

## UNITÀ 3

### CAP. 1 - ENERGIA E TERMODINAMICA

Che cos'è l'energia?

L'energia può essere definita come la capacità di un corpo, o più in generale di un sistema di corpi, di produrre una *trasformazione*.

Cerchiamo di capire meglio questo concetto introducendo vari tipi di energia. In particolare possiamo grossolanamente pensare questi differenti tipi di energia:

1. Energia legata al **movimento** di un corpo: in tal caso si parla di energia cinetica ed è diversa da zero solo se il corpo possiede una certa velocità.
2. Energia legata alla **posizione** di un corpo: si parla di energia potenziale. Un corpo possiede una certa energia potenziale solo se si trova in una posizione che non occuperebbe se fosse lasciato libero: in tal caso si andrebbe a cercare una posizione per realizzare un equilibrio stabile.
3. Esiste una terza categoria di energia, ossia l'energia **interna**: questa è legata ai movimenti di natura microscopica all'interno del sistema, ossia all'agitazione dei suoi costituenti (ad esempio atomi e molecole).

#### 3.1 Energia cinetica (movimento)

Come abbiamo detto, se un corpo è in *movimento* diremo che possiede **energia cinetica**. Il termine deriva dal greco *kinesis*, che infatti significa movimento. L'energia cinetica è facile da calcolare perché per un corpo di massa  $m$  e velocità  $v$  vale:

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

E' importante notare che si considera il valore della velocità, e non il vettore: se il corpo si muove il valore dell'energia cinetica è lo stesso a prescindere dalla direzione del movimento.

Come esempio calcoliamo l'energia cinetica di un corpo di massa  $m = 20 \text{ kg}$  che viaggia ad una velocità di  $5 \text{ m/s}$ :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ kg} \cdot \left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 250 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 250 \text{ J}$$

Dove abbiamo visto che l'energia cinetica, come tutte le forme di energia, si misurano in Joule (simbolo  $J$ ), ossia in  $\text{kg m}^2/\text{s}^2$ .

In che senso però un corpo in movimento possiede un'energia, ossia è in grado di compiere una trasformazione? Per prima cosa notiamo che il moto stesso è una trasformazione, perché il corpo varia la propria posizione istante per istante. Secondariamente pensiamo a cosa succede quando un corpo in moto (ad esempio una vettura) va a collidere contro qualcosa di grosso e fermo (ad esempio un muro): ovviamente la trasformazione ci sarà, perché la macchina si fermerà certamente, e la sua energia cinetica si sarà convertita in calore, energia necessaria per la deformazione di muro e lamiera, infine energia sotto forma di rumore e vibrazioni, queste ultime propagantesi nei dintorni dal luogo dell'impatto.

#### 3.2 Energia potenziale (posizione)

L'energia potenziale non è una quantità intuitiva come l'energia cinetica.

Diciamo che un sistema possiede energia potenziale quando in qualche modo è "forzato" ad assumere una configurazione (ad esempio, trovarsi in una certa posizione) che non avrebbe in assenza di vincoli.

## ENERGIA

I.I.S. Sassetti Peruzzi

In altre parole abbiamo energia potenziale quando obblighiamo il sistema a rimanere in una certa configurazione mediante forze esterne: se tali forze non ci fossero, il sistema compierebbe una trasformazione per ritornare alla sua condizione di riposo, ossia ad un equilibrio differente e in un certo senso per lui più vantaggioso.

Come primo esempio consideriamo il potenziale di tipo gravitazionale: finché tengo sollevato un sasso ad una certa quota da terra questo non cade, ma solo per effetto della mia mano che lo ferma; sappiamo però che il sasso è *pronto* ad iniziare la sua caduta non appena viene liberato.

Possiamo anche considerare una molla compressa dalla mia mano: questa non compie nessun movimento finché continuo ad esercitare una spinta, eppure è "potenzialmente pronta" ad effettuare una trasformazione per ritornare nella propria configurazione di riposo.

Questi esempi mostrano che ci sono vari tipi di energia potenziale. Quella più semplice da studiare è l'energia potenziale gravitazionale sulla superficie terrestre, che per piccole variazioni di quota  $h$  di una massa  $m$  si esprime:

$$E_p = mgh$$

in cui  $g$  è l'accelerazione di gravità sulla superficie terrestre, circa  $9.8 \text{ m/s}^2$  (ma possiamo approssimarla a  $10 \text{ m/s}^2$ , nei nostri esercizi).

Come esempio consideriamo l'energia potenziale di uno sciatore di massa  $m = 90 \text{ kg}$  che viene portato tramite lo skilift (forza esterna!) ad una quota di 100 metri:

$$E_p = 90 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100 = 90000 \text{ J}$$

Anche in questo caso l'energia si misura in Joule, simbolo  $J$ .



Se invece  $\Delta L$  è l'allungamento di una molla l'energia potenziale elastica si scrive:

$$E_p = \frac{1}{2} k (\Delta L)^2$$

Nella formula precedente  $k$  è la costante elastica della molla: è anche da questa caratteristica infatti che dipende la capacità della molla di accumulare energia.

Un classico esercizio che può essere svolto per fissare questi concetti è quello dello sciatore inizialmente fermo su una collina di altezza  $h$  rispetto alla quota di riferimento.

## ENERGIA

I.I.S. Sassetti Peruzzi

Inizialmente, proprio perché fermo, non ha energia cinetica. Poiché però si trova ad una quota  $h$  lo sciatore è dotato di energia potenziale (gravitazionale). Appena toglierà i freni, quindi, comincerà a scendere acquistando velocità, perché l'energia potenziale iniziale comincerà a convertirsi in energia cinetica: la quota diminuisce ma la velocità aumenta.

Se ammettiamo che l'energia si conservi scriveremo:

$$E_{FINALE} = E_{INIZIALE}$$

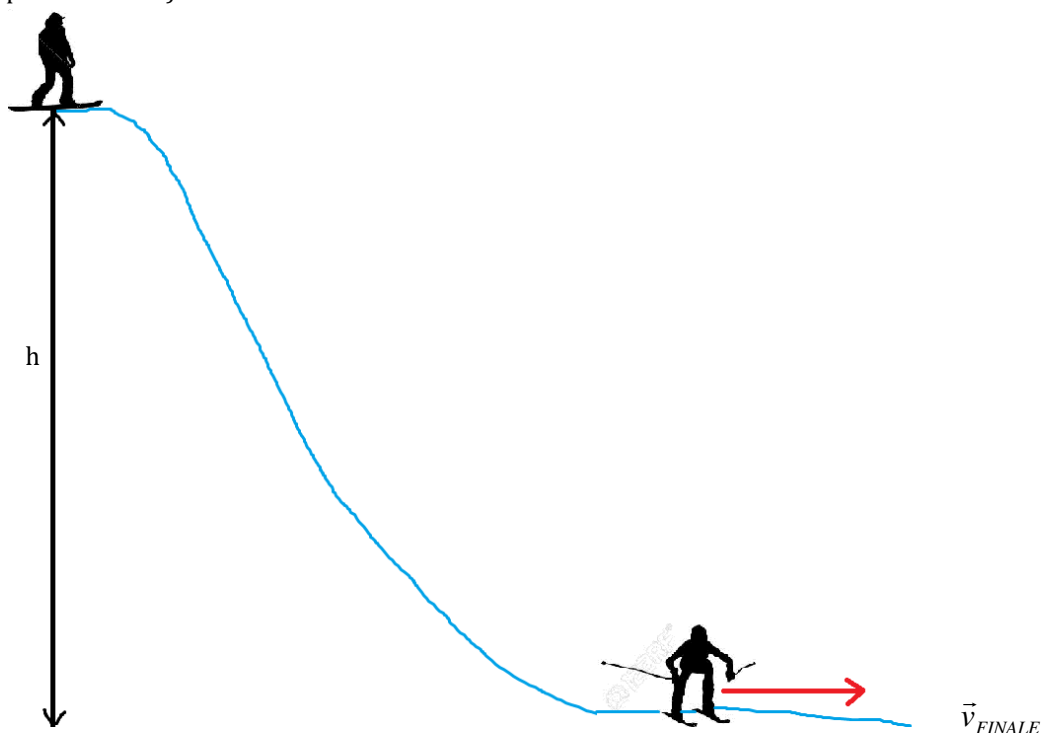
Perciò:

$$mgh = \frac{1}{2}mv_{FINALE}^2$$

Segue, sviluppando i calcoli:

$$v_{FINALE} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

E' interessante notare che il risultato NON dipende dalla massa dello sciatore (segue dall'assunzione che durante la discesa non ci siano state dispersioni di energia, ossia che non ci sia stata ad esempio un'azione di freno da parte dell'aria).



**DOMANDA:** come sarebbe cambiata la velocità di arrivo se durante la discesa si fosse perso il 20% dell'energia?

Si avrebbe che il nuovo bilancio di energia è:

$$E_{FINALE} = 80\% \cdot E_{INIZIALE}$$

Si può mostrare che questo porta ad un nuovo calcolo della velocità dato da:

$$v_{FINALE} = \sqrt{0.80 \cdot 2 \cdot g \cdot h}$$

**ESERCIZIO.** Dimostrare la formula precedente.

### 3.3 Energia interna

L'**energia interna** di un corpo è un'energia invisibile ad occhio nudo, eppure esiste ed è legata allo stato di agitazione delle sue particelle costituenti a livello microscopico. Possiamo infatti dire che anche un corpo fermo (energia cinetica nulla) che non subisce forze né sollecitazioni tali da alterare la sua configurazione di riposo (energia potenziale nulla) è comunque un corpo costituito da particelle che vibrano entro un reticolo che ne costituisce la struttura.

Ogni corpo solido, infatti, può essere pensato come una struttura di particelle legate tra loro che possono compiere piccole oscillazioni, ma non sono libere di cambiare posto a piacimento.

L'energia interna è difficile da misurare, ma è legata ad una grandezza fisica che tutti conosciamo: la **temperatura (T)**. Maggiore è la temperatura di un corpo, maggiore è la vibrazione dei suoi costituenti microscopici, maggiore quindi è l'energia interna del corpo stesso.

Possiamo pensare le particelle che costituiscono un corpo come un insieme di bambini tutti collegati tra loro secondo una precisa struttura. E' impossibile credere che i bambini siano proprio immobili (sono dei bambini!), per cui ci si aspetta che dondolino ossia compiano delle piccole oscillazioni rispetto alla loro posizione di equilibrio, ma comunque non abbandonino il posto a loro assegnato nel reticolo grazie ai legami con i loro amichetti.



Se fornisco calore a un corpo solido la sua temperatura salirà fino al punto in cui le vibrazioni interne saranno talmente grandi da rompere i legami, arrivando quindi alla distruzione dello schema secondo cui erano posizionati i bambini. Si ha la *fusion*e del corpo solido: si dice che tale corpo passa alla fase liquida, durante la quale i bambini/particelle provano ancora ad avere contatti tra loro ma non si trovano più fissi in una solita posizione. Anche in un liquido ci sono quindi legami tra le diverse particelle, ma sono più deboli per cui le particelle sono libere di cambiare posto e scorrere l'una sull'altra.

Se continuo a fornire calore ad un liquido ecco che si passa ad un'altra fase: tutti i legami, anche quelli deboli, vengono rotti e le particelle del materiale, libere da qualunque vincolo, passano alla fase gassosa: secondo l'esempio dei bambini, ognuno smette di cercare qualsiasi legame con gli altri e prende la propria strada; qualche volta va a sbattere con un compagno, qualche volta... contro il muro della stanza (ma rimbalzando sempre, s'intende!).

### 3.4 Lavoro e calore: il primo principio della termodinamica

Abbiamo detto quando un sistema possiede energia, ma non abbiamo detto *chi* o *cosa* è in grado di fornire energia a tale sistema.

Ad esempio chi è che porta il sasso ad una certa quota? Sono stato io. Si dice che facendo questo ho compiuto un **lavoro**, ossia ho speso energia (personale) per contrastare la forza di gravità e portare il sasso dove non sarebbe andato da solo. Attraverso il mio lavoro, il sasso ha acquistato energia (in questo caso potenziale);

## ENERGIA

I.I.S. Sassetti Peruzzi

ma sarebbe stato lo stesso se avessi spinto una molla: avrei fatto lavoro contro la forza elastica: tale lavoro si sarebbe trasformato in energia potenziale accumulata dalla molla.

Il lavoro può trasformarsi anche in energia cinetica: se ad esempio mi metto a spingere un corpo, lui acquisterà via via velocità a spese del mio sforzo.

L'energia è dunque come una quantità di denaro posseduta da un sistema in un conto in banca. Se qualcuno fa un bonifico (ossia compie un lavoro) l'energia del sistema aumenta (=il sistema diventa più ricco). Se al contrario è il sistema a spendere energia facendo lavoro, il suo conto in banca diminuisce. E' per questo che fare un lavoro non è mai un'operazione gratis: per sollevare un sasso al mio fisico serve energia, che posso però accumulare mangiando (infatti le kilocalorie, o kcal, sono un'altra unità di misura di energia).

C'è però un altro modo di cedere energia ad un sistema, ossia fornendo calore. Fornire calore significa a tutti gli effetti riscaldare un corpo, aumentandone come abbiamo visto l'energia interna. Se forniamo calore a un termometro a bulbo, vedremo che per effetto dell'agitazione termica il mercurio tenderà a salire lungo la colonnina (le particelle/bambini sopportano meno la vicinanza reciproca e "sgomitano" di più, guadagnando spazio per vibrare allegramente); per effetto della salita si ha quindi anche un aumento dell'energia potenziale (per forza: raggiunge quote più alte).

Tutte le considerazioni fin qui svolte si possono sintetizzare nell'equazione che traduce il **primo principio della termodinamica**, che lega la differenza di energia di un sistema ( $\Delta E$ ) con il lavoro ( $L$ ) e il calore ( $Q$ ) forniti al sistema stesso:

$$\Delta E = Q + L$$

Questa equazione in particolare ci dice che sia calore ( $Q$ ) che lavoro ( $L$ ) sono due tipi di energia scambiata, non ponendo alcun accento sulle differenze tra i due (questo sarà infatti compito del secondo principio). Evidentemente la formula ci dice che anche lavoro e calore si possono misurare in Joule (simbolo  $J$ ).

### 3.5 Il secondo principio della termodinamica

Abbiamo visto che calore e lavoro sono due forme di scambio di energia. Ci si domanda allora: sono perfettamente equivalenti? Se così fosse, potrei sempre inventare macchine termiche *cicliche* che convertono tutto il calore preso trasformandolo in lavoro, e viceversa. Quindi con un po' di combustibile produrrei delle macchine industriali che non inquinano e compierebbero tutto il lavoro richiesto.

Purtroppo per noi il secondo principio della termodinamica stabilisce che le cose non stanno proprio così: in una macchina termica che compie un ciclo di lavorazione, qualsiasi lavorazione (basta che sia ciclica), non tutto il calore che viene acquisito può essere convertito in lavoro: una parte di calore costituirà uno scarto di lavorazione, e dovrà essere smaltito nell'ambiente.

Questo è il motivo, ad esempio, per cui le macchine hanno il tubo di scappamento. Oppure per cui i treni a vapore hanno il fumaiolo (in entrambi i casi, c'è calore da smaltire).

In una formulazione più elegante il secondo principio si traduce nella seguente affermazione: *"E' impossibile realizzare una macchina termica ciclica che possa produrre lavoro utilizzando un'unica sorgente termica."*

Il secondo principio afferma un dato di fatto molto triste: l'accumulo di scarti termici sulla Terra (che è un sistema chiuso) sarà sempre destinato ad aumentare, e con lui il riscaldamento globale che è principalmente conseguenza delle attività che l'uomo conduce attraverso le sue macchine termiche.

Inoltre una conseguenza di questo è che, assieme allo scarto, cresce anche il "disordine" dell'Universo (l'*entropia*): nell'Universo le cose tendono via via a degradare, passando globalmente dall'ordine al disordine. Ma questa è un'altra storia.

### 3.6 Esiste anche un principio "zero" della termodinamica?

Sì, esiste. Si chiama "zero" perché è quello più intuitivo, quello con cui abbiamo a che fare ogni giorno, da quando scaldiamo la colazione fino a quando sentiamo il fresco del cuscino, prima di andare a dormire.

Il principio zero si può enunciare così: *il calore passa sempre da un corpo a temperatura maggiore ad uno a temperatura minore.*

### 3.7 Meccanismi di trasporto del calore

Ma come fa il calore ad essere ceduto da un corpo? I meccanismi di trasporto sono tre:

1. Per **conduzione**, ossia per contatto con un altro corpo. Un corpo a temperatura maggiore è più agitato microscopicamente rispetto ad uno a temperatura minore, così posto a contatto con questo gli trasmette parte della propria agitazione. E' un po' come avere un compagno di banco abbastanza agitato: alla fine della mattina lui si sarà un po' calmato, e voi che siete il vicino vi sarete un po' innervositi.
2. Per **convezione**, ossia per trasporto di particelle di un liquido o di un gas che circolando portano l'agitazione anche a oggetti che non sono in contatto con nessun altro corpo. Questo è il caso dell'acqua della pentola: la parte bassa, più calda, tende a risalire portando il calore verso la superficie. Una volta giunta alla superficie la stessa acqua si raffredda, e tende a tornare verso il basso.  
Si crea quella che viene chiamata una *corrente convettiva*. Tali correnti, che si producono anche entro il mantello Terrestre, sono responsabili della "deriva dei continenti", ossia di quel fenomeno per cui la crosta terrestre viene trascinata per effetto dello scorrimento dei liquidi sottostanti (con conseguenti terremoti, formazioni di faglie, vulcani ecc. Tutte cose non piacevoli. Però di buono c'è da dire che con questo processo si formano anche le catene montuose, e andare in montagna è bello).
3. Per **irraggiamento**, ossia quel fenomeno che permette al sole di inviarci dei raggi di luce (di calore) che possono viaggiare anche nel vuoto dello spazio. Il sole ci irraggia continuamente (per fortuna), e così facendo ci fornisce calore. In casa un analogo è il termosifone, anche chiamato per l'appunto *radiatore*, ossia un oggetto generalmente più caldo delle altre superfici che irradia calore con lo stesso meccanismo del sole (anche se non raggiunge temperature tali da essere anche luminoso). Un pezzo di metallo entro un forno comincerà a emettere raggi colorati (partendo dal rosso) man mano che si scalda.