è riusciti a fare corote fino a 3100m nel ghiaccio e si è riusciti a ricostruire il clima fino a circa 1 milione di anni fa. Questo era il progetto

PICA
European Project
on Ice Coring in Antarctica

Archivi della terra

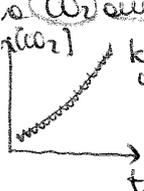


POLITECNICO DI TORINO



Gabrielle Walker, Frozen time, Nature, 2004.

Δ (CO₂) aumento di 1ppm all'anno in seguito all'aumento annuale di 4 Pg CO₂/y.
 Del grafico si vede che ogni anno si sono 400ppm di CO₂. L'alba è l'aumento e l'oscillazione perché ci sono dei periodi in cui il peso fotosintesi e molto forte (primavera, estate) e periodi in cui prevale la respirazione (inverno, sereno).



La misura del cambiamento climatico




Le unità di misura di interesse dipendono dal tipo di contesto a cui si riferisce:

- Concentrazione in atmosfera: in parti per milione (ppm) la conc. attuale di CO₂ è di 400 ppm.
- Produzione e trasferimento attraverso attività antropiche al ciclo globale del carbonio: in milioni di metri cubi (MMT)
- Emissioni nei processi energetici: kilogrammi di CO₂ per Joule di energia primaria (kg/J)

Alcuni numeri sulla concentrazione di CO₂

Pre-industriale: 280 ± 10 ppm

Concentrazione attuale: ≈ 400.63 ppm (28 Novembre 2015, Mauna Loa)

Radiative forcing



POLITECNICO DI TORINO



“RF is the net change in the energy balance of the Earth system due to some imposed perturbation. It is usually expressed in watts per square meter averaged over a particular period of time”

RF è una misura di come una certa perturbazione tende a squilibrare il bilancio energetico terrestre. Non si riferisce a cause prossime alla superficie. Vedere schema: si vede l'altera dell'atmosfera oltre la tropopausa. Le perturbazioni attraverso la RF tendono a sbilanciare il flusso radiativo. Il sistema risponde per equilibrare il bilancio energetico aumentando la temperatura. Lo sbilanciamento del sistema paracaduto dalla risposta e' un effetto ritardato che viene subito ripristinato dall'aumento di temperatura.

In termodin. si studia che la potenza termica scambiata è proporzionale a ΔT e inv. prop. alla resistenza termica - se la resistenza aumenta, per scambiare la stessa quantità

Myhre, G., D. Shindell, F.M. Breon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Talemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.

l'energia, deve aumentare ΔT . La risposta impedisce la trasmissione di calore, dunque la resist. termica del syst. aumenta, per riequilibrare l'energia scambiata il sistema cercherà per altro di aumentare ΔT .

GHGs



POLITECNICO DI TORINO



Composto chimico	Formula	Permanenza in atmosfera	GWP 100-anni
Metano	CH ₄	12.4	28
Diossido di azoto	N ₂ O	121	265
Anidride carbonica	CO ₂	Centinaia di anni	1

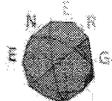
Il metano ha un effetto 28 volte maggiore in termini di RF rispetto alla CO₂.
 Anche gli aerosol contribuiscono all'effetto serra!

Quali sono le forzanti del clima? Cioè, cose può cambiarlo?

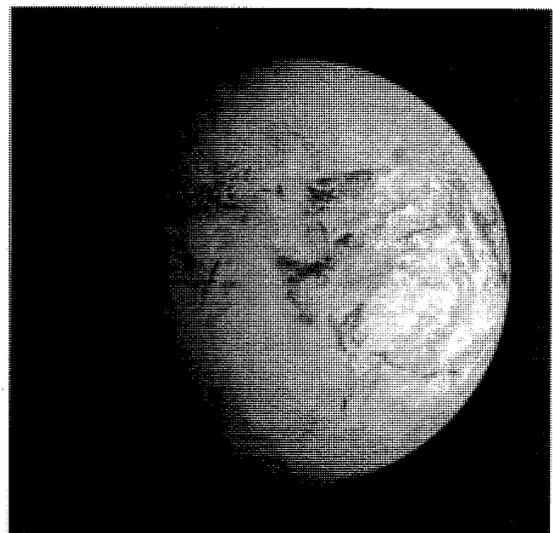
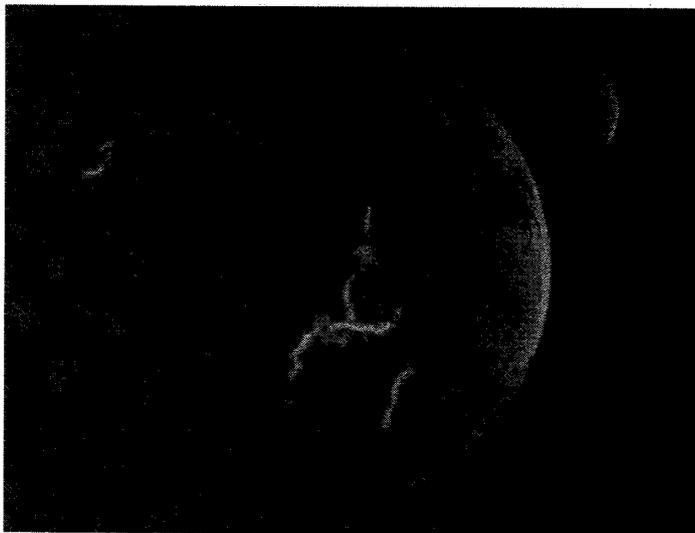
Forcing on climate



POLITECNICO DI TORINO



Il clima è cambiato spacciatissimo. Da una palla di fuoco ad una di neve.



From fire to snow ball

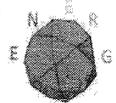
Forzano forzanti naturali e antropogeniche sul clima -

Classifica di tutte le sostanze. Alcune sostanze hanno effetto negativo (come i foratauti) in quanto danno vita all'albedo planetario.

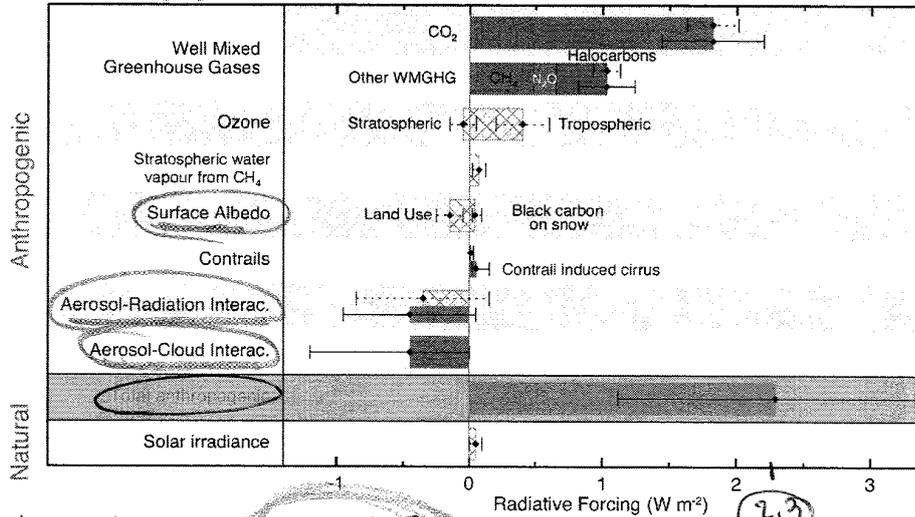
RF di varie sostanze



POLITECNICO DI TORINO



Radiative forcing of climate between 1750 and 2011
Forcing agent



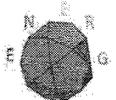
Il RF antropogenico è circa 2,3 W/m².

Source: IPCC – TAR, WG1, Ch. 2

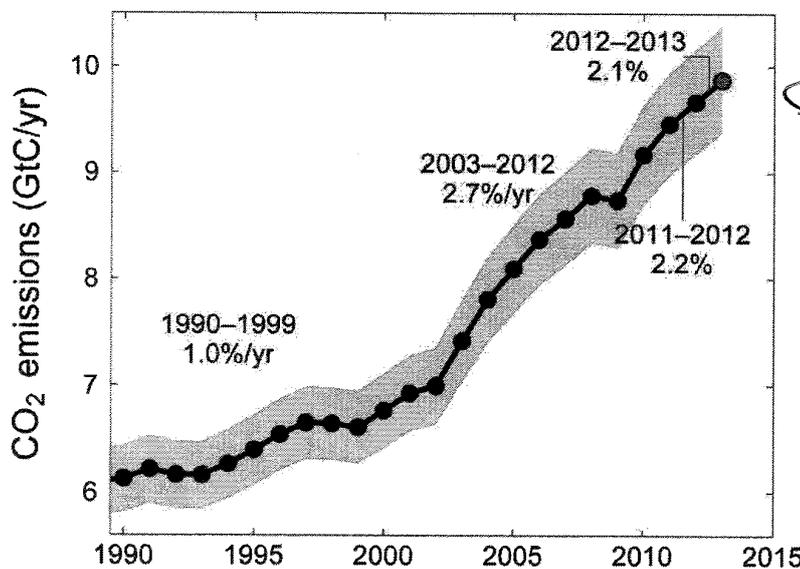
Emissioni di gas serra (GHGs)



POLITECNICO DI TORINO



Global fossil fuel and cement emissions: 9.7 ± 0.5 GtC in 2012, 58% over 1990
Projection for 2013 : 9.9 ± 0.5 GtC, 61% over 1990



37 GtCO₂/y
2013 9.9 GtC emissioni di C all'anno



Uncertainty is ±5% for one standard deviation (IPCC "likely" range)

Source: Le Quéré et al (2013); CDIAC Data; Global Carbon Project 2013



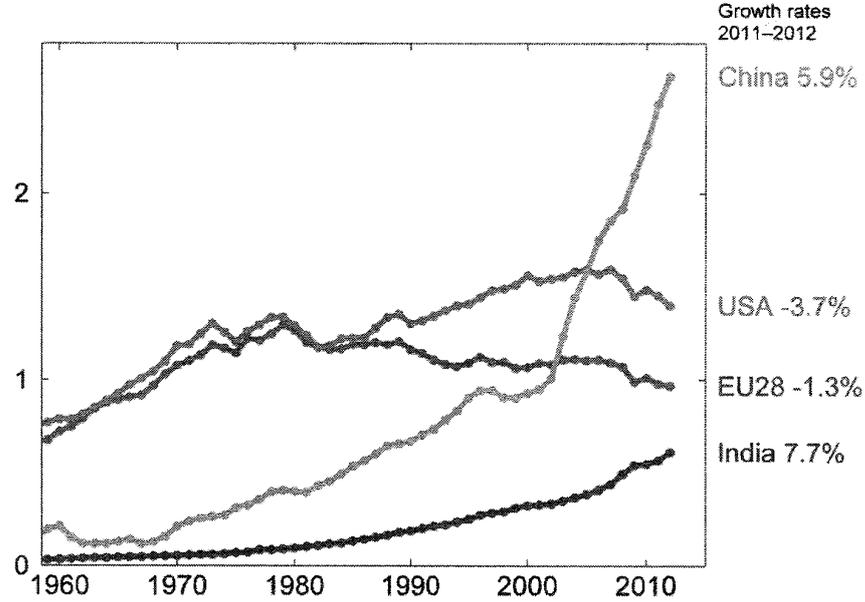
POLITECNICO DI TORINO



Emissioni di gas serra (GHGs)

Top four emitters in 2012 covered 58% of global emissions
China (27%), United States (14%), EU28 (10%), India (6%)

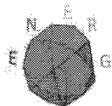
*La Cina ha molte nperato in le emissioni no-carbonate di CO₂ l'Europa, anche l'India no.
La Cina non ha in scuse, deve rivedere!
ma = 2,5 GtC/y*



Source: Le Quéré et al 2013; CDIAC Data; Global Carbon Project 2013



POLITECNICO DI TORINO



Emissioni di gas serra (GHGs)

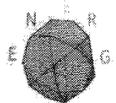
LUCF (Land Use Change and Forestry)



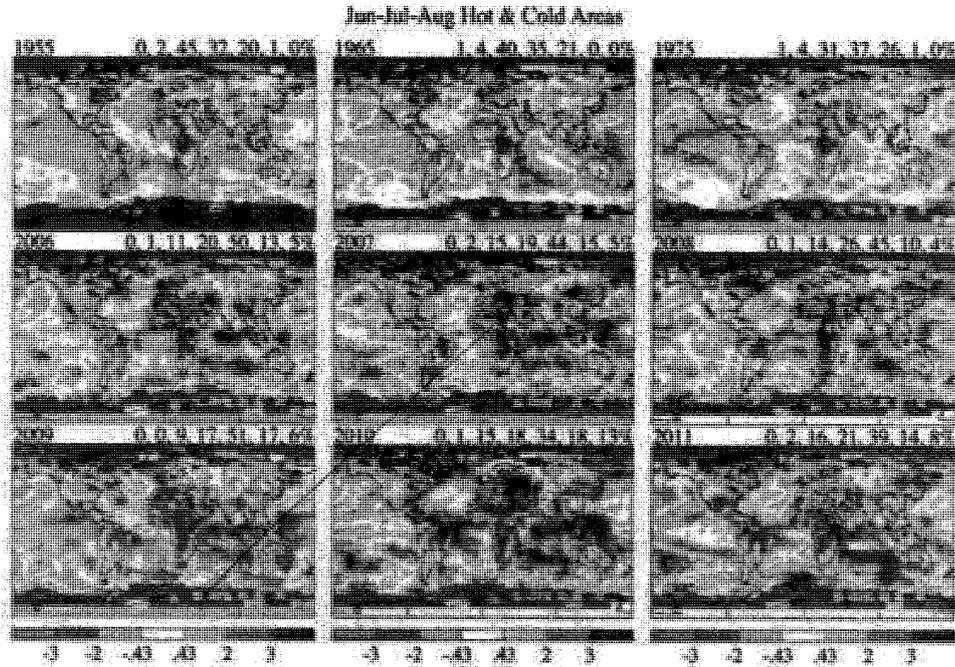
Climate Analysis indicator tool (CAIT) del WRI (World Resource Institute)



POLITECNICO DI TORINO



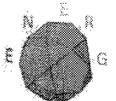
Emissioni di gas serra (GHGs)



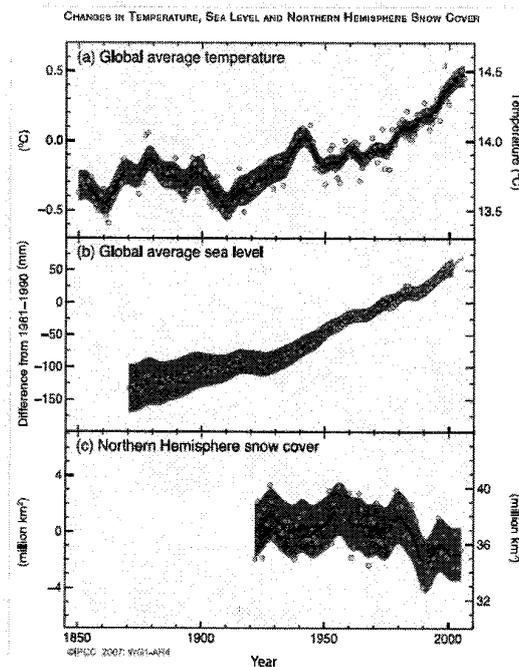
Hansen et Al., Perception of climate change, Proc. Natl. Acad. Sci., 109.



POLITECNICO DI TORINO



Emissioni di gas serra (GHGs)



la temperatura di 0,5°C

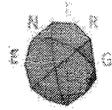
il mare è salito di 50 cm

l'equivalente in neve sciolta

IPCC 2007, Synthesis Report, AR4, Summary for Policymakers

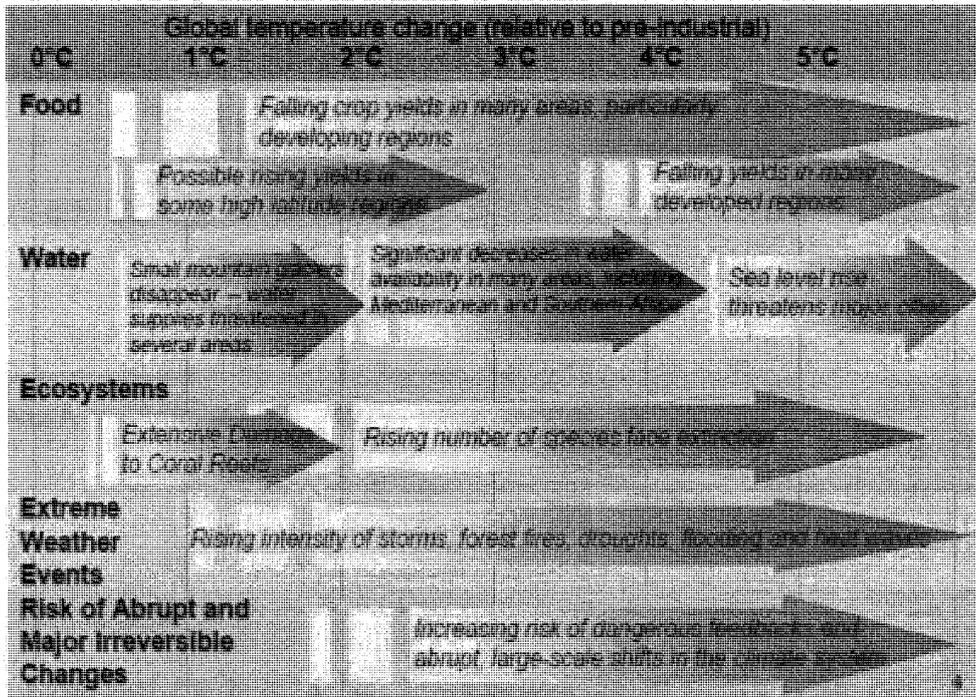


POLITECNICO DI TORINO



Emissioni di gas serra (GHGs)

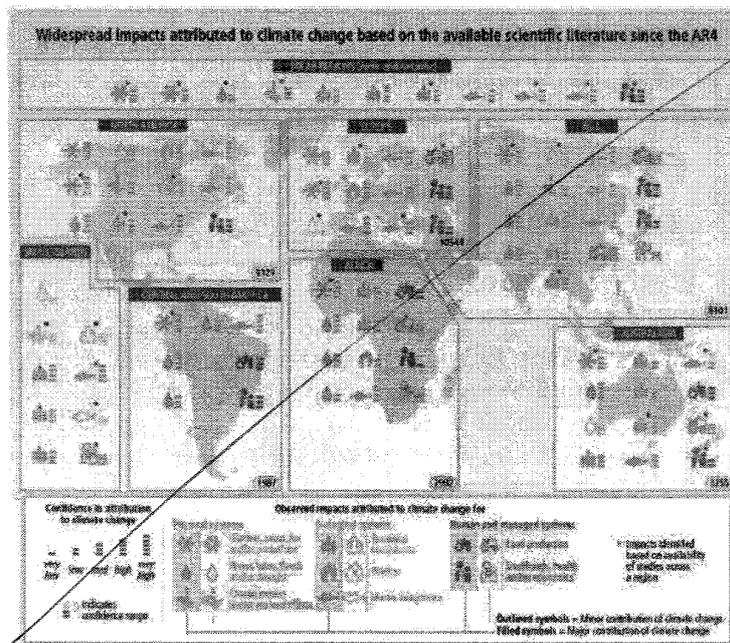
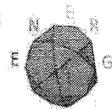
Aumento di T e impatti effetti.



Emissioni di gas serra (GHGs)



POLITECNICO DI TORINO



IPCC - Fifth Assessment Report (AR5) - 2014