

Geografia dello sviluppo,
ambiente e risorse energetiche.
(Risorse- Economia- Ambiente)

Lezione 4

Martedì 20 marzo 2018

**Energia prima parte.
Grandezze fisiche e loro
misura.**

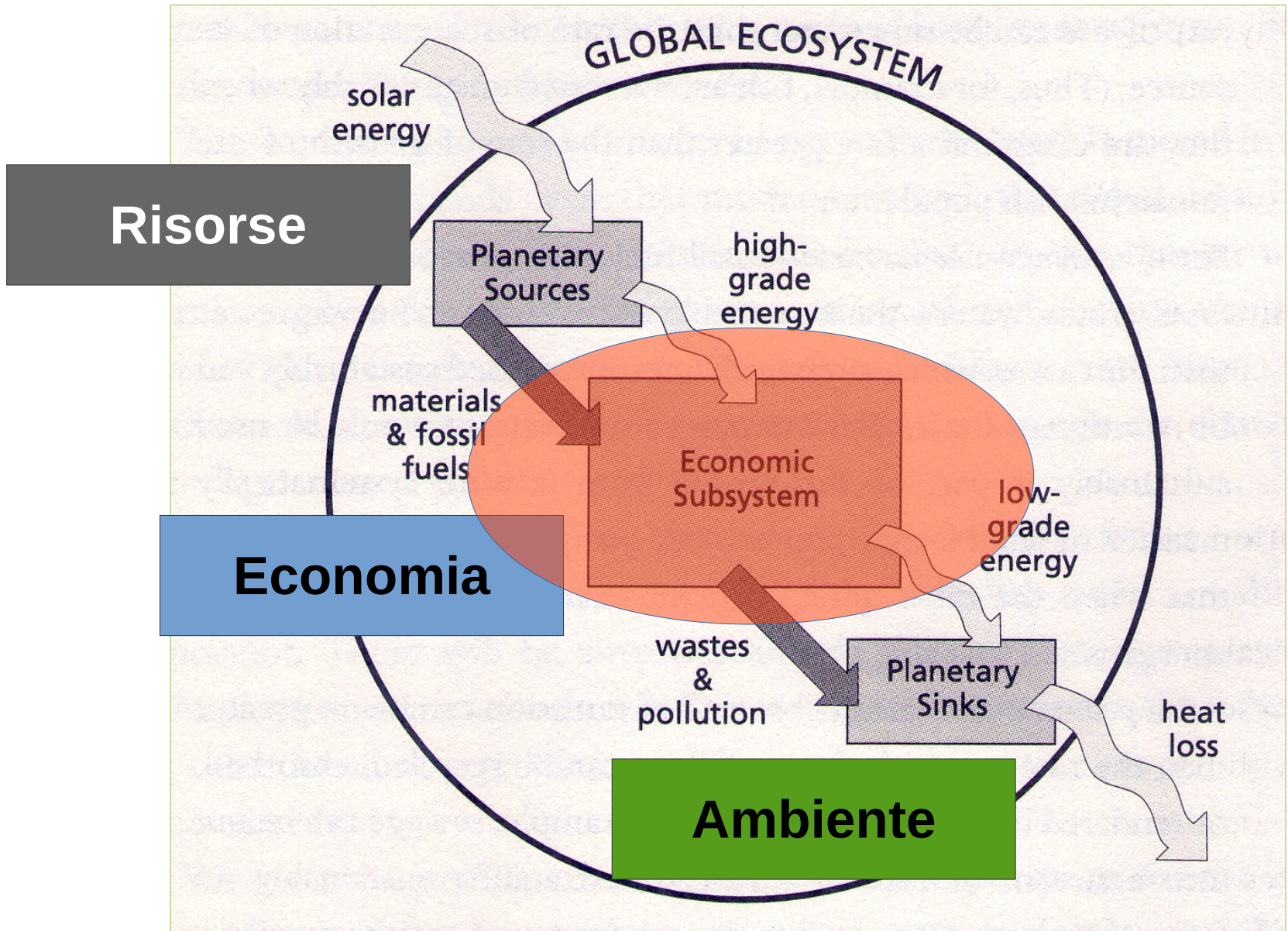
2 ore

Totale ore 08/48

N.	data	cat.	ore	titolo
1	27.02.18	Z	2	Presentazione del corso
2	13.03.18	C	4	Il picco del petrolio (o picco di Hubbert) I.
3	15.03.18	C	6	Il Picco di Hubbert II
4	20.03.18	A	8	Cosa è l'energia. Conservazione e conversione.
5	22.03.18	A	10	Entropia e principi della termodinamica
6	27.03.18	A	12	Riflessioni sui principi della termodinamica
7	03.04.18	B	14	Energia in natura e fotosintesi
8	05.04.18	B	16	Energia degli autotrofi e di Homo sapiens
9	10.04.18	B	18	Complessificazione preindustriale. Strumenti e tecnologia.
10	12.04.18	C	20	Combustibili fossili. Produzione e consumi
11	17.04.18	C	23	EROEI ed Energia Netta.
12	19.04.18	C	25	Alternative ai combustibili fossili. Il nucleare.
13	24.04.18	C	27	Alternative ai combustibili fossili. Fonti rinnovabili.
14	26.04.18	D	29	Rearefazione delle risorse minerali implicazioni ecologiche, economiche e sociali.
15	04.05.18	D	32	Le Georisorse ed il loro futuro (Prof. F. Di Benedetto)
16	08.05.18	E	34	Misure di impatto ambientale del metabolismo sociale ed economico
17	10.05.18	F	36	Limiti dello sviluppo o della crescita?
18	15.05.18	F	38	I sistemi complessi e la dinamica dei sistemi.
19	17.05.18	F	40	Esercitazione sulla dinamica dei sistemi.
20	22.05.18	E	42	Clima e cambiamenti climatici
21	29.05.18	E	44	Esercitazione sul Picco di Hubbert (gioco da tavolo)
22	31.05.18	G	46	Conclusioni
23	05.06.18	G	48	Esercitazioni d'esame. Risorse e ambiente.

In questa lezione ci prepareremo alla comprensione dei fenomeni energetici che sono basilari per la comprensione del carattere bio-fisico del processo economico. Lo studio dei flussi energetici attraverso la biosfera e la società umana ci pone al centro della nostra cultura, tecnico- scientifica e non solo. L'Energetica infatti è la scienza che studia la natura, la consistenza e la dinamica di questi flussi, e si colloca al crocevia fra scienze fisiche e naturali (le cosiddette scienze quantitative) e scienze economiche e sociali avendo implicazioni di ordine fisico- chimico- biologico, ma anche storico, geografico e, come detto, sociale, economico e giuridico.

La grandezza fisica che mette in relazione economia ed ambiente è l'energia ed è la disponibilità di energia che determina le dimensioni del metabolismo sociale ed economico della nostra specie, quindi i limiti della crescita demografica e dei consumi e determina i confini dello spazio disponibile per l'attività umana e, dunque, si presenta come misura della sostenibilità.



Fino a 300 anni fa l'uomo, come tutti gli altri organismi della biosfera, utilizzava esclusivamente i flussi di energia originati dalla radiazione solare: i prodotti della fotosintesi e della sottostante catena alimentare (l'energia alimentare prodotta da raccolta, caccia, pesca, e poi agricoltura e allevamento), la forza muscolare umana o degli animali, il vento e le correnti dei fiumi e torrenti con i mulini. Poi, nel XVIII secolo, si è scoperto il modo di utilizzare l'energia solare immagazzinata in milioni di anni e centinaia o decine di milioni di anni fa, nei combustibili fossili.

Questa è la quarta scoperta o invenzione prometeica che distingue ulteriormente la specie umana (*Homo sapiens*), dal resto della biosfera. La prima è la scoperta del fuoco (cioè il modo di controllarlo e generarlo), la seconda la scoperta della domesticazione di alcuni animali, la terza la scoperta dell'agricoltura, cioè il modo di coltivare le piante utili ai nostri bisogni, e la quarta, appunto, la scoperta del modo di utilizzo dei combustibili fossili. Ogni invenzione/scoperta nuova corrisponde ad un salto nella capacità di intercettare e disporre del flusso energetico naturale. Questo salto determina un aumento del surplus che, nella società umana si traduce in progressiva complessificazione, evoluzione culturale e aumento della popolazione. È l'entità di questo flusso energetico che determina le condizioni sociali, economiche e culturali della società umana. Per questo si definisce l'energia come "master resource". Ma cosa è l'energia? I prossimi paragrafi si occuperanno di questo aspetto soprattutto al fine di familiarizzare lo studente con la misura quantitativa di questa grandezza fisica.

Energia

La madre di tutte le risorse.

Possiamo dire che l'energia è la "madre di tutte le risorse". E lo è in senso stretto, perché è grazie alla disponibilità di energia che tutte le altre risorse possono essere raccolte e sfruttate da noi (Homo sapiens) e da tutti gli altri esseri viventi. Vedremo più avanti il modo specifico in cui l'energia entra e viene catturata ed utilizzata nella biosfera e poi nella società. Per il momento occupiamoci di familiarizzare con il concetto fisico di energia.

L'universo è costituito da massa ed energia che sono correlate dalla famosa equazione della Relatività Generale di Einstein:

$$E = mc^2$$

Dove E è l'energia, m la massa, e c la velocità della luce nel vuoto pari a circa 300.000 Km/sec, cioè 300.000.000 (trecento milioni) di m/sec. Una piccola quantità di massa si trasforma in una grandissima quantità di energia. In poche parole il "tasso di cambio" è molto favorevole alla massa. Cioè è sufficiente "cambiare" una piccola quantità di massa per ottenere una quantità molto grande di energia. Come hanno sperimentato le vittime di Hiroshima e Nagasaki nelle cui esplosioni si annichirono poche decine di grammi di Uranio.

Esercizio 1. Si provi ad usare l'equazione di Einstein per stimare l'energia liberata dalla bomba di Hiroshima sapendo che essa ha trasformato in energia 0,6 grammi di materia.

Energia



Massa

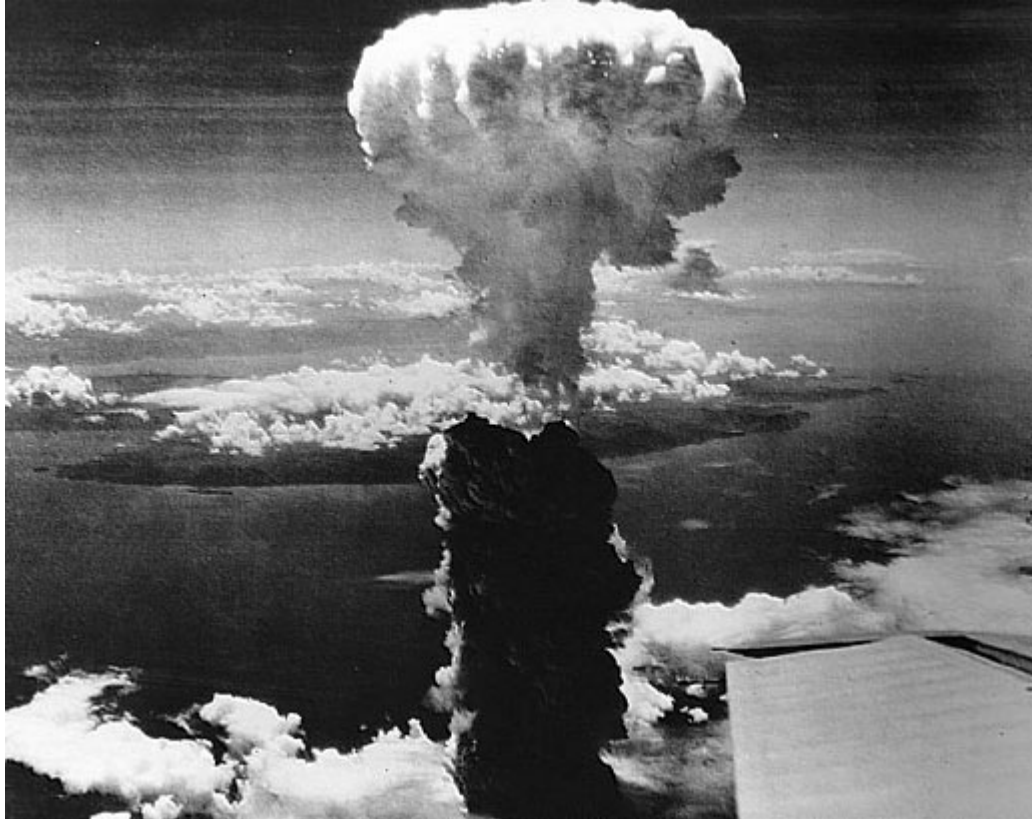


$$E = mc^2$$



Velocità della luce
300.000 Km/s

La bomba di Hiroshima



6 agosto 1945



$$E = m c^2 = 0,0006 \text{ Kg} * (300.000.000 \text{ m/s})^2 =$$

$$5,4 \cdot 10^{13} \text{ Kg m}^2/\text{s}^2 = 54 \text{ TJ}$$

Equivalenti a 13.000 tonnellate di tritolo.
Oppure a circa 9000 barili di petrolio. Il triplo della potenza richiesta attualmente dall'intera umanità.

L'energia è una grandezza fisica che misura la capacità di un sistema di compiere lavoro.

- **Cosa è una grandezza fisica?**
- Cosa è un sistema?
- Cosa è il lavoro?

L'energia è una grandezza fisica, ma cosa è una grandezza fisica? Il problema filosofico è difficile da risolvere. Le definizioni delle grandezze fisiche fondamentali sono sempre insoddisfacenti e il caso dell'energia (e della massa) non fa eccezione. Ad esempio il Nobel per la fisica Richard Feynman ha detto: «È importante tener presente che nella fisica odierna, non abbiamo alcuna conoscenza di cosa sia l'energia.»

Esercizio 2. Lo studente si chieda cosa siano le grandezze fondamentali: la massa, la lunghezza, il tempo, la carica elettrica. E poi cerchi di darsi una definizione per ciascuna di esse.

In effetti quello che ci interessa però è l'aspetto pratico e in fisica l'aspetto pratico è stato risolto definendo le grandezze fisiche attraverso il metodo per misurarle. Da questo punto di vista la lunghezza è quella cosa che si misura con un regolo (metri, pollici, Km ecc) il tempo è quella cosa che si misura con un mezzo che scandisca il passare del tempo (clessidra, meridiana, orologio ecc) la massa quella cosa che si misura con una bilancia, e la temperatura quella che si misura con il termometro. Le grandezze fisiche si definiscono quindi in modo operativo. Ognuno capirà che il non saper dare una definizione filosofica alla lunghezza o al tempo o alla temperatura non ci impedisce di usare il metro, l'orologio o il termometro come strumenti quotidiani di misura.

Grandezze fisiche

- Lunghezza (metro: m)
- Tempo (secondo: s)
- Massa (chilogrammo: Kg)
- Temperatura (grado centigrado: °C)
- Corrente elettrica (Ampere: A)

Grandezze primarie o fondamentali o base e grandezze derivate.

Le principali grandezze fisiche che si prendono per date, cioè senza darne una definizione sono il tempo, la massa e la lunghezza (o lo spazio). Tali grandezze, dette fondamentali, base o primarie, si misurano con determinati apparecchi: l'orologio, la bilancia e il regolo. Tali apparecchi danno misure (numeri) in determinate unità e con un certo errore. Secondo il Sistema Internazionale delle Unità di Misura (SI) il tempo si misura in secondi (simbolo: s), la massa in chilogrammi (Kg) e le lunghezze in metri (m). Nel SI si definiscono anche altre quattro grandezze fondamentali, ma per il momento accontentiamoci delle tre citate, visto che attraverso di esse è possibile arrivare a definire l'energia. L'energia è, infatti, una delle grandezze fisiche derivate da quelle fondamentali. Prima di arrivare all'energia si devono definire altre grandezze derivate: la velocità, l'accelerazione e la forza.

$$velocità = \frac{spazio}{tempo}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

metri

secondi

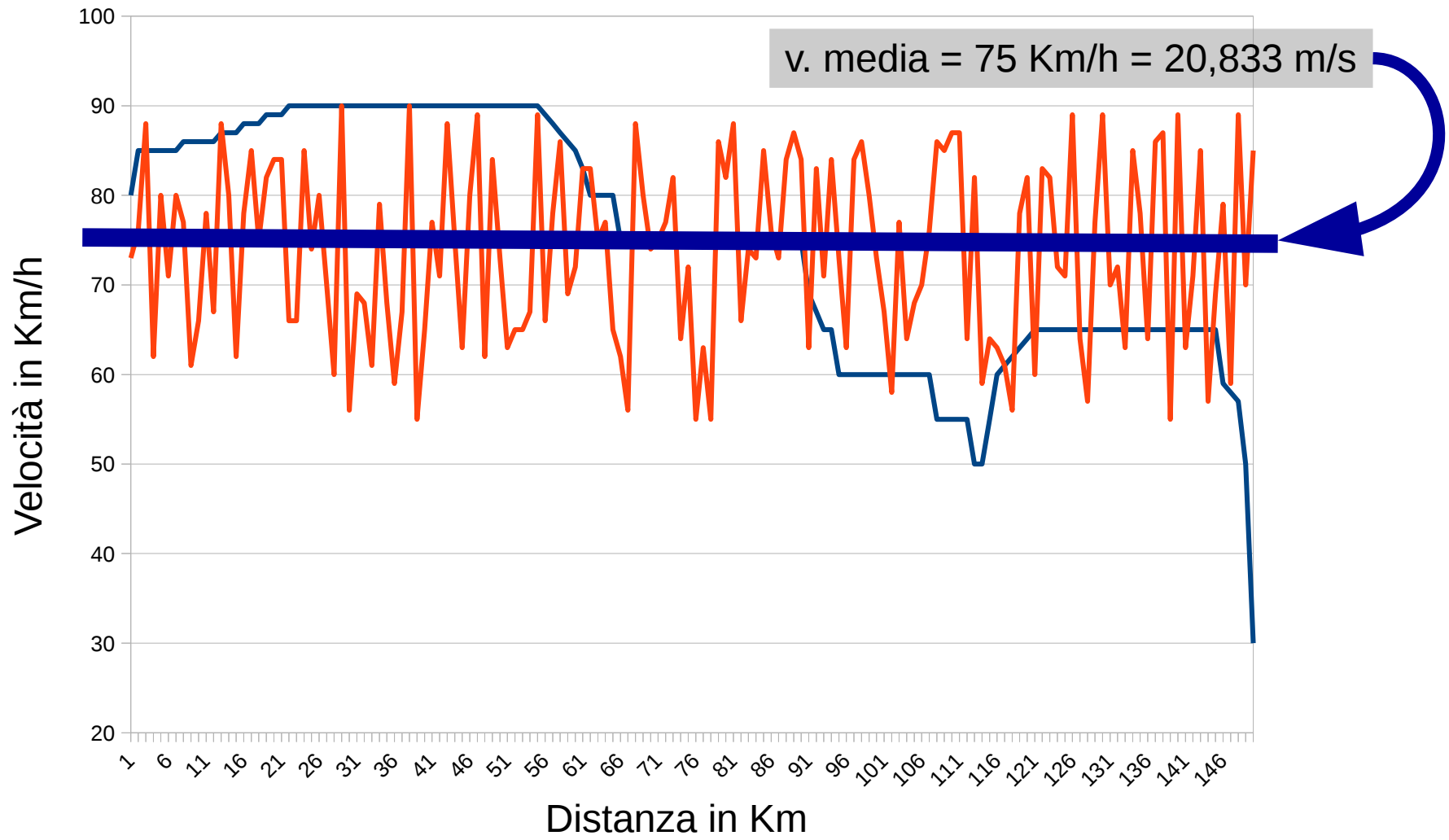
Firenze – Grosseto 150 Km

Tempo di percorrenza 2 h

Velocità media = 150 Km / 2 h = 75 Km/h =

= 150.000 m / (60*60*2) s = 150.000/7.200 (m/s) = 20,833 (m/s)

Per usare le unità SI si deve riportare l'intervallo di tempo in secondi e quello di lunghezza in metri. Quindi il tempo di 2 ore diventa: $2 \text{ h} * 60 \text{ min/h} * 60 \text{ s/min} = 7200 \text{ s}$. Quindi la vostra velocità media è $150.000 \text{ m} / 7200 \text{ s} = 20,833 \text{ m/s}$. Abbiamo detto media perché non abbiamo registrato la velocità ogni singolo istante del viaggio nel quale avremo tenuto velocità diverse. Riducendo sempre di più l'intervallo di tempo in cui si effettua la misura si passa dalla velocità media di un determinato percorso (in fisica traiettoria) alla velocità istantanea che è quella che misura in ogni istante il tachimetro del veicolo (e l'autovelox in un singolo istante. Istante molto importante per il tuo portafoglio). Nella figura che segue riportiamo la velocità istantanea di due possibili viaggiatori in funzione della distanza. La linea fine blu e quella rossa corrispondono a diversi modi, uno molto nervoso (il rosso), l'altro più tranquillo (il blu), di percorrere lo stesso tratto di strada (150 Km) impiegandoci lo stesso tempo totale e quindi con la stessa velocità media.




La seconda grandezza derivata è l'**accelerazione** che è la variazione di velocità nell'unità di tempo. Essa è definita come il rapporto fra la variazione di velocità, misurata in metri al secondo (m/s) e l'intervallo di tempo, misurato in secondi, in cui questa variazione avviene. Le vetture della Formula 1 sono in grado di raggiungere da ferme la velocità di 200 Km/h in 4 secondi. La velocità iniziale è 0 Km/h la velocità finale è 200 Km/h corrispondenti a $200.000/3600 \text{ m/s} = 55,556 \text{ m/s}$, quindi la differenza di velocità è $55,556 - 0 = 55,556 \text{ m/s}$, il tutto in 4 secondi, pertanto l'accelerazione è pari a:

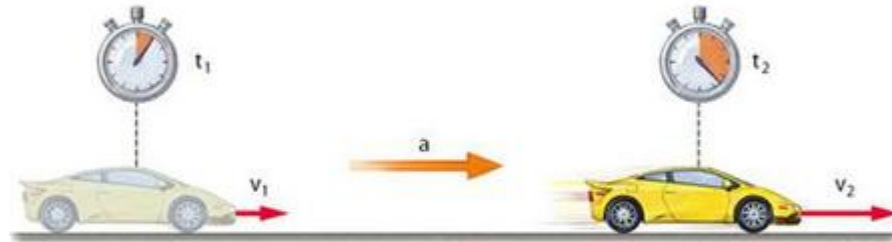
$$\text{accelerazione media} = 55,556/4 = 13,889 \text{ m/s}^2$$

Si noti che l'unità di misura dell'accelerazione ottenuta dividendo velocità per tempo è data in m/s^2 (metri al secondo quadrato). Questo è il punto fondamentale da ricordare. Anche in questo caso, riducendo l'intervallo di tempo in cui si effettua la misura si può determinare l'accelerazione istantanea. Esistono strumenti che lo fanno, gli accelerometri, ma sono molto più complessi del tachimetro della vostra vettura. A scopo comparativo pensate che l'accelerazione di gravità, **g**, è pari a circa $9,8 \text{ m/s}^2$ il che significa che se vi lanciate nel vuoto (senza contare l'attrito dell'aria) in un secondo raggiungerete la velocità di $9,8 \text{ m/s}$ pari a circa 35 Km/h. Lanciandosi dal 3 piano (circa 10 metri) all'impatto stiamo andando ad una velocità di quasi 80 Km/h raggiunta in poco più di 2 secondi. In partenza lo Shuttle raggiungeva accelerazioni di 3 volte l'accelerazione di gravità (3g), ma se andate sulle montagne russe supererete facilmente accelerazioni di oltre 4g.

$$\text{accelerazione} = \frac{\text{variazione di velocità}}{\text{tempo}}$$

$$a = \frac{dv}{dt}$$


$$\frac{\left(\frac{\text{metri}}{\text{secondo}}\right)}{\text{secondi}} = \frac{\text{metri}}{\text{secondi}^2} = \frac{m}{s^2}$$



$$V_1 = 0$$

$$V_2 = 200 \text{ Km/h} = 55.556 \text{ m/s}$$

$$t_1 = 0$$

$$t_2 = 4 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{(55,556 - 0) \text{ m/s}}{(4 - 0) \text{ s}} = 55,556 / 4 = 13,889 \text{ m/s}^2$$



Accelerazione di gravità
9,8 m/s²

In 4 secondi si raggiunge la
velocità di
 $9,8 \text{ m/s}^2 \times 4 \text{ s} = 39,2 \text{ m/s}$

Una volta definite le tre grandezze fondamentali e le due grandezze derivate velocità ed accelerazione si può passare a definire la **forza**. Questa grandezza è definita nel secondo principio della dinamica di Isaac Newton che tutti conoscono: Forza = massa * accelerazione

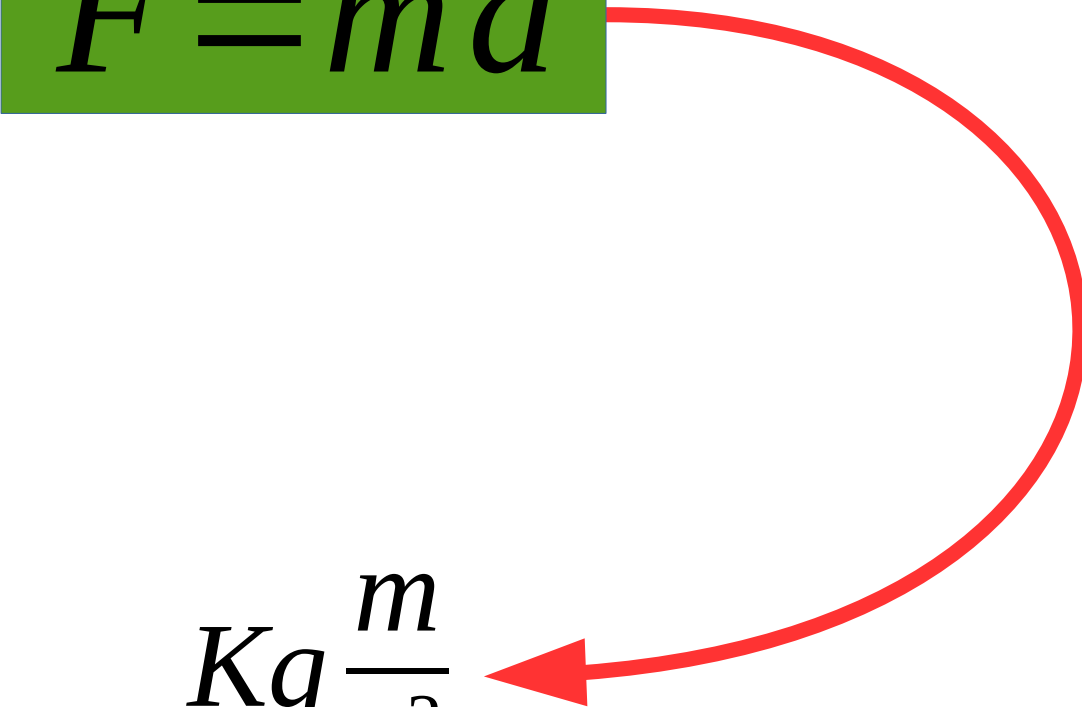
$$F = ma$$

(effe uguale emme a, chiunque se lo ricorda). La forza è dunque misurata in unità di massa (Kg) moltiplicate per le unità dell'accelerazione che, come abbiamo visto, è espressa in unità di lunghezza diviso per unità di tempo al quadrato (m/s^2). Quindi la forza è espressa in $Kg\ m/s^2$. A questo punto si definisce una nuova unità di misura, il Newton (simbolo N) che rappresenta la forza che imprime alla massa di 1 Kg l'accelerazione di $1\ m/s^2$. Cioè una forza che fa aumentare la velocità della massa di 1 Kg di $1\ m/s$ ogni secondo. La forza, P, che sperimenta un corpo sulla Terra, è data dal prodotto della massa m del corpo per l'accelerazione di gravità, g, cioè: $P = mg$. Questa forza prende un nome particolare: quello di peso.

La forza, come lo spostamento la velocità e l'accelerazioni sono grandezze che oltre ad avere un valore numerico hanno anche una direzione ed un verso, cioè **sono grandezze vettoriali**. Ma a questo livello possiamo trascurare questo aspetto.

*Forza = massa * accelerazione*

$$F = m a$$

$$Kg \frac{m}{s^2}$$


Il **lavoro** è un'altra grandezza fisica derivata definita da una forza che sposta una massa per una certa lunghezza. Qui si parla ovviamente del concetto fisico non di quello economico come viene definito fra i fattori di produzione.

Ad esempio il cavallo che traina il calesse, i buoi che tirano l'aratro, il muratore che solleva la caldaia dal piano terra verso un piano superiore, la pompa che solleva l'acqua dal pozzo all'utenza di casa, e, ovviamente, l'insieme dei veicoli che spostano i nostri corpi e le nostre merci in giro per il mondo compiono un lavoro.

Matematicamente il lavoro è dunque dato da una forza moltiplicata per uno spostamento.

$$\text{Lavoro} = \text{Forza} * \text{spostamento}$$

Quindi il lavoro si misura in Newton*metro (N m) o, ritornando alle unità di misura fondamentali, in Kg m²/s². Anche questa, come il Newton, è una unità così importante che ha meritato un nome a se: quello di Joule, in onore e memoria del fisico britannico James Prescott Joule.

L'energia è una grandezza fisica che misura la capacità di compiere lavoro di un sistema.

- Cosa è una grandezza fisica?
- Cosa è un sistema?
- **Cosa è il lavoro?**

*Lavoro = Forza * spostamento*

$$L = F s$$

$$Kg \frac{m}{s^2} * m = \frac{Kg * m^2}{s^2} = Joule$$

J

Se il muratore di cui sopra, solleva la massa m contro la forza di gravità ($P = m \cdot g$) per una altezza y compie un lavoro pari a $m \cdot g \cdot y$. Se la massa è una caldarella di 10 Kg di cemento e viene portata al terzo piano (10 m) il lavoro compiuto corrisponde a: $10 \text{ (Kg)} \cdot 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot 10 \text{ (m)} = 980 \text{ Kg m}^2\text{/s}^2$. Pari a 980 Joule. Questa è, per definizione, anche l'energia che la calderella ha acquistato rispetto allo zero preso arbitrariamente al piano terra. Questa forma, statica, di energia meccanica si chiama energia potenziale, se facciamo cadere la massa, come abbiamo visto parlando di accelerazione di gravità, questa acquista velocità e, man mano che la velocità aumenta, l'energia potenziale si trasforma in energia cinetica data dal prodotto

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m v^2$$

Dato un sistema meccanico, cioè composto di oggetti materiali (qualsiasi cosa questo significhi, diciamo corpi ordinari della vita quotidiana) in assenza di attriti la somma di energia potenziale ed energia cinetica sono costanti. Questo è un principio fondamentale che viene indicato come **principio di Conservazione dell'Energia**. Torneremo inseguito su questo principio in un contesto più generale: quello della Termodinamica.

*Lavoro = Forza * spostamento*

Spostamento di un peso in verticale.

$$\text{Peso: } P = m g$$

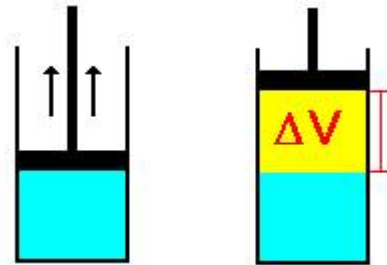
$$L = mgh$$



$$\begin{aligned} 200 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 * 10 &= \\ 19.600 \text{ Joule} & \\ 19,6 \text{ kJ} & \end{aligned}$$

Espansione di un gas.

$$L = \frac{F}{S} \Delta V = F \frac{\Delta V}{S}$$



$$\begin{aligned} 101.325 \text{ Kg m/s}^2 * 2 \text{ m} &= \\ 202.650 \text{ Joule} & \\ 202,65 \text{ kJ} & \end{aligned}$$

L'energia è una grandezza fisica che misura la capacità di compiere lavoro di un sistema.

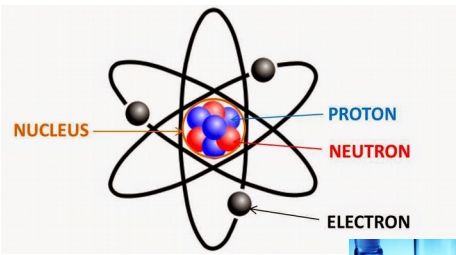
- Cosa è una grandezza fisica?
- **Cosa è un sistema?**
- Cosa è il lavoro?

Un sistema è una qualsiasi porzione di spazio delimitata con dei confini reali o fittizi, che sia oggetto di indagine.

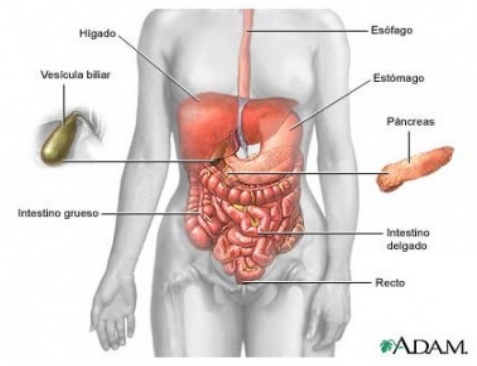
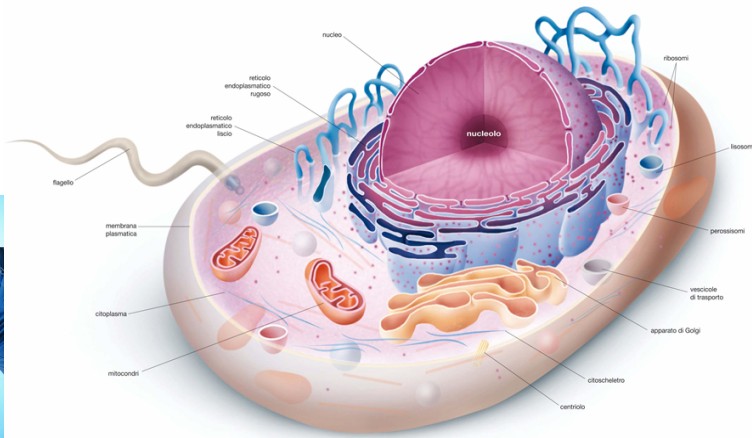
Nella figura della pagina seguente si riportano diversi esempi di sistema.

Data questa definizione non esistono limiti spaziali definiti all'interno dei quali definire un sistema. Nella tabella che segue si riporta una lista di distanze che misurano l'intero spettro di distanze osservabili in natura e, perciò, l'intero spettro di dimensioni per i sistemi fisici che possono essere studiati, dal cosmo intero alla più piccola particella elementare. La definizione di sistema è perciò sufficientemente larga sia in dimensione che concettualmente.

È un sistema una singola cellula, un'intero organismo o una parte di esso (ad esempio il sistema digerente), una macchina, un'industria, un paese o un'insieme di paesi, un pianeta o, come abbiamo detto, l'intero cosmo.



Download from Dreamstime.com



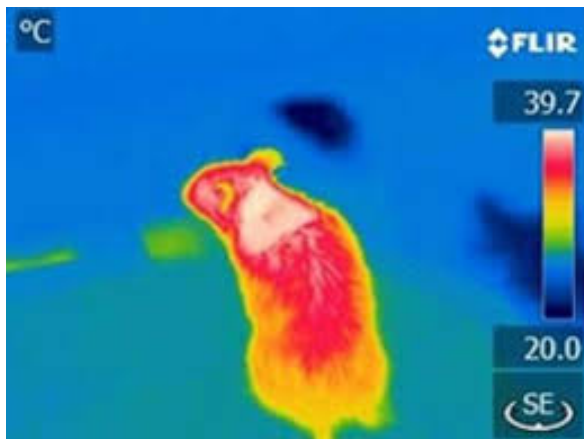
ADAM



Definizione	metri	
Distanza dalla Terra del più remoto quasar conosciuto	$1,4 \times 10^{26}$	14,8 miliardi di anni luce
Distanza della più remota galassia	9×10^{25}	9,51 miliardi di anni luce
Distanza della più vicina galassia (la nebulosa di Andromeda: M31)	2×10^{22}	2,11 milioni di anni luce
Distanza fra Sole e la stella più vicina (Proxima Centauri)	4×10^{16}	4,23 anni luce
Un anno luce (velocità della luce = 300.000 Km/secondo)	$9,46 \times 10^{15}$	1 anno luce
Raggio medio dell'orbita della Terra attorno al sole	$1,5 \times 10^{11}$	150 milioni di Km circa 8 minuti luce
Distanza media Terra-Luna	$3,84 \times 10^8$	384.000 Km
Distanza Equatore- Polo Nord	1×10^7	10.000 Km
Raggio medio della Terra	$6,37 \times 10^6$	6370 Km
Tipica altezza sulla superficie terrestre di un satellite orbitante	2×10^5	200 Km
Tipica lunghezza di un campo di calcio	1×10^2	100 m
Altezza umana tipica	$1,7 \times 10^0$	1,7 m
Dimensione di una mosca	5×10^{-3}	0,5 cm
Dimensione di una particella di polvere	1×10^{-4}	0,1 mm = 100 micro-metri
Dimensione di una cellula tipica	1×10^{-5}	10 micro-m
Diametro dell'Atomo di idrogeno	1×10^{-10}	
Nucleo atomico	1×10^{-14}	
Protone	1×10^{-15}	
Lunghezza di Planck	$1,6 \times 10^{-35}$	Secondo le attuali teorie fisiche lunghezza inferiori alla lunghezza di Planck non hanno senso fisico.

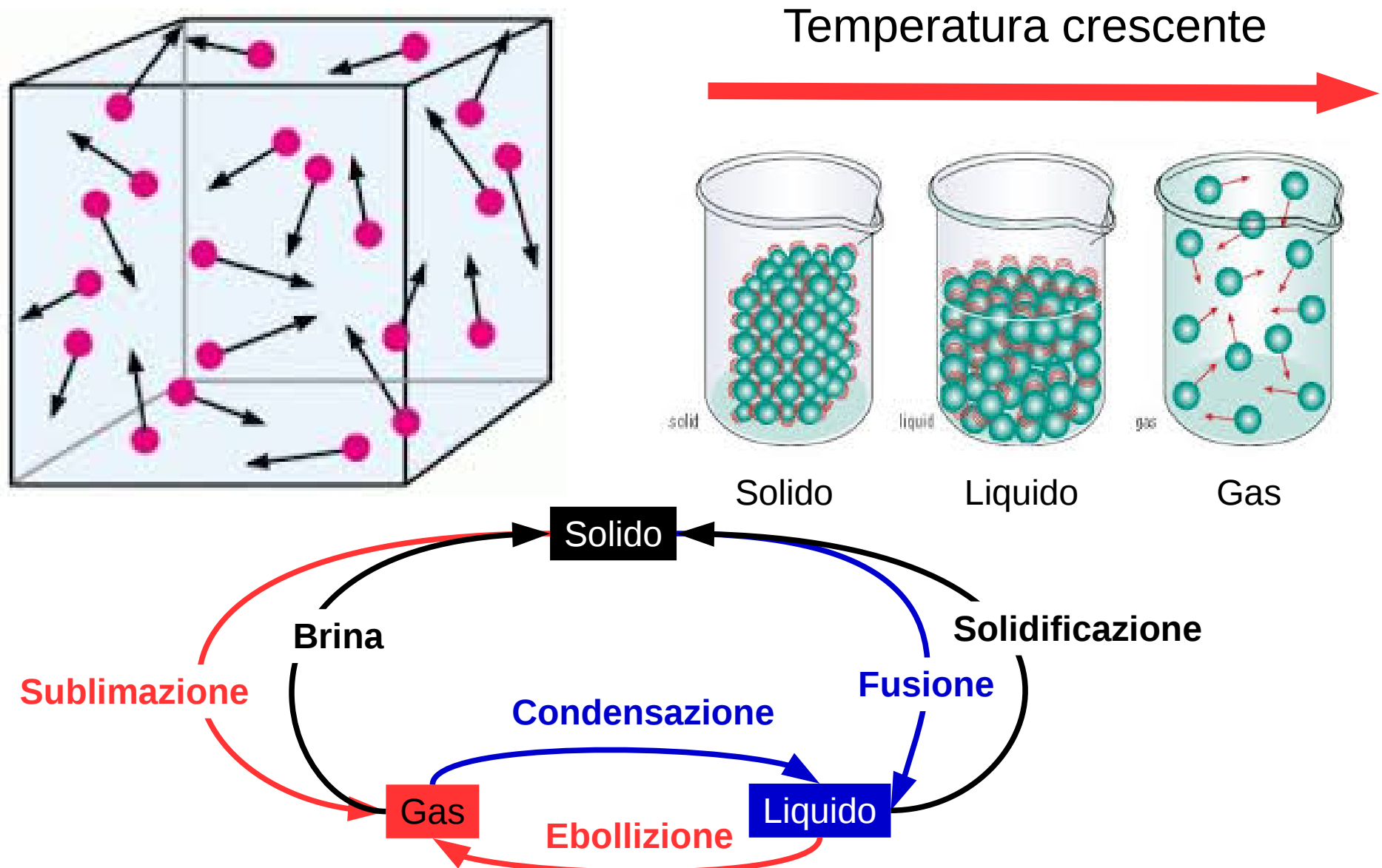
In ognuna delle azioni descritte sopra, il calesse tirato dal cavallo, l'autoveicolo da trasporto o la movimentazione di pesi, quello che si compie è lavoro meccanico, **ma qualsiasi processo che produce un cambiamento compie un lavoro**. Questo avviene sia quando si cambia la posizione di un oggetto, come visto sopra, sia quando cambia la composizione chimica o la pressione interna di un oggetto, quando si spostano cariche elettriche ecc. Sia che si tratti di un organismo vivente che di un oggetto inanimato. Una cosa accomuna tutte le forme di lavoro, quella di essere descrivibili come una forza di qualche natura per uno spostamento (che può essere, appunto, la migrazione di una sostanza chimica attraverso una parete cellulare oppure il moto degli elettroni in un conduttore metallico sotto l'effetto della differenza di potenziale imposta da una pila). L'energia di un sistema è dunque la capacità di fornire una di queste specie di lavoro. Ma l'energia prende anche un'altra forma quella del Calore (o energia termica). Le forme che l'energia prende in pratica sono sette (vedi tabella seguente).

Il calore



Calore, energia termica, passaggi di stato.

- Forma di energia legata al moto disordinato di atomi e molecole nei corpi.



La caloria

- La quantità di calore necessaria a scaldare 1 grammo di acqua distillata da 14,5 °C a 15,5°C alla pressione di 1 atmosfera.
- BTU (British Thermal Unit) la quantità di calore necessaria per scaldare 1 libbra (pound) di acqua di 1 °F intorno a 39,2 °F

$$T(^{\circ}F) = T(^{\circ}C) \left[\frac{9}{5} \right] + 32 \quad \text{Fahrenheit}$$

Calorie, BTU, Joule.

- 1 libbra (1 pound) = 453.59 g
- 1 °F = (5/9) °C
- Per riscaldare 1 libbra di acqua distillata di 1 °F (intorno a 39.5 °F) ci vogliono:

$$\frac{453.59 * 5}{9} \text{ cal} = 252 \text{ cal}$$

- Che corrispondono a:

$$252 \text{ cal} * 4.186 \text{ J cal}^{-1} = 1055 \text{ J}$$

Il calore è stato considerato per molto tempo un fluido imponderabile che fluiva fra i corpi a temperature diverse. Quello che sappiamo è come questa grandezza si presenta e si trasmette. Il calore passa **spontaneamente** da un corpo caldo ad un più freddo, cioè da un corpo ad alta temperatura ad uno a temperatura più bassa. Abbiamo già visto che temperatura di un corpo è una misura del grado di agitazione delle particelle, molecole o atomi, che lo compongono. Più alta è la temperatura, più queste particelle si muovono velocemente al suo interno. La temperatura misura l'energia termica o il calore di questo corpo (si dovrebbe dire con termine piuttosto brutto: il grado di *caldezza* del corpo). Il calore è uno dei modi in cui l'energia fluisce nel mondo fisico, l'altro che abbiamo visto è il lavoro, di fatto i diversi tipi di lavoro: meccanico, chimico, elettrico ecc. Calore e lavoro sono grandezze diverse e affini. Di fatto esse possono trasformarsi una nell'altra. Questa osservazione è una generalizzazione del principio di conservazione dell'energia meccanica che abbiamo menzionato. La prima osservazione di questo fatto risale agli studi di Julius Robert von Meyer, un medico tedesco che nel XIX secolo sulla base di osservazioni empiriche stabilì l'enunciato della legge di conservazione dell'energia: *una certa quantità di energia meccanica non può scomparire senza che si generi un'equivalente energia termica.*

Curiosamente il medico tedesco Meyer che esercitò sia in madre patria che in paesi tropicali intuì la fisica del fenomeno attraverso l'osservazione della diversa temperatura del mare agitato rispetto a quello calmo (il moto ondoso riscalda l'acqua) e dal diverso colore del sangue venoso che è più rosso nelle zone tropicali che in quelle più settentrionali. Quest'ultima osservazione registra il fatto che a temperature più alte il corpo ha minore bisogno di ossigeno per il metabolismo legato alla termoregolazione e quindi il sangue venoso contiene più ossigeno di quello delle persone che vivono a temperature più basse.

Conservazione dell'energia

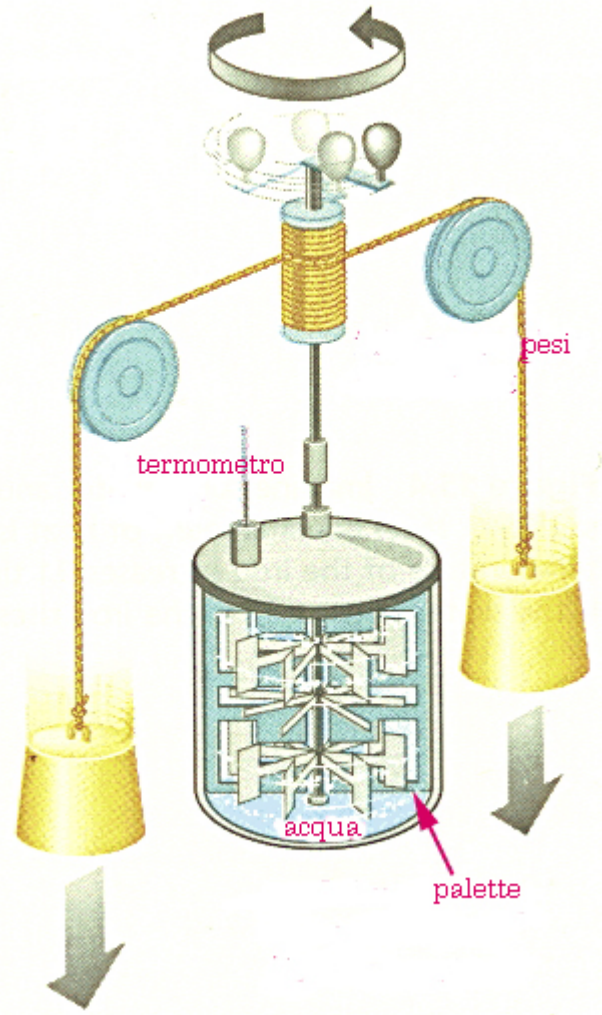


Energia (di un sistema) = calore - lavoro

James Prescott Joule provò sperimentalmente l'equivalenza di lavoro e calore. Calore e lavoro si trasformano l'uno nell'altro con un certo tasso di cambio che può essere stabilito sperimentalmente. Come? In diversi modi. Il più famoso è il "mulinello di Joule" illustrato nella figura che segue. I pesi che scendono sotto l'effetto della forza di gravità (forza x spostamento = lavoro) generano il moto delle pale di un mulinello immerso in un contenitore di acqua termicamente isolato dall'ambiente (nel modo migliore possibile. Un isolamento totale è infatti impossibile come capirà chiunque si occupi di efficienza termica degli edifici o chiunque si porti il caffè caldo in un thermos). Il lavoro compiuto può essere calcolato con esattezza conoscendo il peso delle masse utilizzate e la quota di spostamento delle stesse. Misurando la variazione di temperatura dell'acqua si riesce a stabilire l'equivalenza fra lavoro e calore. Quello che si osserva è che l'energia perduta dai due pesi che scendono mettendo in moto le palette del mulinello ricompare come calore all'interno del contenitore di acqua. E l'equivalenza è tale che per ogni caloria creata abbiamo compiuto un lavoro meccanico pari a 4,187 Joule (simbolo J). Dunque calore e lavoro sono le due valute con cui si scambia l'energia con questo tasso di cambio (fisso).

$$1 \text{ cal} = 4,187 \text{ J}$$

Equivalenza di calore e lavoro



Mulinello di Joule

1 cal = 4,187 Joule

Energia (di un sistema) = calore - lavoro

Forma di energia	
Termica	Il calore.
Chimica	Quella contenuta nei combustibili o negli alimenti. Contenuta nei legami chimici delle sostanze che compongono combustibili e alimenti.
Elettrica	Quella che alimenta gli elettrodomestici, i computer ecc. Determinata dal moto di cariche elettriche nei conduttori.
Elettromagnetica	L'energia luminosa del sole, onde radio, micro-onde, infrarosso, luce visibile, raggi X e raggi gamma.
Cinetica	L'energia che possiede un corpo in moto. $\frac{1}{2} mv^2$
Gravitazionale	L'energia posseduta da una massa ad una certa altezza. Mgh (h = quota)
Nucleare	L'energia che si sviluppa per fissione e fusione. $E = mc^2$

Delle sette forme il calore è l'unica forma che non può essere considerata una forma di lavoro. Il calore è qualcosa di diverso che necessita una definizione a parte. E, come consueto con le grandezze fisiche, la definizione è operativa, cioè fondata sul metodo di misura.

L'unità di misura tradizionale del calore è la caloria definita come la quantità di calore necessaria per scaldare 1 grammo di acqua pura (cioè priva di sostanze disciolte al suo interno) da 14.5 a 15.5 gradi centigradi alla pressione di 1 Atmosfera. L'indicazione della pressione è necessaria perché a pressioni diverse il processo implica quantità di calore diverse.

Il calore così definito è una misura del moto interno delle molecole che costituiscono un corpo. Maggiore la quantità di calore contenuta in un corpo, maggiore è l'energia delle molecole che lo compongono (cioè la loro energia cinetica $\frac{1}{2} m v^2$ dove m è la massa della particella e v la sua velocità), e maggiore la temperatura del corpo stesso. (Teoria Cinetica).

All'aumentare della temperatura le sostanze pure passano dallo stato solido (nel quale i moti delle molecole e degli atomi sono limitati a delle oscillazioni intorno a posizioni fisse: Stato Cristallino) allo stato liquido (temperatura di fusione. Nel quale i moti sono liberi ma sussistono interazioni forti fra le molecole o gli atomi che lo costituiscono) infine la sostanza oltre la temperatura di ebollizione passa allo stato gassoso nel quale le molecole sono totalmente libere nei movimenti. (Passaggi di Stato)

Ma il concetto può essere ulteriormente generalizzato. Tutte (o quasi) le forme di energia rappresentate nella Tabella di pag. 30 possono essere convertite una nell'altra, il terminale delle conversioni cioè l'ultima conversione possibile è energia termica, e questa osservazione anticipa uno degli aspetti del secondo principio della termodinamica che esamineremo in seguito. Nella tabella che segue si fa il sommario delle possibili trasformazioni fra le diverse forme di energia.

Da quanto detto è chiaro che si dovrebbe parlare di **CONVERSIONE piuttosto che di **CONSUMO** di energia perché l'energia non si consuma, ma si TRASFORMA da una forma ad un'altra forma. I processi naturali e gli impianti artificiali di produzione di energia sono in realtà **sistemi di conversione**.**

La morte dell'energia è calore a bassa temperatura. E quest'osservazione è la base del secondo principio della Termodinamica.

da	Termica	Chimica	Elettrica	Elettromagnetica	Cinetica	Gravitazionale	Nucleare
Termica		Reazioni Endotermiche	Processi Termoionici	Lampadine a incandescenza	Motore a scoppio		
Chimica	Combustione		Batterie	Bioelettricità (luciole)	Muscoli		
Elettrica	Stufe a resistenza	Elettrolisi		Elettroluminescenza	Motore elettrico	Stazioni di pompaggio	
Elettromagnetica	Solare termico	Fotosintesi	Fotovoltaico		Vele solari		
Cinetica	Attrito	Reazioni Radiolitiche	Alternatori elettrici	Cariche accelerate			
Gravitazionale			Idroelettrico				
Nucleare	Fissione e fusione		Batterie nucleari	Ordigni nucleari	Radioattività		