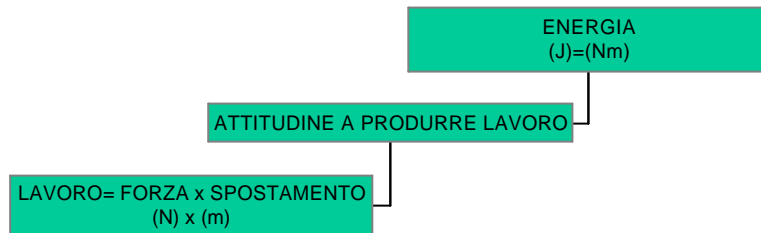


## ENERGIA

Non è facile dare una definizione semplice e precisa della parola energia, perché è un concetto molto astratto che attraversa fenomeni estremamente diversi tra loro (per esempio la caduta d'acqua da un lago di montagna e il funzionamento di una lavatrice).

Intuitivamente possiamo pensare all'energia come a qualcosa che si trasforma continuamente e che può essere utilizzato per compiere lavori utili (sollevare, spostare, riscaldare, raffreddare, ...). Qualcosa che è immagazzinato in ogni sistema (nella benzina, ma anche in una massa d'acqua che si trova in una posizione elevata o in un oggetto che si muove velocemente) e che cambia facilmente forma, conservandosi però globalmente, di modo che si usa dire: <<L'energia non si crea né si distrugge>>.

Per affrontare l'argomento in termini più precisi e rigorosi è corretto esaminare il concetto di lavoro.



Pertanto l'energia non è il lavoro, ma il suo potenziale.

Perché una forza che agisce su un corpo compia un lavoro è necessario che il punto in cui essa è applicata subisca uno spostamento.

Definiamo quindi *lavoro*, quello di una forza costante applicata ad un oggetto che si sposta nella stessa direzione e nello stesso verso della forza. In questa situazione il lavoro  $L$  compiuto dalla forza costante  $\vec{F}$ , mentre l'oggetto si sposta di una lunghezza  $s$ , è uguale al prodotto dell'intensità della forza per il valore dello spostamento:

$$L = Fs .$$

Nel Sistema Internazionale l'unità di misura del lavoro è il **joule** (J). 1 J è il lavoro compiuto da una forza di 1 N quando il suo punto di applicazione si sposta di 1 m (in direzione della forza). Le dimensioni fisiche del lavoro sono:

$$[L] = [Fs] = [ml^2t^{-2}] = [m] \cdot [l^2] \cdot [t^{-2}]$$

La forza è di difficile definizione. Essa è considerata come un'azione che causa lo spostamento dei corpi, può essere attrattiva o repulsiva, ma non necessariamente provocare spostamento (ad esempio la forza peso). La forza può anche rimanere immagazzinata nel corpo.

Infatti Newton definendo la relazione di *causa-effetto* sostiene che ogni effetto è causato da un'azione, ma non sempre un'azione causa un effetto.

Ciò vuol dire che alcuni corpi sopportano un'azione senza manifestarla.

Se ad esempio applichiamo una forza ad una struttura non è detto che questa si deformi, se è stata progettata per sopportare tale forza. Essa subirà una deformazione nel caso in cui raggiunga una crisi strutturale. Lo stesso involucro edilizio crea un ambiente protetto dalle relazioni di causa-effetto: ripara infatti dall'azione esterna di vento, luce e suono.



Sole, vento, acqua sono fonti di energia.

Cerchiamo di analizzare l'energia che possiede l'acqua. Una diga che racchiude acqua accumula energia, le pale di un mulino trasformano l'energia del moto dell'acqua in energia meccanica.

Ciononostante l'acqua possiede comunque energia anche in uno stato di quiete, questa energia è proporzionale alla quota che l'acqua possiede. Questa si chiama *energia potenziale* (potenziale perché apparentemente inesistente).

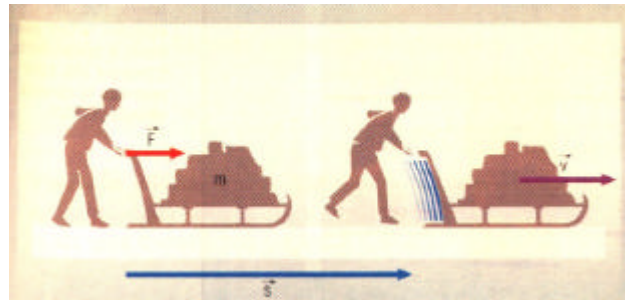
E' utile ora, quindi, fornire le definizioni di energia cinetica e potenziale che ci serviranno poi per capire il principio di conservazione dell'energia.

## Energia cinetica

Immaginiamo di spingere una slitta inizialmente ferma su un lago ghiacciato.

Continuiamo ad applicare una forza costante  $\vec{F}$  mentre essa si muove per un tratto  $\vec{s}$ .

Quando smettiamo di spingerla (all'istante  $t$ , avendo scelto come istante  $t=0$  quello in cui iniziamo a spingere), la slitta ha acquistato una velocità  $\vec{v}$ , che continua poi a mantenere per il principio di inerzia, poiché gli attriti sono trascurabili.



**Figura 1:** Applichiamo una forza  $\vec{F}$  su una slitta che era inizialmente ferma su un lago ghiacciato. Dopo aver percorso una distanza  $\vec{s}$  (lungo la quale abbiamo sempre agito con la forza  $\vec{F}$ ) la slitta ha raggiunto una velocità  $\vec{v}$ .

Sottoposta a una forza costante, la slitta si muove durante lo spostamento  $\vec{s}$  di moto uniformemente accelerato con accelerazione

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m},$$

dove  $m$  è la sua massa inerziale.

All'istante  $t$ , quando cessa la nostra spinta il suo spostamento e la sua velocità sono

$$s = \frac{1}{2}at^2; \quad v = at.$$

Il lavoro che abbiamo compiuto è

$$L = Fs = ma \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}m(at)^2.$$

Sostituendo la velocità  $v$  al posto di  $at$  otteniamo:

$$L = \frac{1}{2}mv^2.$$

Chiamiamo il prodotto

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

**energia cinetica** del corpo.

Si tratta di una grandezza scalare che si misura in joule come il lavoro. La ragione del nome <<energia cinetica>> sta nel fatto che il corpo di massa  $m$ , movendosi a velocità  $v$ , ha la capacità di compiere un lavoro che proprio è uguale a  $\frac{1}{2}mv^2$ . Quindi un corpo di massa  $m$  che si muove ad una velocità  $v$  è in grado, se viene fermato, di compiere un lavoro eguale all'energia cinetica che possiede.

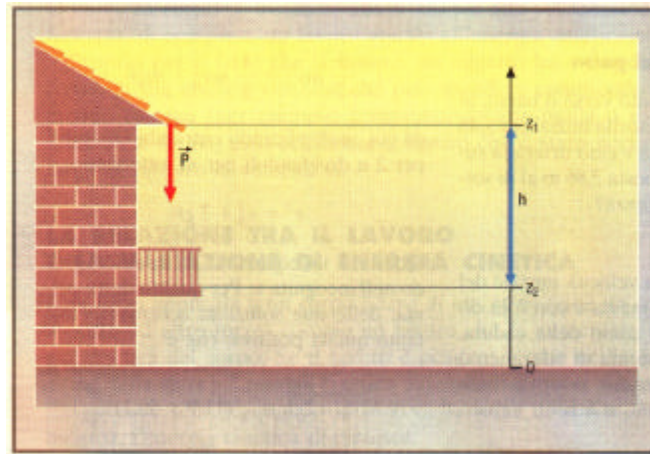
Proprio per il fatto che si muove, un oggetto ha a disposizione un <<qualche cosa>>, la sua energia cinetica, che può spendere compiendo un lavoro utile sul mondo esterno. Quando si ferma esso restituisce il lavoro che è stato necessario compiere per fargli acquistare la velocità  $v$ .

## Energia potenziale

Sappiamo che su tutti i corpi che si trovano in prossimità della superficie terrestre agisce la forza-peso

$$\vec{P} = m\vec{g},$$

dove  $\vec{g}$  è l'accelerazione di gravità pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$ , che è la stessa per tutti i corpi.



**Figura 2:** Una tegola ferma che si trova a un'altezza  $h$  rispetto al pavimento del balcone, ha un'energia che è in grado di spendere se cade. Mentre la tegola cade dal tetto al balcone, la forza di gravità della Terra compie un lavoro positivo, pari al prodotto del peso  $P$  dell'oggetto per la lunghezza del tratto  $h$  di caduta.

Consideriamo un oggetto fermo (figura 2), che si trovi all'altezza  $z_1$  rispetto a una quota di riferimento scelta da noi (per esempio quella del pavimento, o del livello stradale). Esso non ha energia cinetica; però se cade per un tratto  $h$ , fino all'altezza  $z_2 = z_1 - h$ , la forza-peso compie su di esso un lavoro

$$L_{1-2} = Ph.$$

Così, quando giunge alla quota  $z_2$ , l'oggetto possiede un'energia cinetica che all'inizio non aveva.

Possiamo descrivere questa situazione dicendo che anche nella condizione iniziale l'oggetto possedeva un'energia. Non si tratta di un'energia che poteva essere spesa lassù, ma che si trasforma in energia cinetica se l'oggetto cade.

In altri termini un oggetto che si trova in una posizione elevata ha una capacità di compiere lavoro a causa della forza di gravità che lo attrae verso il basso.

Questa energia, che dipende soltanto dalla posizione, si chiama **energia potenziale-gravitazionale** (o della forza-peso). In particolare, nel nostro caso, *definiamo* l'energia potenziale  $E_p$ , che l'oggetto possiede quando si trova nel punto di partenza, come il lavoro che la forza-peso compie su di esso nel farlo passare dall'altezza  $z_1$  all'altezza  $z_2$ :

$$E_p = L_{1-2} = Ph.$$

Ciò significa che, quando si trova nel punto di arrivo, l'oggetto che stiamo considerando ha energia potenziale  $E_{p2} = 0$ . Infatti, la forza-peso non deve compiere alcun lavoro per spostarlo da quel punto al punto stesso.

Poiché l'altezza finale dell'oggetto ha un valore  $z_2$ , misurato rispetto ad un'altra quota converrebbe calcolare l'energia potenziale dell'oggetto rispetto al livello zero delle altezze. Il *valore* dell'energia potenziale, infatti, può essere definito soltanto dopo aver scelto una certa situazione (per esempio quella di avere l'oggetto all'altezza  $z = z_1$ , oppure di trovarlo alla quota  $z=0$ ) come condizione in cui l'energia potenziale è uguale a zero.

### **La legge di conservazione dell'energia meccanica**

L'energia cinetica e l'energia potenziale sono le due forme sotto cui si può presentare l'**energia meccanica**. Durante il moto di un oggetto esse assumono valori che, in generale, cambiano da istante a istante. Per esempio, quando un sasso cade, la sua energia cinetica aumenta (perché cresce la velocità) e quella potenziale gravitazionale diminuisce (perché l'altezza del sasso diminuisce). Ma nonostante queste grandezze cambino continuamente, c'è qualcosa che (se non ci sono attriti) rimane costante. E' l'energia meccanica, cioè la somma dell'energia cinetica e di quella potenziale.

$$E_c + E_p = E_{tot}$$

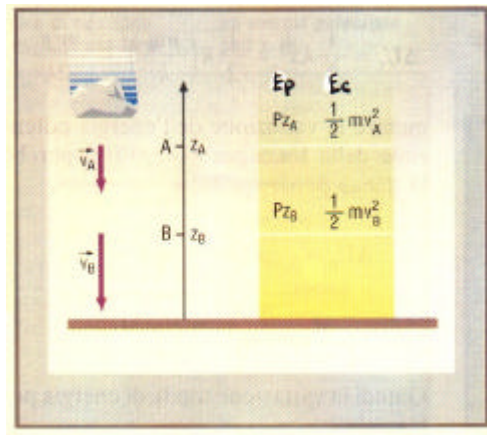


Figura 3: Velocità istantanee, energie potenziali e cinetiche in due punti qualsiasi (A e B) del percorso di caduta di un sasso. Come caso particolare A potrebbe coincidere con il punto iniziale della traiettoria e B con quello finale. L'energia potenziale è  $Pz$  dove  $P$  è la forza-peso  $P=mg$ .

Questo risultato è valido per tutti i **sistemi isolati**, vale a dire i sistemi sui quali non agiscono forze esterne. In generale se le forze che agiscono in un sistema isolato sono tutte conservative, la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale totale si mantiene costante durante il moto (**legge di conservazione dell'energia meccanica**).

La legge di conservazione dell'energia meccanica è una legge (e non un principio), perché è una conseguenza dedotta dai principi della dinamica.

### La conservazione dell'energia totale

L'energia meccanica dissipata dalle forze di attrito non scompare nel nulla. La ritroviamo tramutata in energia interna dei corpi tra cui avvengono gli attriti. Questa trasformazione di energia è di solito accompagnata da un aumento di temperatura.



Figura 4: Mentre il sasso scende, le dita tra cui scorre la corda si scaldano leggermente. Questo aumento di temperatura è legato a una maggiore velocità con cui si muovono le molecole della pelle delle dita (e anche della corda). Ciò significa che l'energia interna delle dita e della corda è aumentata a spese della diminuzione dell'energia potenziale del sasso. Nel complesso l'energia totale del sistema si conserva.

Per esempio un'automobile che frena diminuisce la propria energia cinetica mentre i freni si scaldano. Facendo scendere tra le dita una corda a cui è appeso un sasso, le dita e la corda si scaldano per l'attrito, mentre l'energia potenziale del sasso diminuisce.

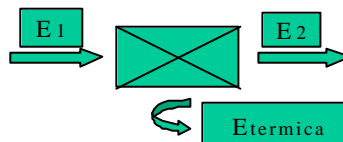
Dove è andata a finire l'energia meccanica? Per rispondere è necessario ricordare che tutti i corpi sono fatti di molecole. Quando due corpi si urtano o si strofinano, le loro molecole sono messe in movimento. Quindi l'energia meccanica che è apparentemente scomparsa si è in realtà trasferita alle molecole dei corpi tra cui si sono avuti gli urti o gli attriti. Questa energia di agitazione molecolare si chiama *energia interna* dei corpi. A causa degli attriti e degli urti essa aumenta e questo aumento si manifesta sotto forma di incremento di temperatura.

Si è parlato di energia cinetica, di energia potenziale e di energia interna. Ma esistono molte altre forme di energia, che si trasformano continuamente l'una nell'altra.

In tutti questi processi l'energia non scompare mai, né nasce dal nulla, ma si trasforma, cioè cambia continuamente aspetto. Se si conteggiano tutte le quantità che intervengono in un processo, si scopre che in un sistema isolato (cioè in un sistema sul quale non agiscono forze esterne) l'energia totale si conserva. È questa la formulazione più generale del **principio di conservazione dell'energia**. Parliamo di principio e non di legge, perché non si tratta di una semplice conseguenza di altre leggi, ma di un assioma ricavato per induzione da moltissime esperienze.

La legge di conservazione dell'energia meccanica risulta quindi essere un caso particolare del principio di conservazione dell'energia totale. L'energia meccanica si conserva solo quando tutte le forze in gioco sono conservative.

## Processo di conversione dell'energia



Nella maggior parte dei processi di trasformazione dell'energia da una sua forma ad un'altra, come in figura da  $E_1$  a  $E_2$ , si può notare che la quantità di energia iniziale  $E_1$  risulta essere maggiore di quella finale  $E_2$ :  $E_1 > E_2$ . Questa constatazione sarebbe in contraddizione con il principio di conservazione dell'energia totale. Ma ciò che rimane invariato è l'energia totale del sistema e del suo ambiente (come sarà poi enunciato nel primo principio della termodinamica: il calore che un sistema acquista -o cede- ne aumenta -o diminuisce- l'energia interna). Infatti nel processo di trasformazione parte dell'energia viene dissipata sotto forma di energia termica, per cui non vi è dispersione (cioè l'energia non viene persa), ma produzione di calore. In questi processi solitamente questa energia rimane però inutilizzata. Possiamo quindi scrivere:

$$E_1 = E_2 + E_t,$$

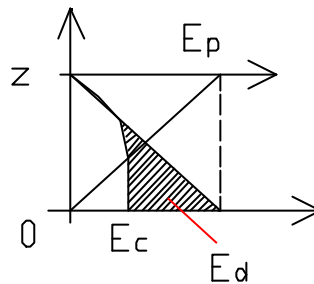
con  $E_t$  uguale all'energia termica prodotta dallo scarto del lavoro meccanico.

Definita *energia trasformabile* ( $E_1$ ) quella frazione dell'energia ricevuta sottoforma di calore che può essere trasformata in lavoro meccanico, è poi possibile definire il *rendimento termodinamico* ( $\eta$ ) come il rapporto tra l'energia trasformata ( $E_2$ ) e l'energia trasformabile ( $E_1$ )

$$\mathbf{h} = \frac{E_2}{E_1} < 1,$$

Per la maggior parte tutti i processi hanno un rendimento inferiore a 1, sono rari quelli per cui il rendimento tende a uno.

Osserviamo il grafico relativo al confronto di energia cinetica, energia potenziale ed energia dissipata, in relazione alla quota  $z$ , per un corpo in caduta libera.



L'energia cinetica ( $E_c$ ) è nulla alla quota  $z$ . Nella caduta cresce, inizialmente in modo speculare all'energia potenziale, per poi divenire costante.

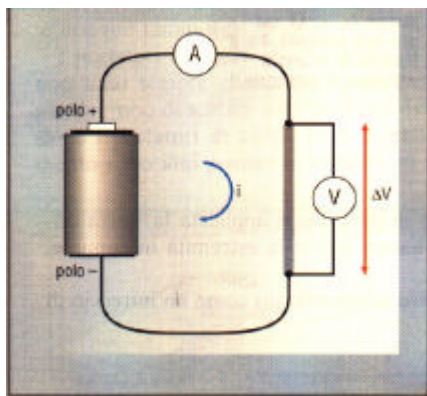
L'energia potenziale ( $E_p$ ), invece, è linearmente proporzionale alla quota  $z$ , annullandosi alla quota 0.

L'energia dissipata ( $E_d$ ), in funzione della quota all'inizio è nulla.

In termini generali si può affermare che l'energia totale rimane costante: alla quota  $z$  essa è data dall'  $E_p$ , alla quota 0, invece  $E_{tot} = E_c + E_d$  costante.

Lo studio di questo grafico è un ulteriore conferma della validità del principio di conservazione dell'energia.

Lo stesso principio possiamo verificarlo facendo un esempio riguardante **l'energia elettrica**.



**Figura 5:** L'amperometro A (collegato in serie al circuito) misura la corrente che lo attraversa e quindi la corrente che passa nel filo. Il voltmetro V (collegato in parallelo) misura al differenza di potenziale  $\Delta V$  tra i due punti cui è collegato. Facendo variare la differenza di potenziale  $\Delta V$  (per esempio sostituendo la pila con una che fornisca una diversa tensione), la corrente che passa nel filo cambia.

Si dice che un conduttore è attraversato da una corrente elettrica, quando al suo interno c'è un moto di cariche elettriche, cioè ci sono forze che fanno muovere le cariche. Si ha corrente elettrica quando i capi del conduttore sono a potenziali diversi.

Affinché la differenza di potenziale ai capi di un conduttore rimanga costante è necessario avere un *generatore di tensione* che consente di avere una corrente di intensità costante all'interno del conduttore chiamata corrente continua.

L'intensità della corrente  $i$  è una grandezza scalare, che nel Sistema Internazionale si misura in **ampere** (A). Mentre l'unità di misura del potenziale elettrico è chiamata **volt** (V).

Il passaggio della corrente elettrica è accompagnato da scambi di energia che si verificano all'interno dei conduttori e tra essi e l'ambiente esterno.

Tutti i conduttori si riscaldano quando sono percorsi dalla corrente elettrica. In alcuni casi possono diventare incandescenti, come accade, per esempio, al filamento di una lampadina o alla resistenza di una stufa elettrica. A causa della temperatura elevata essi emettono energia nell'ambiente mediante un passaggio di calore.

Nei conduttori liquidi il passaggio della corrente può dar luogo, oltre al riscaldamento, anche a reazioni chimiche. Nel corso di questi processi si verifica un assorbimento di energia.

Talvolta i conduttori gassosi percorsi dalla corrente elettrica emettono luce. Ciò accade nei tubi delle insegne luminose. L'energia che porta con sé la luce si riversa nell'ambiente esterno.

Tutte queste trasformazioni di energia hanno origine nell'energia elettrica che il generatore fornisce alle cariche. In che cosa consiste precisamente questa energia elettrica? Si tratta dell'**energia potenziale elettrica** che possiedono le particelle cariche che si muovono all'interno del generatore.

Quando il generatore spinge al suo interno le cariche positive verso il polo a potenziale più alto (o le cariche negative verso il polo a potenziale più basso), l'energia potenziale elettrica di queste cariche aumenta a spese di un'altra forma di energia (nel caso delle batterie si tratta di energia chimica).



Poi, man mano che esse fluiscono verso il circuito esterno (spinte dalle forze del campo elettrico), perdono la loro energia potenziale iniziale che si trasforma così in altre forme di energia. Diventa per esempio, energia interna del conduttore solido, che poi si trasforma in energia interna dell'ambiente.

Anche nei fenomeni elettrici è valido il **principio di conservazione dell'energia**: l'energia elettrica associata al passaggio della corrente è uguale alla somma dell'energia chimica, dell'energia luminosa e del calore che si sviluppano in un conduttore.

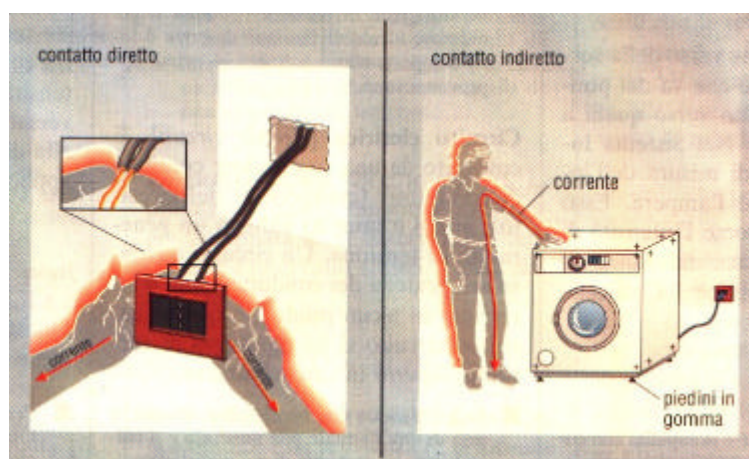
Per calcolare quanta energia elettrica si trasforma in ogni secondo in altre forme di energia definiamo la *potenza* come l'energia nell'unità di tempo:

$$\text{POTENZA ELETTRICA} = \frac{\text{energia}}{\text{tempo}} = \frac{E}{t}.$$

Nel SI l'unità di potenza è  $1 \frac{J}{s}$ , detto 1 *watt* (simbolo W).

L'energia può anche essere espressa in unità di potenza  $\times$  tempo. Questa è l'origine del termine *chilowattora*, per esempio. Un chilowattora è il lavoro compiuto in un'ora da un sistema che lavora alla potenza costante di un kW.

$$1kWh = 1000W \cdot 1h = 1000 \frac{J}{s} \cdot 3600s = 3600000J = 3,60 \times 10^6 J$$



Ogni anno in Italia muoiono circa duecento persone per le conseguenze di un contatto diretto o indiretto con l'impianto elettrico domestico. L'equilibrio fisiologico dell'organismo umano viene infatti perturbato dal passaggio di una carica elettrica.

Un *contatto diretto* può verificarsi inserendo una spina o aprendo una presa. Quando si toccano con le due dita i fili in tensione, ai capi di un tratto del corpo viene applicata una differenza di potenziale. La corrente elettrica che così si genera passa lungo le braccia, attraversa il torace e può provocare un arresto cardiaco.

Un *contatto indiretto*, invece, è causato da un difetto di isolamento, cioè dalla rottura dell'involucro isolante che ricopre i fili in tensione. Se l'apparato ha un rivestimento metallico (per esempio una lavatrice), esso acquista una differenza di potenziale rispetto al suolo. La persona che lo tocca mette in contatto il rivestimento con il suolo, tramite il corpo e i piedi o le calzature che toccano il pavimento, ed è attraversata da una corrente elettrica.

La pericolosità dei contatti, diretti e indiretti, dipende dalla quantità di carica che passa nell'organismo, che è data dal prodotto dell'intensità di corrente per la durata del contatto.

### L'impianto di terra e l'interruttore differenziale

Per alimentare gli impianti elettrici dell'abitazione, il generatore della centrale mantiene una differenza di potenziale (alternata) di 220 V fra due fili, chiamati *fase* e *neutro*. Le prese nelle stanze hanno la stessa differenza di potenziale ai loro morsetti, perché sono disposte in parallelo lungo i due fili.

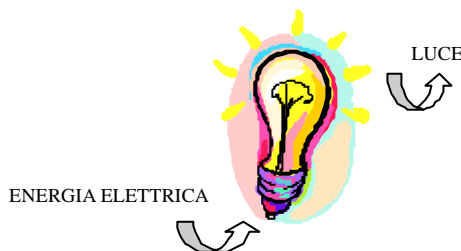
Un impianto domestico sicuro richiede la stesura di un terzo filo, chiamato *filo di terra*. Un'estremità di questo filo è collegata a lunghi paletti metallici affondati nel suolo e l'altra estremità al terzo morsetto della presa.

Gli elettrodomestici con rivestimento metallico utilizzano spine a tre poli, in cui il terzo polo collega il terzo morsetto della presa con il rivestimento.

Se si accumula un eccesso di carica sul rivestimento, essa viene dispersa lungo l'impianto di terra che ha una bassissima resistenza verso il suolo e che quindi protegge le persone dai contatti indiretti.

La sicurezza domestica viene rafforzata installando l'interruttore differenziale (salvavita). Se avviene uno squilibrio fra la corrente in ingresso nell'impianto e quella in uscita, significa che la differenza (da cui il nome dell'interruttore) sta fuggendo da un apparato con difetto d'isolamento verso il suolo o attraversando l'impianto di terra oppure il corpo di una persona.

L'interruttore, sensibile alle differenze fra le intensità di corrente in ingresso e in uscita, apre il circuito elettrico e interrompe l'erogazione di energia elettrica.



Un'ulteriore forma di trasformazione dell'energia elettrica è l'energia luminosa. Energia luminosa risulta però essere un termine impreciso. Infatti la luce è costituita da onde elettromagnetiche.

Più precisamente, secondo Einstein, è necessario supporre che la luce stessa sia composta da singoli pacchetti di energia, i quanti del campo elettromagnetico, che vengono chiamati **fotoni**.

La lunghezza d'onda  $\lambda$  della luce è compresa tra 0,4nm e 0,7nm (nm=nanometri).

## Le leggi e la fisica

Ovviamente quando si deve realizzare un progetto, al suo interno si è obbligati all'utilizzo delle unità del Sistema Internazionale e si è vincolati da alcune semplici regole che, a livello legale, in Italia, sono riprese dalla normativa CNR-UNI 10003. Se ne elencano alcune.

(1) I nomi delle unità sono considerati nomi comuni e pertanto si scrivono con l'iniziale minuscola, anche se alcuni di essi derivano da nomi di scienziati (ampere, kelvin). In questo caso però sono invariabili ed hanno come simbolo una lettera maiuscola (per esempio A per l'ampere e K per il kelvin). Si noti che lo stesso vale per le unità derivate che hanno un nome proprio di persona.

(2) Il simbolo delle unità si deve usare solo quando l'unità è accompagnata dal valore numerico; esso deve essere scritto in carattere non corsivo (A e non A) dopo il valore numerico, e non deve essere seguito da un punto (a meno che si tratti del punto di fine periodo). Quando l'unità non è accompagnata dal valore numerico, deve essere scritta per esteso e non con il simbolo.

(3) Quando l'unità SI è troppo grande o troppo piccola per certe misurazioni, è consigliabile usare suoi multipli o sottomultipli. Per soddisfare le esigenze di tutti gli utilizzatori del sistema SI, il CGPM ha stabilito un certo numero di prefissi con nomi speciali, indicati nella sottostante tabella insieme ai rispettivi fattori.

Fattore	Prefisso	Simbolo
$10^{24}$	Yotta	Y
$10^{21}$	Zetta	Z
$10^{18}$	Exa	E
$10^{15}$	Peta	P
$10^{12}$	Tera	T
$10^9$	Giga	G
$10^6$	Mega	M
$10^3$	Kilo	K
$10^0$	-	-
$10^{-3}$	Milli	m
$10^{-6}$	Micro	$\mu$
$10^{-9}$	Nano	n
$10^{-12}$	Pico	p
$10^{-15}$	Femto	f
$10^{-18}$	Atto	a
$10^{-21}$	Zepto	z
$10^{-24}$	Yocto	y

(4) Si raccomanda l'uso di multipli o sottomultipli che diano luogo a valori numerici compresi tra 0,1 e 1000, con il criterio di scrivere soltanto le cifre significative:

$$L = 10,7 \cdot 10^7 \text{ Mm.}$$

(5) è obbligatorio utilizzare le unità di misura derivate quando possibile, quindi

non è corretto scrivere **75 kg m/s<sup>2</sup>** ma bisogna scrivere **75 N**.

Lezione del 25\10\02, ore 8.30-10.30