

## 4. Pianificazione dell'intervento didattico

### 4.1 Unità di lavoro

L'unità di lavoro è un insieme di argomenti e di attività collegati fra di loro da una "mappa concettuale" e aventi *valenze generali* per lo sviluppo intellettuale e degli atteggiamenti, per l'acquisizione di conoscenze disciplinari e procedurali e per la formazione di competenze e capacità.

Organizzare l'intervento didattico in "unità di lavoro" aiuta a dare una struttura ad ampio respiro alla pianificazione didattica all'interno della quale si possono poi individuare più chiaramente singole unità didattiche.

Esempio di argomenti collegati fra di loro in unità di lavoro:

- spazio – tempo – velocità – accelerazione
- forza – lavoro – energia
- forza – energia – potenza
- forza – pressione – leggi dei fluidi
- temperatura – calore – energia
- energia – conservazione – trasformazione – degradazione
- carica elettrica – forza – campo

### 4.2 Che cosa è una mappa concettuale e come si costruisce

- Non è un elenco di contenuti, ma un *organizzatore di concetti*,
- Deve contenere, ben chiari, i *punti di riferimento* centrali, che tutti, e anche gli allievi, sappiano riconoscere facilmente;
- deve mettere in evidenza le *relazioni* e le *conseguenze* logiche all'interno del concetto in studio, possibilmente individuando, come centrale, un unico aspetto e concatenando ad esso gli altri,
- deve individuare relazioni di ordine, subordinate, livelli e sequenze,
- deve contenere *le connessioni con altri concetti* che precedono o seguono
- deve contenere *agganci al mondo reale*
- è *personale*, perché deve riflettere il proprio modo di capire ed organizzare le conoscenze

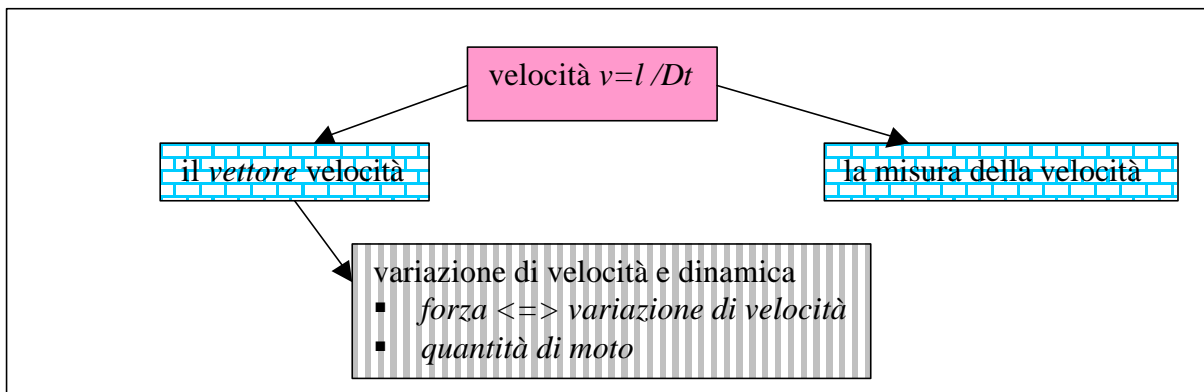
*Come costruire una mappa concettuale*

Seguendo i punti sopra elencati, si può procedere in due modi alternativi:

- iniziare con l'elenco di tutti i luoghi in cui il concetto in esame entra (in base alla propria conoscenza/memoria, oppure scorrendo un testo di fisica), individuare, per ciascuno, ruolo, significato e relazioni reciproche e poi organizzarlo in sequenze o in livelli paralleli secondo tali relazioni, intorno a punti di riferimento chiaramente riconoscibili;
- partire fin dall'inizio con l'aspetto considerato centrale e ben riconoscibile, individuare e legare ad esso gli altri aspetti.

In entrambi i modi, si cercano poi le connessioni ad altri concetti e gli agganci con il mondo fisico.

*Esempio: una mappa concettuale minima sul concetto di velocità che va bene anche per l'allievo*



### 4.3 Unità didattiche

L'unità didattica è una parte di una unità di lavoro calata in un particolare *contesto* e applicata a una particolare situazione didattica. L'unità didattica deve contenere in modo esplicito:

- il contesto:
  - classe o livello scolastico
  - inserimento nella programmazione
  - sviluppo in termini di ore
- i contenuti con una riflessione/motivazione riguardante
  - perché sono stati scelti (es. rilevanza disciplinare, essenziali perché propedeutici ad altri concetti, per l'interesse nei riguardi del contesto sociale, attualità, aspetti matematici, ecc.)
  - perché vengono inseriti in quel particolare punto dell'unità di lavoro e, più in generale, del curriculum
  - individuazione dei concetti essenziali e delle modalità con cui verranno introdotti
- i prerequisiti
  - di conoscenze fisiche e matematiche
  - di capacità di osservazione, misura, analisi
- l'indagine sulle pre-conoscenze e rappresentazioni mentali degli allievi, che deve includere l'analisi dell'origine e della base sperimentale
- gli obiettivi di tipo generale riguardanti
  - lo *sviluppo intellettuale* e degli *atteggiamenti*,
  - la formazione di *competenze* e *capacità generali*
- gli obiettivi specifici per l'acquisizione
  - di *specifiche conoscenze disciplinari e procedurali* legate al particolare contenuto di fisica oggetto dell'unità didattica
  - di *specifiche competenze* legate anch'esse al particolare contenuto di fisica
- indicazioni sulle modalità di conduzione
  - lezione frontale,
  - lavoro a gruppi,
  - attività sperimentali non strutturate o in laboratorio,
  - laboratorio informatico, ecc.
- "l'attacco", cioè il modo in cui si introduce l'argomento, che deve essere *sempre* legato a fenomeni, oggetti, fatti sperimentali presi dal mondo reale,

- il tipo di formalizzazione, che verrà proposta agli studenti oppure attesa da parte degli studenti, sia di tipo matematico sia di tipo descrittivo strutturato in modi alternativi (linguaggio, disegno, schizzo, mappa, ecc.)
- le modalità di valutazione.

#### 4.4 Un esempio: il trinomio temperatura – calore - energia

##### *Come separare i tre concetti di temperatura, calore, energia*

###### ➤ *Iniziare dalla temperatura*

- La temperatura è una grandezza di cui il ragazzo ha una percezione fisica fin dall'infanzia; inoltre, molto presto, capisce che la temperatura si misura con uno strumento chiamato termometro.
- La temperatura è una proprietà caratteristica del corpo (variabile di stato), dipende cioè dallo stato del sistema in un dato istante e non dalla storia precedente
- È “atipica” per diversi motivi:
  - varia in relazione alla temperatura dei corpi vicini (equilibrio termico),
  - può variare in presenza di interazioni (fenomeni di attrito, reazioni chimiche, assorbimento di radiazione),
  - ma soprattutto è una grandezza “statistica”, è legata cioè all'energia media dell'alto numero di particelle che costituiscono il sistema in condizioni di *equilibrio termodinamico* (non ha senso parlare di “temperatura” di una sola particella o di un numero piccolo di particelle)<sup>1</sup>,
  - è atipica la modalità di misura e di determinazione dell'unità di misura (scale termometriche),
- È *utile ed economico* definire la grandezza fisica temperatura per descrivere in modo sintetico la situazione di equilibrio termico e la relazione fra lo stato di equilibrio termico e altre grandezze fisiche importanti
- Come viene definito l'*equilibrio termico*: è un *principio* (il cosiddetto “principio zero” della termodinamica), basato sull'evidenza sperimentale attraverso un ragionamento di “bootstrap” (si postula il principio dell'equilibrio termico per definire il funzionamento del termometro, ma si usa il termometro per definire il principio dell'equilibrio termico)
- La *misura* della temperatura:
  - il parametro termometrico (termometri a dilatazione, termoresistenze, termocoppie, senso del tatto (?), radiazione infrarossa),
  - come e in quanto tempo si raggiunge l'equilibrio fra il corpo e il termometro,

---

<sup>1</sup>Nell'approccio microscopico, in condizioni di equilibrio termodinamico, la temperatura assoluta è direttamente proporzionale all'energia cinetica media del singolo costituente la materia (atomo, molecola: nei fluidi l'*energia cinetica* media della singola molecola è  $3/2 k_B T$ , con  $k_B$  = costante di Boltzmann).

In questo senso si può parlare di “temperatura” anche per un fascio di luce (o meglio di onde elettromagnetiche) se esso è stato emesso in condizioni di equilibrio termodinamico da una certa sorgente: ad esempio l'energia media dei fotoni solari corrispondenti alla temperatura media della superficie del sole di 6400 K è di circa  $3 \cdot 10^{-19} \text{J}$  (1,5 eV), mentre con una temperatura di 300 K (temperatura ambiente sulla Terra) l'energia media dei fotoni è circa 20 volte più piccola.

Per la luce si definisce anche la “temperatura di colore”; per la legge di Wien, infatti, un “corpo nero”, cioè un corpo che emette e assorbe uniformemente a tutte le lunghezze d'onda, emette luce (o in generale onde elettromagnetiche) con un picco di intensità intorno a una lunghezza d'onda  $\lambda_{max}$  che è inversamente proporzionale alla temperatura assoluta  $T$  ( $\lambda_{max} = C/T$ , dove la costante  $C \approx 3 \text{ mm} \cdot \text{K}$ ). A un corpo che emette con un picco di intensità luminosa intorno a una certa  $\lambda_{max}$  si assegna quindi una “temperatura di colore” calcolata con la legge di Wien, anche se l'emissione non è stata ottenuta con il solo riscaldamento, ma in altri modi (ad esempio, in certe lampade ad alta efficienza luminosa l'emissione viene ottenuta riscaldando dei gas opportuni).

- condizioni per un “buon termometro”: durante il raggiungimento dell’equilibrio termico non deve causare variazioni significative di temperatura del corpo da misurare (questo è il motivo principale per cui il nostro senso del tatto non può essere un buon termometro!)
- Le scale di temperatura e la *temperatura assoluta*. Le scale di temperatura come la scala Celsius o la Fahrenheit hanno bisogno di *due punti fissi*, perché la loro “temperatura zero” non corrisponde a una effettiva temperatura “nulla” (come avviene ad esempio per il volume o la massa). La scala delle temperature assolute ha invece uno zero che è una effettiva temperatura nulla e non si tratta di un semplice “spostamento dell’origine degli assi del sistema di riferimento”. Si può arrivare alla scala assoluta attraverso:
  - la legge di Gay-Lussac dei gas ideali: lo zero assoluto è quello che si ottiene estrapolando linearmente a volume nullo l’andamento temperatura-volume (oppure estrapolando a pressione nulla l’andamento temperatura-pressione);
  - il rendimento di una macchina termica ideale (è la temperatura minima del termostato freddo, cioè quella a cui il rendimento diventa uno);
  - nel modello microscopico classico, è la temperatura che corrisponde a energia cinetica nulla (o al limite quantistico nel modello quantistico).

*nota bene:* la notazione SI per i gradi kelvin è "K" e non "°K" (mentre per i gradi centigradi la notazione è "°C")

➤ *Iniziare dal flusso di energia termica*

- È un *processo* di cui il ragazzo ha una percezione diretta attraverso gli innumerevoli scambi di energia fra due corpi a *temperatura diversa*, nei quali è chiaro che qualcosa fluisce dal corpo a temperatura più alta ( $T_1$ ) a quello a temperatura più bassa ( $T_2$ ) e che questa “cosa” non è materiale ma ha le proprietà dell’energia. Infatti
  - si *trasferisce* da un corpo all’altro,
  - è *immagazzinata* inizialmente nel corpo 1 e poi rimane immagazzinata nel corpo 2,
  - si *conserva*, perché l’energia che esce dal corpo 1 entra nel corpo 2;
  - inoltre il ragazzo sa che l’energia termica si può *trasformare* in altre forme di energia (ad esempio luminosa) e che si possono trasformare altre forme di energia (ad esempio energia elettrica) in energia termica e che, passando e trasformandosi, l’energia termica fa cose utili.
- Come giungere a *formalizzare* il passaggio di energia termica, cioè a definire formalmente la quantità di energia termica che fluisce dal corpo 1 al corpo 2. Occorre definire prima la procedura con cui si misura la temperatura e quindi il principio dell’equilibrio termico (vedi sopra). Il passo successivo è trovare la relazione fra la variazione di energia termica del corpo 1,  $dE_1$ , e le altre grandezze che intervengono nel processo, che sono, oltre alle temperature iniziali e finali, la massa  $m_1$  e il “calore specifico”  $c_1$  del corpo 1:

$$dE_1 = c_1 m_1 (T_f - T_{i1}) \quad (1)$$

dove  $T_f$  è la temperatura finale di equilibrio fra i due corpi, raggiunta alla fine del passaggio di energia. Vale la relazione analoga per la variazione di energia termica del corpo 2 e si dimostra sperimentalmente che tanta energia esce dal corpo 1 ( $dE_1 < 0$ ) altrettanta ne entra nel corpo 2 ( $dE_2 > 0$ ):

$$dE_2 = c_2 m_2 (T_f - T_{i2}) = - dE_1 \quad (2)$$

- L’energia termica così definita è una *grandezza di stato*, non dipende cioè dal processo attraverso il quale il corpo ha raggiunto quello stato, ma è una caratteristica del corpo in una certa condizione di temperatura.

- È *diversa dalla temperatura*, perché dipende dalla massa del corpo e dal materiale di cui il corpo è fatto (calore specifico)
- In generale non interessa misurare il valore assoluto dell'energia termica ma solo *di quanto varia* (assumendo la conservazione dell'energia) al variare della temperatura.
- La relazione (1) è usata per definire l'*unità di misura dell'energia termica (caloria)*, prendendo come riferimento l'acqua: la caloria è la quantità di energia che fa aumentare di 1°C la temperatura di 1g di acqua (fra 14,5 °C e 15,5°C).
- *Equivalenza caloria-joule*: come sappiamo, esiste un'altra unità di misura dell'energia, il joule, definita attraverso il lavoro che compie la forza di 1N applicata per un tratto di 1 m. In un celebre esperimento Joule dimostrò, nel XIX secolo, che
  - con una quantità di lavoro  $L$  si può ottenere, in un esperimento opportunamente controllato, una variazione di temperatura pari a quella che si otterrebbe con un passaggio di energia termica  $dE$  calcolata in base alla relazione (1);
  - da qui segue "l'equivalente meccanico della caloria", cioè il *fattore di conversione* da calorie a joule,  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ ;
  - caloria e joule sono quindi due *unità di misura equivalenti*, perché misurano la stessa grandezza fisica.

➤ *La quantità di calore*, ovvero il modo più comune di far *cambiare la temperatura*

- Il concetto di "quantità di calore", o, più brevemente, di "calore" non è strettamente necessario, anzi è fonte di numerose confusioni. Viene definito attraverso la relazione (1), chiamata la "legge fondamentale della calorimetria", introducendo una nuova grandezza  $Q$  che vale:

$$Q = c m (T_f - T_i) \quad (3)$$

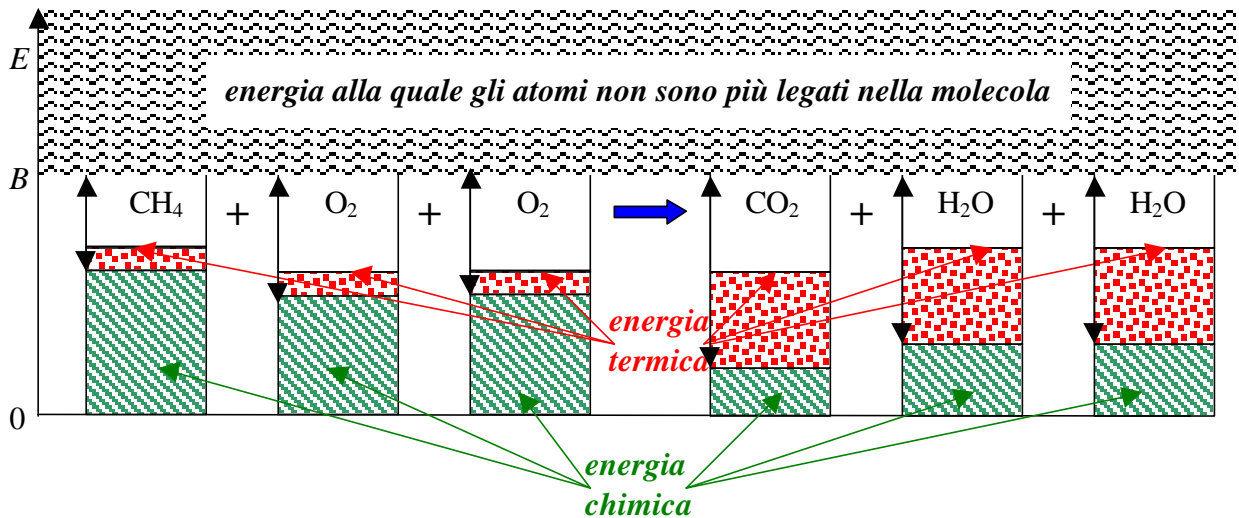
- È chiaro che  $Q$  **non** è una grandezza fisica diversa dalla variazione di energia termica  $dE$ , ma è il modo sintetico di chiamare tale variazione.
- La quantità di calore è positiva se  $T_f > T_i$  (la quantità di calore "entra" nel corpo), è negativa se  $T_f < T_i$  (la quantità di calore "esce" nel corpo).
- Difficoltà concettuali create dall'introduzione della quantità di calore come *grandezza fisica che ha un nome diverso* dalla variazione di energia termica:
  - si induce l'idea che la quantità di calore sia una "forma di energia" del tutto particolare, mentre **non** è una "forma di energia", ma è uno dei modi per misurare quanta energia è entrata o uscita dal corpo;
  - la quantità di calore **non** è una caratteristica del corpo (proprietà essenziale dell'energia) ma è la caratteristica di un *processo*, misura cioè quanta energia entra o esce dal corpo in un processo di scambio di energia;
  - la quantità di calore **non** sta nel corpo (è errato dire "questa cosa contiene molto calore"): questa è la principale confusione su calore ed energia, perché si tende erroneamente a pensare che, poiché entra o esce dal corpo, la quantità di calore sia già nel corpo per poterne uscire o che rimanga nel corpo dopo che è entrata!
- Avendo ben chiare queste difficoltà e questi rischi, è tuttavia *utile ed economico* definire la grandezza *quantità di calore*
  - per descrivere in modo sintetico, attraverso la relazione (3), le variabili da cui dipende la variazione di temperatura in un processo termico,
  - perché è un termine usato spesso non solo nel linguaggio quotidiano ma anche in contesti scientifici, ad esempio nella descrizione di trasformazioni termodinamiche, chimiche, nucleari, ecc., per descrivere sinteticamente il *bilancio energetico*;
  - perché  $Q$  *complessivamente si conserva in molti fenomeni*: nel contatto termico fra due corpi si verifica che la temperatura di equilibrio finale è tale che il corpo 1 perde (o acquista) una quantità di calore  $Q_1 = c_1 m_1 (T_f - T_{i1})$  uguale a quella acquistata (o perduta) dal corpo 2,  $Q_1 = -Q_2$ ;

- perché è comodo utilizzare un simbolo per indicare sinteticamente la quantità di energia che entra in un corpo durante una trasformazione termodinamica in un modo diverso dal lavoro, che è uno spostamento ordinato sotto l'azione di una forza (vedi più avanti il "primo principio della termodinamica");
  - perché il modo più semplice di far variare la temperatura di un corpo è attraverso il contatto con un altro corpo a temperatura diversa ed è comodo descriverlo come un passaggio di "quantità di calore";
  - perché si può trasferire una quantità di calore senza cambiare la temperatura (cambiamenti di stato);
  - perché, anche quando si cambia la temperatura senza che ci sia un trasferimento di quantità di calore (ad es. in una reazione chimica "esotermica" come la combustione, nell'irraggiamento, in presenza di attrito, nelle reazioni nucleari), è comodo utilizzare comunque la relazione (3) per misurare quanta energia è stata trasformata in energia termica durante il processo.
- *Equivalenza calore – lavoro*: il significato dell'esperimento di Joule. L'esperimento **non** dimostra che  $L=Q$ , come si trova scritto in certi testi, ma dimostra che
- con una quantità di lavoro  $L$  si può ottenere, in un esperimento opportunamente controllato, una variazione di temperatura pari a quella che si otterrebbe con una quantità di calore  $Q$  calcolata in base alla legge (1);
  - da qui segue "l'equivalente meccanico della caloria", cioè il *fattore di conversione* da calorie a joule,  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ ;
- *Energia interna*: è l'energia che "sta dentro" il corpo, in virtù della sua temperatura (energia termica), composizione chimica (energia chimica), stato fisico (energia di legame degli stati condensati), struttura nucleare (energia nucleare), ecc.
- è una grandezza di stato, non dipende cioè dal processo attraverso il quale il corpo ha raggiunto quello stato,
  - non si misura in genere il valore assoluto dell'energia interna ma solo di quanto varia (assumendo la conservazione dell'energia);
  - l'energia chimica, nucleare e quella del legame degli stati condensati sono "energie negative"; ad esempio:
    - > l'acqua allo stato liquido è "più legata", cioè ha energia "più negativa" che allo stato di vapore, quindi per far evaporare l'acqua occorre *fornire energia*;
    - > in una reazione chimica "esotermica", come quella che avviene quando si accende il fornello del gas ( $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ), le molecole iniziali sono "meno legate" di quelle finali (acqua e anidride carbonica sono molto stabili perché molto più legate di metano e ossigeno) e quindi *si libera energia* sotto forma di energia cinetica delle molecole (l'energia che si libera in ogni reazione è di circa 20 elettronvolt<sup>2</sup>, che si distribuisce abbastanza equamente fra le molecole);
    - > in modo analogo si libera energia in una reazione nucleare "esotermica" come il decadimento dell'uranio 238 ( $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} + ^4\text{He}$ ): l'energia che si libera in ogni reazione è di circa 4 MeV, che è soprattutto energia cinetica dell'elio. Confrontata con la tipica energia che si libera in una reazione chimica, che è di alcuni eV, si vede subito che le energie nucleari sono *milioni di volte più elevate di quelle chimiche!*
- Se crea difficoltà concettuale pensare a "energie negative", si può pensare in termini di energie positive, spostando lo "zero" della scala di energia verso i valori negativi di una

---

<sup>2</sup> L'elettronvolt (simbolo eV) è l'unità di misura dell'energia più adatta a descrivere fenomeni microscopici, perché è l'energia che acquista una particella che ha una carica elettrica pari a quella dell'elettrone ( $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) che si sposta sotto la differenza di potenziale di 1V, quindi  $1 \text{ eV}=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

quantità arbitraria  $B$  (“binding energy”). Nella reazione della combustione del metano, ad esempio, la situazione energetica potrebbe essere questa:



Il metano e l’ossigeno hanno molta *energia chimica*, cioè gli atomi sono “poco legati”: occorre fornire poca energia perché si liberino dal legame chimico raggiungendo energie maggiori di  $B$  (l’energia di legame chimico è rappresentata nella figura dalla doppia freccia). Hanno poca energia termica, perché sono a temperatura ambiente.

Nella reazione si formano invece anidride carbonica e acqua, che hanno poca *energia chimica*, cioè gli atomi sono “molto legati”; hanno però molta energia termica, cioè sono molto caldi.

Complessivamente l’energia è rimasta la stessa, si è solo trasformata da energia chimica a energia termica.

- *Primo principio della termodinamica*: esprime la conservazione generale dell’energia indipendentemente dai processi che avvengono in un corpo. Poiché ci sono due modi di far variare l’energia interna di un corpo (attraverso un lavoro  $L$  oppure scambiando una quantità di calore  $Q$ ), la variazione di energia interna  $U$  vale:

$$dU = Q + L \quad (4)$$

Nella relazione, sia  $Q$  che  $L$  possono essere positivi o negativi e il risultato sarà che la variazione di energia interna  $U$  potrà essere positiva o negativa, cioè l’energia interna potrà crescere o diminuire. In generale non interessa conoscere quanta energia interna ha un corpo o un sistema, ma di quanto essa varia durante la trasformazione.

- Concetto di *potenza*: in molti fenomeni la grandezza rilevante è la quantità di energia trasferita in un dato tempo, cioè la potenza, che è appunto la *quantità di energia trasferita o trasformata nell’unità di tempo*. Nella fiamma che brucia in un fornello di gas, ciò che importa è quanto rapidamente può scaldare, cioè qual è la potenza della fiamma: un piccolo bruciatore fornisce tipicamente potenze di un centinaio di watt (va bene per “fare il caffè”), mentre un bruciatore grosso può arrivare a 1 kW. Così pure in un boiler elettrico o in un ferro da stiro le potenze sono dell’ordine del chilowatt. In questi casi si fa piuttosto il calcolo inverso: nota la potenza del dispositivo, si calcola quanta energia “consuma” (in realtà trasforma) per un dato intervallo di tempo di uso (infatti i consumi dell’energia elettrica si misurano spesso in “chilowattore”, kWh, anziché in joule o in calorie)

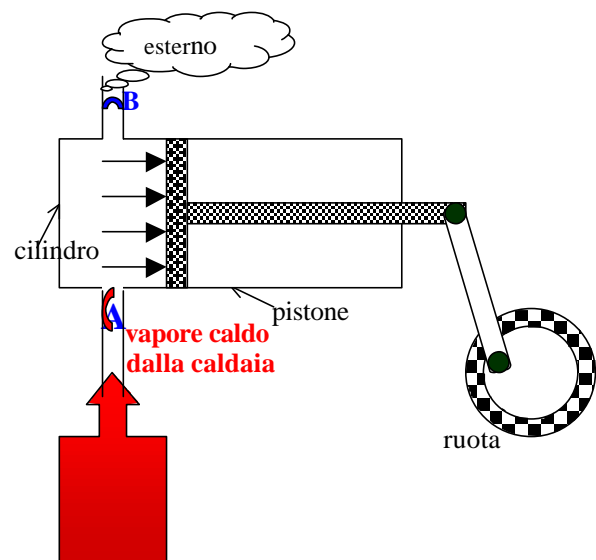
➤ *L'irreversibilità e il secondo principio della termodinamica*

Molti fenomeni termici sono chiaramente “irreversibili”, cioè avvengono in una sola direzione, a differenza di un fenomeno meccanico che, in assenza di attriti, può avvenire in modo identico in entrambi i sensi. Ad esempio, un corpo caldo a contatto con uno freddo spontaneamente si raffredda, mentre quello freddo si scalda e non avviene mai l'inverso; se voglio che un corpo freddo si raffreddi ulteriormente e quello caldo si scaldi, occorre fare lavoro: è ciò che avviene, ad esempio, in un frigorifero.

Non basta quindi pensare al flusso di energia per descrivere un processo termico, occorre anche introdurre il flusso di un'altra “grandezza di stato”, diversa dall'energia interna, ma con proprietà simili: deve essere una grandezza che

- sta dentro il corpo,
- esprime una proprietà del corpo in una certa condizione, indipendentemente da come il corpo è giunto a questa situazione,
- varia in positivo o in negativo durante una trasformazione,
- la sua variazione determina l'irreversibilità del processo (mentre la sola variazione dell'energia interna non la determina).

Questa grandezza è l'entropia. Uno dei primi a intuire che c'è un'altra grandezza che fluisce in un processo termico, oltre all'energia, fu Carnot nel XIX secolo, nel suo studio del funzionamento di una macchina termica. I vapori caldi, che escono dalla caldaia attraverso la valvola A, portano nel cilindro una quantità di calore  $Q_1$  di alta temperatura  $T_1$ , che serve a produrre il lavoro  $L$  che spinge il pistone, tuttavia una parte dell'energia rimane nei gas che si sono raffreddati ed escono nell'ambiente. In dettaglio, il pistone torna indietro spinto dall'inerzia della ruota, che è stata messa in moto proprio dal pistone stesso; tornando indietro, il pistone spinge fuori attraverso la valvola B i gas che portano una quantità di calore  $Q_2$  di temperatura più bassa,  $T_2$ .



Alla fine del ciclo, il cilindro è tornato nella situazione iniziale, l'energia interna  $U$  non è cambiata, mentre la quantità di calore  $Q_1$  è servita a produrre il lavoro  $L$  e a riversare la quantità di calore  $Q_2$  nell'ambiente. Dal primo principio troviamo:

$$Q_1 = L + Q_2$$

Il ciclo serve quindi a trasformare una parte di  $Q_1$  in lavoro utile  $L$ , perdendone però una buona parte,  $Q_2$ , in forma non utilizzabile. Ciò che Carnot scoprì fu che, se vogliamo perdere la minima quantità di calore  $Q_2$ , occorre che le quantità di calore stiano fra di loro in modo proporzionale alle temperature assolute dei rispettivi corpi:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \quad (5)$$

Se ciò avviene, oltre ad avere il massimo lavoro ottenibile, date le temperature dei due corpi, abbiamo anche che il ciclo è reversibile: esso può cioè essere compiuto al contrario, usando il lavoro  $L$  per togliere energia al corpo 2 e versarla nel corpo 1 (macchina frigorifero).

L'entropia  $S_1$  che esce dal corpo 1 è appunto data da  $Q_1/T_1$ , mentre quella che entra nel corpo 2 vale  $Q_2/T_2$ ; in generale:

$$S = \frac{Q}{T} \quad (6)$$



In un processo reversibile l'entropia si conserva, *in un processo irreversibile l'entropia aumenta*. Ad esempio, nel passaggio di calore da un corpo caldo a uno freddo,  $Q_1 = Q_2$ , però, essendo  $T_1 > T_2$ , l'entropia del corpo 2 cresce di più di quanto diminuisca l'entropia del corpo 1 e quindi l'entropia complessiva aumenta.

Poiché, complessivamente, nell'universo avvengono continuamente processi irreversibili, l'entropia complessiva dell'universo aumenta continuamente.

➤ *L'energia si degrada*

- la misura tipica dell'energia che si degrada è data dall'energia termica a bassa temperatura,
- ciò è legato al secondo principio della termodinamica: il rendimento  $h$  di una macchina termica è dato dal rapporto fra l'energia "utilizzata" (pari alla quantità di calore  $Q_1$  prelevata dal corpo a temperatura  $T_1$  più alta meno la quantità di calore  $Q_2$  ceduta al corpo a temperatura  $T_2$  più bassa) e l'energia  $Q_2$  "spesa":  $h = (Q_1 - Q_2)/Q_1$ ; in un ciclo reversibile (che è il ciclo di massimo rendimento) le quantità di calore cedute o assorbite sono proporzionali alle rispettive temperature assolute, quindi  $h \propto (T_1 - T_2)/T_1$ . Per avere un buon rendimento occorre quindi avere  $T_1$  molto alta (oppure  $T_2$  molto bassa);
- tipica energia "degradata" è l'energia cinetica che si trasforma in energia termica per fenomeni di attrito.

➤ *Conduzione e convezione termica* Sono argomenti laterali, ma importanti perché legati ai processi di trasferimento di energia e al raggiungimento dell'equilibrio termico;

- la *conduzione termica* avviene per contatto; a livello microscopico è dovuta a due meccanismi:
  - nei fluidi e nei gas, in cui le molecole sono libere di muoversi, oppure come nei metalli in cui ci sono elettroni mobili che possono spostarsi e urtare contro gli atomi del reticolo solido, la conduzione è affidata agli "urti";
  - nei solidi la conduzione avviene anche attraverso le vibrazioni intorno alle posizioni di equilibrio degli atomi, che si trasmettono da un atomo all'altro tramite l'accoppiamento che esiste a causa del legame dello stato solido;
  - la conduzione termica, cioè la quantità di calore trasferita nell'unità di tempo ( $Q/Dt$ ), è *direttamente proporzionale* alla differenza di temperatura  $DT$  e all'area di contatto  $S$ , mentre è *inversamente proporzionale* allo spessore  $Dx$  di materiale (il coefficiente di proporzionalità è tipico del materiale ed è chiamato coefficiente di "conducibilità termica");
- nei fluidi, insieme alla conduzione, avviene un fenomeno di *convezione*, dovuta al fatto che il fluido in vicinanza di una zona calda (ad esempio una zona in cui avviene una combustione) si dilata e, per la spinta di Archimede, tende a salire verso l'alto; si forma quindi un moto ordinato verso l'alto sopra la zona calda a cui segue un moto di richiamo di fluido freddo dalle zone vicine (correnti convettive).

➤ *Irraggiamento, energia radiante, equilibrio radiazione-materia*

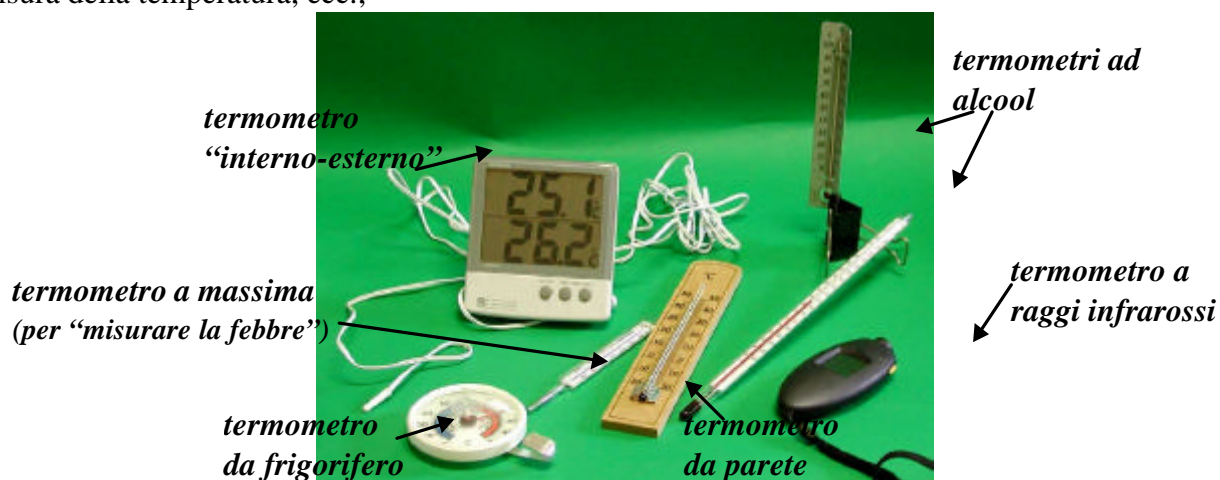
Ciò che si trasmette per irraggiamento **non** è calore, ma *energia radiante*. L'energia radiante (elettromagnetica, luminosa, infrarossa, ecc.)

- *viaggia* anche nello spazio vuoto (direzionalità, velocità di propagazione),
- viene emessa dalla sorgente con una intensità (potenza) che dipende dalla temperatura assoluta  $T$  e dalla superficie  $S$  (legge di Stephan-Boltzmann,  $W_{rad} \propto ST^4$ ),
- anche il colore (la distribuzione spettrale) della radiazione dipende dalla temperatura: lo spettro di corpo nero ha un massimo a una lunghezza d'onda inversamente proporzionale alla temperatura (*temperatura di colore*),
- la radiazione mantiene l'informazione della temperatura del corpo che l'ha emessa anche viaggiando nello spazio (così viene misurata la temperatura sulla superficie delle stelle e può essere misurata la temperatura di un corpo lontano),

- si può ottenere calore, o meglio una certa quantità di calore, quando l'energia radiante viene *assorbita* dalla materia, cioè interagisce con essa;
- l'assorbimento di energia radiante ha caratteristiche completamente diverse dall'assorbimento di calore; ad esempio:
  - > parte della radiazione può essere *riflessa* o *trasmessa*,
  - > l'assorbimento dipende dal tipo di superficie del corpo (un oggetto bianco assorbe di meno dello stesso oggetto dipinto di nero),
  - > l'energia radiante può trasformarsi in altre forme di energia diverse da quella termica (es. in energia chimica per fotosintesi, energia elettrica per effetto fotovoltaico)

➤ *Oggetti e semplici esperimenti "per pensare"*

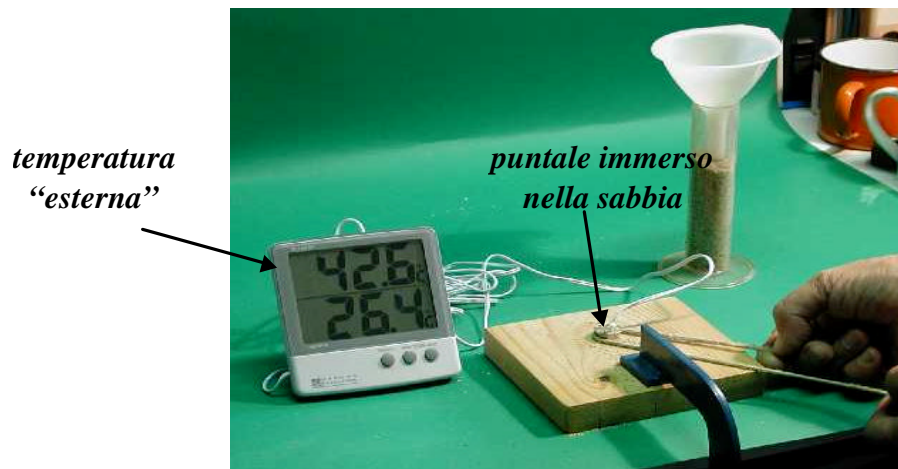
- una raccolta di diversi termometri per iniziare a discutere di temperatura, equilibrio termico, misura della temperatura, ecc.;



- particolarmente utile è il *termometro a raggi infrarossi* per iniziare a discutere di energia radiante e delle sue caratteristiche, completamente diverse da quelle degli altri termometri:
  - > fa una misura *a distanza* e non per contatto,
  - > è *direzionale*, perché raccoglie raggi che provengono da una ben determinata sorgente e viaggiano in una determinata direzione;
- i barattoli semipieni di sabbia per riflettere sull'energia interna;
- una misura del "potere calorifico" di una fiamma o di un combustibile per riflettere sull'energia chimica;
- una misura di conduzione del calore;
- una misura di assorbimento e di emissione di *energia radiante* (ad esempio usando barattoli chiari e scuri esposti al sole o alla luce di una lampada);
- una valutazione della degradazione dell'energia in tipici fenomeni di attrito, per separare conservazione della quantità di moto e conservazione di energia cinetica<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Un esempio: si usa un martello (massa circa 1 kg) per piantare un chiodo (massa 20 g). Supponiamo che  
 - il martello al momento di colpire il chiodo abbia un'energia cinetica pari a quella che avrebbe dalla caduta da un'altezza di 50 cm,  $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = mgh \approx 5J$ , quindi  $v = \sqrt{2gh} \approx 3 \text{ ms}^{-1}$ ;  
 - che il tempo  $\Delta t$  di frenata del martello sia circa 20 millisecondi (il che permette di calcolare la forza media di arresto,  $F_{\text{arresto}} \Delta t = mv$ , da cui  $F_{\text{arresto}} = mv/\Delta t \approx 150N$ );  
 - che il chiodo a ogni colpo si pianti di 2 mm (il che permette di calcolare il lavoro  $L = F_{\text{arresto}} s \approx 0,3 J$ );  
 L'energia "dispersa" è la differenza, cioè circa 4,7 J: il grosso dell'energia va quindi in "calore", cioè in energia termica! Supponiamo che si divida equamente fra martello e chiodo, la temperatura del chiodo salirà di  $\Delta T_{\text{chiodo}} = Q_{\text{chiodo}}/c_{sp} m_{ch}$  dove  $c_{sp}$  è il calore specifico del chiodo pari a circa  $0,2 \text{ cal}/^\circ\text{Cg} \approx 1J/^\circ\text{Cg}$ . Facendo i conti si ottiene  $\Delta T_{\text{chiodo}} \approx 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dopo una decina di colpi, il chiodo sarà entrato di circa 2 cm e la temperatura sarà salita di circa  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- un “esperimento alla Joule”, magari sotto forma di gara, per l’equivalente meccanico della caloria;



#### 4.5 Esercizi

##### 1. Misure e calcoli su temperatura ed energia (obbligatorio)

Realizzate un esperimento in cui variate l’*energia interna* di un corpo, in una delle sue diverse forme; in base alle osservazioni/misure che farete determinate la variazione di temperatura, la variazione di energia e la potenza erogata. Riportate in dettaglio i dati misurati, possibilmente organizzati in forma di tabella o di grafico.

2. Impostate, sul tema calore – temperatura – energia oppure sul tema energia – conservazione – trasformazione – degradazione, una unità di lavoro motivando la scelta e individuando le linee generali di una possibile organizzazione dei contenuti in unità didattiche.

Costruite poi una unità didattica, su un contenuto all’interno dell’unità di lavoro, specificando:

- contesto, strutturazione in ore e modalità di conduzione
- traccia dello sviluppo dell’argomento, con “attacco”, attenzione ai passaggi critici, qualche considerazione anche quantitativa
- indagine delle pre-conoscenze dei ragazzi e prerequisiti
- obiettivi generali e specifici (non più di tre per tipo!), evidenziando, nello sviluppo dell’unità didattica, come essi vengono raggiunti
- tipo e livello formalizzazione
- modalità di valutazione