



Zeno Martini (admin)

LE FORME DELL'ENERGIA

2 May 2012

Cos'è l'energia

L'energia è forse il più importante concetto della fisica. E', in un certo senso, ciò che permette il possibile ed impedisce l'impossibile. In un [thread](#) del forum ci si chiede cosa sia, quale ne sia cioè la natura intima: una sostanza o un concetto astratto? A tutti, istintivamente, sembra di saperlo, ma riflettendo ci si accorge che non è per niente facile rispondere. Ma non è facile nemmeno dire che cosa sia una forza, o cosa sia la materia.

Nella pratica siamo costretti a considerarne un apparire multiforme e sfuggente, come quello del [mitologico Proteo](#).

Una delle prime definizioni in fisica, appare nel 1807 coniata da [Thomas Young](#); il suo uso in termodinamica fu proposto da Lord Kelvin nel 1852.

Etimologicamente deriva dal greco: ($\epsilon\nu$) **en**, (dentro); ($\epsilon\rho\gamma\omicron\nu$) **ergon** (lavoro), letteralmente dunque, **dentro al lavoro**, attività.

In fisica indica perciò la **capacità di un sistema di compiere lavoro**.

Tutte le forme di energia sono fondamentalmente riconducibili alle categorie **cinetica** e **potenziale**.

Quando c'è lavoro c'è variazione di energia: l'energia è in tal caso "al lavoro" se così si può dire; sta svolgendo un'attività e poiché c'è movimento, sta manifestando una forma che chiamiamo cinetica.

Se non c'è lavoro perché, ad esempio, non esiste spostamento, l'energia può lo stesso esserci: in tal caso parleremo di energia potenziale.

L'unità di misura

Nel sistema internazionale l'unità di misura dell'energia è il **joule**, simbolo J, prodotto di un **newton**, N, per un **metro**, m:

$$J = N m$$

Termodinamica

E' la scienza che studia l'energia. Letteralmente significa potenza ($\delta\nu\nu\alpha\mu\iota\varsigma$) (dynamis) del calore ($\theta\epsilon\rho\mu\eta$) (therme) ed è storicamente legata alla conversione del calore in lavoro meccanico.

Un **sistema** termodinamico è la quantità di materia o la regione di spazio che si sottopone allo studio.

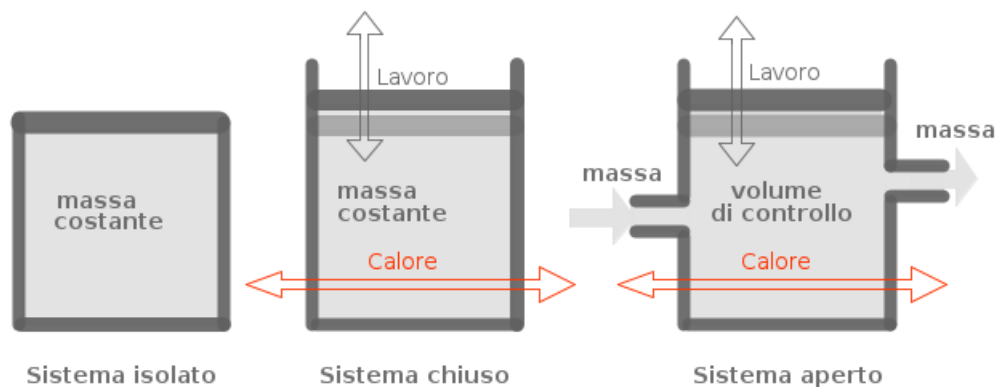
La superficie che la delimita, reale o immaginaria, è il contorno e tutto l'esterno è l'ambiente.



Un sistema è **aperto** se il contorno, od una parte di esso, permette lo scambio di materia con l'ambiente. Il contorno in tal caso delimita il volume di controllo.

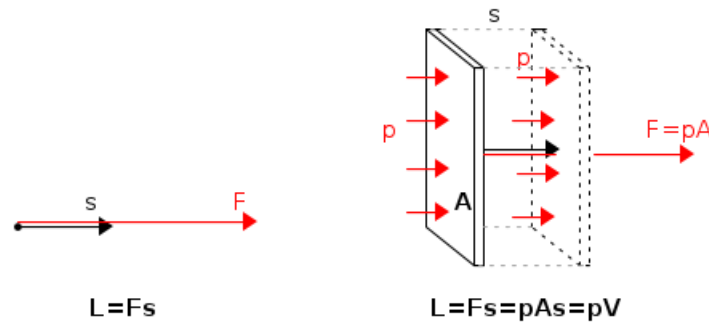
Un sistema è **chiuso** se il suo contorno non permette il passaggio di materia mentre lo scambio di energia con l'ambiente può avvenire attraverso il contorno.

Se invece nemmeno lo scambio di energia può avvenire, il sistema si dice **isolato**.



- Il **calore** è l'energia che si scambia sotto l'azione di una differenza di temperatura.
- Il **lavoro** è l'energia scambiata per effetto di una combinazione di forza e spostamento. E' il prodotto scalare tra il vettore che rappresenta la forza ed

il vettore che rappresenta lo spostamento, cioè il prodotto della componente della forza nella direzione dello spostamento, o viceversa. Richiede perciò la contemporanea presenza di forza e spostamento. Se è una superficie A che si sposta di S sotto l'azione di una pressione p , il lavoro è dato da pressione per volume



Qualche cenno storico

Al riconoscimento del calore come forma di energia si è giunti nei primi decenni del diciannovesimo secolo.

La consapevolezza che l'energia si trasforma da una forma ad un'altra, che non può essere creata né distrutta, che il lavoro è energia, ha portato allo sviluppo della termodinamica i cui inizi, convenzionalmente, si fanno risalire alla pubblicazione di *Reflexions sur la puissance motrice du feu* di [Sadi Carnot](#). Carnot per primo capì che calore e lavoro sono intercambiabili. L'immatura scomparsa a trentasei anni nel 1832, non gli permise di sviluppare le sue idee, che però influenzarono l'opera dei fisici della generazione successiva, in particolare, [Rudolf Clausius](#) e [William Thomson \(Lord Kelvin\)](#), per merito di una memoria in cui nel 1834 di [Emile Clapeyron](#) discuteva la sua opera.

Fu [James Joule](#) il primo a chiarire il concetto di energia e la relazione tra lavoro e calore, con l'esperimento che ne mostrava l'equivalenza, misurando l'aumento della temperatura dell'acqua in un recipiente agitata da una ruota a palette. Joule fu allievo di [John Dalton](#) e le sue prime ricerche, illustrate in due articoli del 1841, riguardano la relazione tra calore e corrente elettrica. In una conferenza tenuta a Manchester nel 1847 enunciò il principio di conservazione dell'energia. Le sue idee furono comprese a fondo da William Thomson ed i due collaborarono anche scientificamente (effetto Joule-Thomson).

Thomson, il futuro Lord Kelvin, si interessò di varie discipline ed occupa un posto importante anche nella tecnologia applicata (a lui si deve gran parte del merito della posa del primo cavo telegrafico transatlantico). A lui si attribuisce la fondazione della termodinamica come disciplina scientifica, unitamente a Clausius. In un certo senso portò a compimento l'opera di Carnot e nel 1848 introdusse la scala della temperatura assoluta che si basa sull'idea dell'equivalenza tra lavoro e calore, che

costituisce in pratica il fondamento del primo principio della termodinamica.

Il secondo principio della termodinamica è il punto d'arrivo del lavoro di molti scienziati, tra cui Lord Kelvin e Rudolf Clausius che definì l'entropia, la grandezza che stabilisce quali siano i fenomeni fisici possibili individuando quella che si può chiamare la freccia del tempo, cioè il modo in cui l'universo evolve.

Inutile ricordare qui come questo secondo principio infastidisca parecchi inventori che ricercano il modo di creare energia dal nulla e che, nel mondo della rete, sembrano proliferare; ma tant'è, finora le cose vanno come dice il secondo principio. [Hermann von Helmholtz](#) era arrivato a conclusioni analoghe, ma anche fisici meno noti ed un po' più sfortunati, come il medico tedesco [Julius Robert von Mayer](#) e l'ingegnere civile [John Waterston](#).

Una definizione matematica

Se caratterizziamo lo stato di un sistema isolato in un istante della sua evoluzione, con un insieme di grandezze osservabili, quindi misurabili, che indichiamo genericamente con $x_i(t)$, dette variabili di stato, l'energia E del sistema è tale che il suo valore non cambia nel tempo. Si può cioè scrivere

$$E = f[x_i(t)] = \text{costante}$$

detta equazione di stato.

Le variabili di stato sono proprietà del sistema quali, ad esempio, la posizione, la pressione, il volume, la temperatura, la massa. Alcune proprietà come massa e volume, sono **estensive**, dipendono cioè dalle dimensioni del sistema. Altre, come temperatura e pressione, sono **intensive**, cioè non dipendono dalle dimensioni. Se si immagina di dividere il sistema, le proprietà che nelle due parti rimangono identiche sono intensive; quelle che si modificano estensive. Proprietà specifiche sono le proprietà estensive riferite all'unità di massa.

Esiste dunque una proprietà del sistema che non muta nel tempo, qualunque sia la sua evoluzione. Questa proprietà assomiglia molto al concetto di simmetria ed il teorema di Noether, brevemente illustrato in [questo articolo](#), mette in relazione energia e simmetria.

Energia totale: E

E' la somma di tutte le energie che un sistema possiede.

E'una proprietà estensiva. Dunque

$$E = \sum_i E_i$$

Il suo valore assoluto in genere non interessa. Ciò che conta sono le sue variazioni. Per comodità lo si pone uguale a zero in corrispondenza ad uno stato di riferimento arbitrario. Le variazioni di energia totale sono indipendenti dal livello di riferimento scelto.

Cinetica e potenziale

Le categorie di cui si è detto nel precedente paragrafo possono essere allora ricavate per via formale.

Consideriamo per semplicità un punto materiale di massa m come sistema.

La sua posizione nello spazio-ambiente sia definibile da un'ascissa dipendente dal tempo: $x(t)$.

L'ambiente sia un campo caratterizzato da una forza, anch'essa dipendente dall'ascissa $x(t)$, e supponiamo che la forza sia esprimibile come derivata, cambiata di segno, di una funzione scalare $U(x)$.

Scriviamo la seconda legge della dinamica:

$$F = ma \rightarrow -\frac{dU(x)}{dx} = m \frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

Moltiplicando entrambi i membri per la velocità $v = \frac{dx}{dt}$, si ottiene

$$\begin{aligned} m \frac{d^2x(t)}{dt^2} \cdot \frac{dx}{dt} &= -\frac{dx}{dt} \cdot \frac{dU(x)}{dx} \\ m \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \right] &= -\frac{dU(x)}{dt} \\ \frac{d}{dt} \left[\frac{m}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + U(x) \right] &= 0 \end{aligned}$$

L'espressione

$$E = \frac{m}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + U(x) = \text{costante}$$

la funzione che rimane costante nel tempo ed è

l'energia meccanica che ha due componenti

- **l'energia cinetica**

$$E_C = \frac{m}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2$$

dipendente dal quadrato della velocità, rappresenta la capacità che ha il sistema di compiere un lavoro in base al suo stato di moto

- **l'energia potenziale**

$$E_P = U(x)$$

dipendente dalla posizione, rappresenta la capacità di compiere lavoro ad essa associata.

Sono le due componenti dell'energia meccanica.

Le forme dell'energia

L'energia può dunque esistere in numerose forme, pur se tutte riconducibili alle due categorie definite: potenziale e cinetica.

Le energie che nel loro insieme costituiscono l'energia totale del sistema, sono in esso immagazzinate e possono essere considerate **forme statiche** di energia.

Le energie che attraversano il contorno, quindi **calore** e **lavoro**, sono **forme dinamiche**, e possono accrescere o diminuire l'energia totale.

Le forme dell'energia possono essere ulteriormente divise tra macroscopiche e microscopiche.

Forme macroscopiche

Sono energie dipendenti da un sistema esterno di riferimento; derivano quindi dal suo stato rispetto all'ambiente.

energia meccanica

E' la somma di energia cinetica, dipendente dalla velocità del sistema rispetto al riferimento, e di energia potenziale conseguente alla posizione, come ricavate nel precedente paragrafo.

Se M è la massa di un corpo il cui baricentro trasla con velocità v , l'energia cinetica di traslazione del corpo è

$$E_{ct} = \frac{1}{2} M v^2$$

Nel caso in cui il corpo ruoti, se ω è la velocità angolare e J il [momento di inerzia](#) rispetto all'asse di rotazione, l'energia cinetica è

$$E_{cr} = \frac{1}{2} J \omega^2$$

Se il corpo è in un campo gravitazionale caratterizzato dall'accelerazione g ed il suo baricentro è ad un'altezza h rispetto al riferimento in cui si pone nullo il valore dell'energia, possiede un'energia potenziale pari a

$$E_p = Mgh$$

Osservazione. Affinché un corpo possieda energia meccanica, occorre che su di esso sia stato fatto, da qualcos'altro, il lavoro che gliel'ha conferita. Se il corpo a sua volta farà lavoro, perderà progressivamente l'energia e, per ripristinarla, occorrerà fare nuovo lavoro sul corpo.

energia elettrostatica

Deriva dall'energia posseduta da una carica elettrica corrispondente ad una posizione all'interno di un campo elettrico.

Ricordiamo che la carica di cui si tratta è la carica macroscopica, costituita da un insieme di moltissime cariche microscopiche che occupano un volume enorme rispetto alla dimensioni atomiche, ma piccolissimo rispetto al volume del corpo o dello spazio oggetto di studio. Di conseguenza il campo elettrico considerato è la media dei campi propri delle cariche elementari racchiuse nel piccolo volume. Il campo elettrico è generato da una distribuzione disuniforme delle cariche elettriche. Può essere espresso come l'opposto del gradiente di una funzione scalare detta potenziale elettrico, indicata con ϕ . Il gradiente è un vettore che ha come modulo la derivata della funzione calcolata secondo direzione e verso del vettore.

L'energia che si attribuisce ad un insieme di cariche, corrisponde al lavoro fatto per costruire l'insieme stesso, immaginando di partire da una configurazione iniziale in cui l'energia di ogni carica è uguale a zero in una posizione infinitamente distante da quella finale. Se q_i è il valore di una carica generica dell'insieme di N cariche e se ϕ_i è il valore della funzione potenziale del punto in cui essa si trova, l'insieme possiede l'energia potenziale

$$E_e = \frac{1}{2} \sum_i^N q_i \phi_i$$

Le cariche q_i possono essere sia puntiformi che localizzate su corpi conduttori. In questo secondo caso la carica è distribuita sulla superficie equipotenziale del conduttore.

Se si considera un condensatore di capacità C con una carica Q sulle armature, positiva su una negativa sull'altra, l'energia elettrostatica immagazzinata nel condensatore è data da

$$E_e = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2$$

dove $V = \frac{Q}{C}$ è la tensione tra le armature. L'energia elettrostatica può essere considerata immagazzinata nel campo. Se ϵ è la costante dielettrica del mezzo, si può definire l'energia elettrostatica specifica, cioè per unità di volume o densità di energia, come

$$w_e = \frac{1}{2} \epsilon E^2$$

Il valore di E dipende dal punto ed integrando l'espressione su tutto il volume del campo si ricava l'energia elettrostatica totale.

E' bene qui osservare che il campo E è un campo macroscopico, cioè la media

dei campi microscopici propri delle cariche elementari che formano la carica macroscopica. Se si eseguisse l'integrale su tutto il volume dei campi microscopici si otterrebbe per l'energia un valore diverso. Ad esempio in un conduttore il campo elettrico macroscopico è nullo, quindi anche l'energia elettrostatica. Non è nullo invece l'integrale dei campi microscopici: la differenza sarà l'energia interna del conduttore.

energia magnetica

Quando le cariche elettriche acquistano velocità rispetto all'ambiente di riferimento, come capita se sono libere di muoversi sotto l'azione di un campo elettrico, danno luogo ad una corrente elettrica. Alla corrente elettrica è associata l'energia magnetica, detta anche energia intrinseca della corrente, che corrisponde al lavoro fatto dal generatore elettrico per instaurare la corrente I nel circuito considerato. Se L indica l'induttanza del circuito, l'energia magnetica è data da

$$E_m = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}L\Phi = \frac{1}{2}\frac{\Phi^2}{L}$$

essendo $\Phi = LI$ il flusso magnetico concatenato con il circuito.

Anche l'energia magnetica può considerarsi immagazzinata nel campo magnetico che le correnti producono. Se B è l'induzione magnetica e μ la permeabilità del mezzo, l'energia magnetica specifica è data da

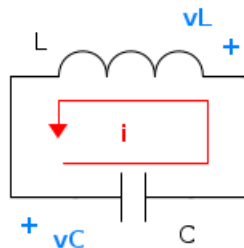
$$w_m = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu}$$

L'integrazione di tale funzione su tutto il volume fornisce la totale energia magnetica.

Osservazione - 1

Le due energie ora esaminate potremmo dedurle anche formalmente, come cinetica e potenziale, ricercando la funzione dipendente dalle grandezze descrittive di un circuito elettrico che si mantiene costante nel tempo.

Consideriamo il seguente circuito



Le grandezze descrittive sono la corrente e la tensione. Per il secondo principio di Kirchhoff abbiamo

$$v_L + v_C = 0$$

Moltiplicando per la corrente e tenendo presenti le definizioni di induttanza e capacità, otteniamo

$$(v_L + v_C) i = 0$$

$$L i \frac{di}{dt} + C \frac{dv_C}{dt} v_C = 0$$

Quest'ultima espressione implica che sia

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i^2 + \frac{1}{2} C v_C^2 \right) = 0$$

quindi

$$\frac{1}{2} L i^2 + \frac{1}{2} C v_C^2 = \text{costante}$$

Il primo termine è l'energia magnetica dell'induttore, il secondo l'energia elettrostatica del condensatore.

Osservazione - 2

Anche l'energia elettrica e magnetica derivano da un lavoro fatto sulle cariche elettriche. Ricavare lavoro da tali energie, le fa diminuire, ed il loro ripristino avviene solo con nuovo lavoro sulle cariche.

Osservazione - 3

L'energia elettrica è l'insieme di energia elettrostatica ed energia magnetica, ed è un'energia potenziale. Delle due la magnetica si può considerare la più ambigua, poiché è un'energia potenziale che dipende dal movimento delle cariche e, rispetto a tale movimento, si comporta come l'energia cinetica meccanica, pur non essendo l'energia cinetica effettiva delle cariche.

energia del campo elettromagnetico

Lo spazio in cui esistono campo elettrico E e campo magnetico di induzione B può essere immaginato come un contenitore di energia elettromagnetica. Essa è una funzione del punto dello spazio e se ϵ è la costante dielettrica del mezzo e μ la sua permeabilità magnetica, l'energia specifica, cioè per unità di volume, vale

$$e = \frac{1}{2} \epsilon E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu}$$

L'energia elettromagnetica di tutto lo spazio considerato si calcola facendo l'integrale della funzione esteso a tutto il volume occupato dal mezzo.

energia elastica di deformazione

Se un corpo viene deformato da forze al cessare delle quali ritorna nello stato originario, per il quale si assume nulla la deformazione, quindi nulla l'energia ad essa associata (posizione di riposo), nello stato deformato possiede energia di deformazione elastica. Corrisponde al lavoro fatto dalle forze per portarlo in quello stato. E' un'energia potenziale. Se, per semplicità, consideriamo un'asta deformabile assialmente con una forza proporzionale alla variazione di lunghezza, $F = kx$, l'energia elastica per una variazione x è data da

$$E_d = \frac{1}{2}Fx = \frac{1}{2}kx^2$$

Come al solito, il lavoro che si può ricavare da un corpo elastico deformato, esempio una molla, deriva dall'energia che deve essere stata conferita in precedenza.

Le energie macroscopiche dunque non esistono di per sé, ma occorre generarle con lavoro per utilizzarle.

Forme microscopiche

Sono indipendenti dal sistema esterno di riferimento e legate alla struttura ed all'attività molecolare della materia del sistema.

La somma di tutte le forme microscopiche è detta

Energia interna

In termodinamica si usa il simbolo U per indicarla.

L'energia interna è in pratica la somma delle energie cinetiche e potenziali delle singole molecole.

L'energia cinetica delle singole molecole è dovuta ai loro moti di traslazione, di rotazione, di vibrazione e la somma di tutte le energie cinetiche delle molecole è detta **energia interna sensibile**.

Essa dipende dunque dalla velocità media delle molecole e dal loro grado di attività, entrambe dipendenti dalla temperatura. L'energia interna sensibile è dunque determinata dalla temperatura. E' bene riferirsi ad essa con il termine di **energia termica** riservando il calore per la forma dinamica dell'energia.

Le forze che legano le molecole tra loro, sono intense nei solidi e deboli nei gas. Tali forze possono essere superate, nei solidi, conferendo ad essi, quindi alle loro molecole, sufficiente energia. L'aumento di temperatura, ad esempio, provoca la

rottura di tali legami ed il sistema passa progressivamente dalla fase solida a quella liquida ed a quella gassosa. Quest'ultima corrisponde dunque ad un livello più elevato di energia interna. L'energia interna legata alla fase del sistema è detta **energia latente**.

L'energia associata ai legami tra gli atomi che formano la molecola è l'**energia chimica** o energia di legame.

Essa varia durante le reazioni chimiche, come la [combustione](#), che trasforma i legami atomici, distruggendone alcuni e formandone altri.

Le trasformazioni termodinamiche, cioè i processi che implicano scambio di calore e lavoro tra un sistema e l'ambiente, avvengono, in genere, senza coinvolgere l'energia chimica.

Ai legami delle particelle che costituiscono il nucleo dell'atomo, protoni e neutroni, è invece associata l'**energia nucleare** che si libera durante le reazioni nucleari di fissione (rottura di nuclei pesanti: esempio uranio) o fusione (unione di nuclei leggeri, esempio idrogeno).

Le forme microscopiche sono dunque energie che il corpo possiede per il semplice fatto di esistere.

Il primo principio della termodinamica

Il teorema di Noether è alla base del primo principio della termodinamica che, implicitamente, afferma la conservazione dell'energia, ma non ne è una dimostrazione matematica. E' un principio che si basa su osservazioni sperimentali la cui validità deriva dal fatto che non si è mai osservato in natura un processo che l'abbia violato.

Per un sistema chiuso che, in un certo intervallo di tempo, passa da uno stato di equilibrio iniziale ad un altro finale, con scambio netto di calore

$$Q = \sum Q_e - \sum Q_u$$

e lavoro

$$L = \sum L_u - \sum L_e$$

con l'ambiente, (e: entrante; u: uscente) vale la relazione

$$Q - L = \Delta E$$

dove

$$\Delta E = E_f - E_i$$

rappresenta la variazione di **energia totale** del sistema.

Se si considera l'insieme ambiente più sistema, quindi un **sistema isolato**, la variazione di energia totale è nulla: è questo il principio di conservazione dell'energia.

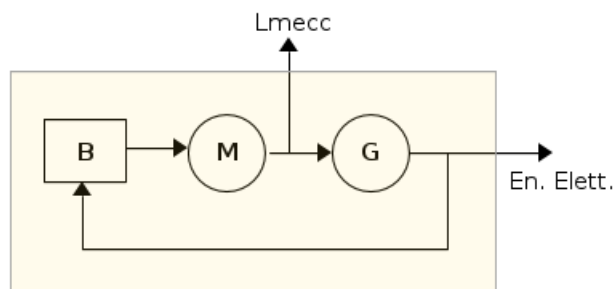
Il lavoro che un sistema fa è uguale all'energia entrante sotto forma di calore e lavoro, diminuita dell'incremento di energia totale. Se non entra energia, il lavoro si può ottenere solo dal decremento dell'energia totale.

Osservazione - 1 - In termodinamica, l'energia totale di un sistema è la somma dell'energia interna e dell'energia meccanica. Un sistema si dice stazionario quando la sua energia meccanica non varia, per cui l'energia totale coincide con l'energia interna.

Osservazione - 2: lo stato di un sistema è descritto dal valore delle grandezze di stato, quali temperatura, volume, pressione, ed energia totale. Se il sistema dopo una serie di trasformazioni ritorna allo stato di partenza, la variazione di energia totale è nulla. Il primo principio diventa allora $Q - L = 0$: il lavoro ed il calore netti scambiati sono uguali.

Moto perpetuo di prima specie

I principi della termodinamica negano la possibilità di ottenere moti perpetui, cioè sistemi che producono lavoro all'infinito. Un dispositivo in contrasto con il primo principio della termodinamica, quindi che produce energia senza riceverne, rappresenta un moto perpetuo di prima specie. Ogni tanto, ad esempio, qualcuno ha un'idea del genere (e la posta nel forum)



Una batteria alimenta un motore che aziona un generatore che carica la batteria credendo di poter ricavare lavoro meccanico o energia elettrica, o entrambe, all'infinito. Non può funzionare ovviamente: l'energia uscente può venire solo dalla variazione di energia interna che è quella iniziale della batteria, esaurita la quale tutto si ferma.

La qualità dell'energia

Il primo principio della termodinamica afferma che non si può creare l'energia, ma solo trasformarla.

Quando si parla di consumo di energia non si intende che essa scompaia, ma che si trasforma da una forma pregiata ad una meno pregiata; quando si parla di produzione si intende l'opposto.

E' più pregiata l'energia che è più facilmente utilizzabile.

L'energia termica è ad esempio tanto più pregiata quanto maggiore è la temperatura; l'energia meccanica è più pregiata dell'energia termica; l'energia elettrica è più pregiata di entrambe.

Il secondo principio della termodinamica

Ogni fenomeno fisico reale soddisfa al primo principio, ma non ogni fenomeno fisico teoricamente possibile, quindi in accordo con la conservazione dell'energia, avviene effettivamente. Un corpo caldo in un ambiente più freddo si raffredda e non avviene il contrario; un'elica che ruota in un serbatoio, riscalda l'acqua contenuta, ma scaldando l'acqua non si può far ruotare l'elica. Una resistenza percorsa da corrente, riscalda l'acqua del serbatoio in cui è immersa, ma riscaldare l'acqua del serbatoio, non fa circolare corrente nella resistenza.

Un motore termico che opera secondo un ciclo termodinamico, utilizza un fluido, detto fluido evolvente, che riceve calore Q_e da una sorgente, trasforma solo una parte di questo calore (Q_u) in lavoro (L_u), cede il resto ($Q_a = Q_e - Q_u$) all'ambiente e viene di nuovo riscaldato concludendo il ciclo. Non è possibile evitare la cessione di una parte del calore.

Il secondo principio esprime proprio questo fatto e, nella formulazione di **Kelvin-Planck** dice che:

qualsiasi apparecchiatura che opera secondo un ciclo non può produrre lavoro ricevendo solo calore da una sorgente senza cederne parte. Ciò significa che nessun motore termico può avere rendimento unitario:

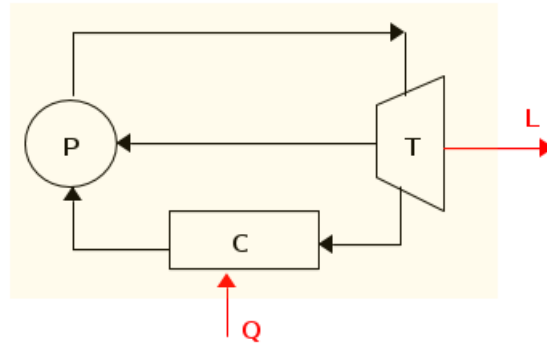
$$\eta = \frac{L_u}{Q_e} < 1$$

Una formulazione diversa, ma equivalente nelle conseguenze, è quella di **Clausius**:

nessuna macchina ciclica può avere come unico effetto quello di trasferire calore da un corpo ad un altro a temperatura più alta.

Moto perpetuo di seconda specie

Un dispositivo che contrasta con il secondo principio, rappresenta una macchina a moto perpetuo di seconda specie e non può funzionare. Un dispositivo di questo genere



in cui una pompa invia il fluido evolvente riscaldato in una caldaia dentro una turbina che produce lavoro e nessun calore viene ceduto all'ambiente, va contro il secondo principio. Tutto il calore sarebbe convertito in lavoro e la macchina avrebbe rendimento unitario e la cosa è impossibile.

Fonti dell'energia

Fonte energetica è ciò che può essere trasformato in energia utilizzabile. Quindi le sostanze in grado di liberare l'energia interna che contengono, in genere sotto forma di calore, mediante processi chimici come la combustione o nucleari come la fissione e la fusione oppure fenomeni fisici come la luce solare od il vento. Nei riferimenti sono riportati due articoli di [asdf](#) che tracciano una panoramica delle principali fonti energetiche.

Le fonti primarie dell'energia sulla terra sono il sole, direttamente od indirettamente, e la terra stessa con il suo campo gravitazionale.

Massa ed energia

L'[equazione di Einstein](#)

$$E = mc^2$$

stabilendo il legame tra la massa m e l'energia E , tramite il quadrato della velocità della luce nel vuoto c , definisce la forma più sorprendente dell'energia. Quando la massa m scompare si ha la liberazione dell'energia E .

La massa è quella a riposo nel sistema di riferimento considerato.

La legge è verificata nei fenomeni nucleari di fissione e fusione.

Negli altri fenomeni, la variazione di massa corrispondente alle energie in gioco, per quanto siano elevate, è così piccola da non essere rilevabile dagli strumenti comuni di misura. Per tale motivo, in fisica, si considera il principio di conservazione della massa in maniera indipendente dal principio di conservazione dell'energia.

La massa è dunque un concentrato di energia. Per averne l'ordine di grandezza basta un semplice calcolo. Considerando per semplicità $c = 3 \times 10^8$ m/s, ad 1 kg di materia corrisponde un'energia pari a $E = 9 \times 10^{16}$ J. Una potenza di 40 GW che grossomodo è la potenza media elettrica attualmente necessaria ad un paese come l'Italia, produce, in un'ora, $40 \times 3600 = 144000 \times 10^9 = 1,44 \times 10^{14}$ J, il che significa che 1 kg di materia farebbe funzionare l'Italia per $\frac{9 \times 10^{16}}{1,44 \times 10^{14}} = 625$ ore cioè quasi un mese.

Se teniamo presente che tutte le fonti energetiche che individuiamo derivano dall'energia solare, e se consideriamo che l'energia solare proviene dalla reazione nucleare di fusione, che trasforma l'idrogeno in Elio con scomparsa di una parte della massa (lo 0,75%), dobbiamo concludere che l'unica fonte di energia è la massa.

Poiché sono 6×10^{11} i chilogrammi di idrogeno coinvolti nella fusione ogni secondo, la massa che scompare è di $4,5 \times 10^9$ kg. Equivale ad una potenza di $4,5 \times 10^9 \times 9 \times 10^{16} = 4,05 \times 10^{26}$ W.

La potenza media prodotta da tutte le centrali elettriche del nostro pianeta possiamo stimarla in 2×10^{12} W.

Quindi per produrre la stessa energia che il sole produce in un secondo, per le nostre centrali elettriche di secondi ne occorrono 2×10^{14} , che corrispondono ad oltre sei milioni di anni!

Beh, dopo questi numeri da capogiro ci fermiamo con una

Conclusione

per modo di dire, naturalmente.

L'equazione di Einstein implica un'unica legge di conservazione.

E' forse la trasformazione con cui l'energia getta la maschera?

Essa ci pone di fronte ad un dilemma teorico. Qual è il concetto primario: massa o energia?

Non sono certo all'altezza di dare una risposta. A me viene da dire energia, ma mi è già risultato difficile cercare di seguirla in tutte le sue trasformazioni, ed in quest'ultima non mi ci avventuro.

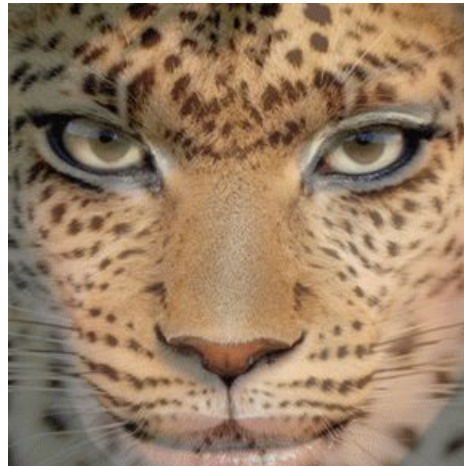
Credo che la risposta sia difficile e non esista ancora. Può anche darsi che non esista, nel senso che si tratta della stessa entità che si manifesta in due forme apparentemente diverse, o che, anche nella fisica come nella matematica, si arrivi inevitabilmente a proposizioni indecidibili, come ha dimostrato [Gödel](#).

Ma qui è meglio intervenga un fisico di valore. Spero che leggendo questo post,

o anche solo questo finale, sia stimolato a scrivere un bell'articolo su quella che è considerata la più famosa equazione della fisica.

Bibliografia - Riferimenti

- **Termodinamica e trasmissione del calore** - Yunus A. Cengel -Ed. McGrawHill Libri Italia, 1998
- **La nuova enciclopedia Garzanti delle Scienze** - Garzanti, 1996
- **L'avventura della scienza moderna** - John Gribbin - Mondolibri/Mondadori, 2005
- **Elettromagnetismo** - Alessandro Bettini - Decibel, Zanichelli, 2000
- [Panoramica su Fonti rinnovabili-asdf](#), Electroyou, 2012
- [Panoramica sulle fonti non rinnovabili-asdf](#), Electroyou, 2012
- [L'equazione di Einstein](#)
- [Funzione di stato](#)



Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Admin:le-forme-dell-energia>"