

Temperatura e calore (rivisitata e aggiustata dopo la verifica)

La definizione di temperatura che si trova su molti libri è una definizione operativa¹:

DEF la **temperatura** è quella grandezza che si misura con il termometro (!)

1 Costruzione di un termometro

Per costruire (concettualmente: di tecnologia so poco purtroppo) un termometro, e per poter quindi rendere *effettivamente operativa* la definizione di temperatura dobbiamo:

1. Partire da un assioma (ispirato dall'esperienza, cioè sperimentale) detto **principio zero** della **termodinamica**: "*Due corpi a temperatura diversa, messi in contatto fra loro, tendono a raggiungere, all'equilibrio², una stessa temperatura*"³.
2. Scegliere una **proprietà caratteristica** dei corpi, o delle sostanze che *vari* con la **temperatura**⁴.
3. Stabilire la **legge** che descriva la relazione fra la *proprietà caratteristica* e la variazione di temperatura⁵
4. Costruire e segnare una **scala** sul termometro, cioè:
 - a. Stabilire delle **temperature di riferimento**. **ES** le temperature dei *passaggi di stato*⁶ (perché, finché il passaggio di stato non è completo, la temperatura si mantiene costante!): nella scala Celsius alla fusione del ghiaccio si assegna la temperatura 0°C e all'ebollizione dell'acqua si assegna la temperatura 100°C. A 1 atm di pressione.
 - b. Dividere l'intervallo fra le due temperature di riferimento in **tacche** che, a seconda della legge scelta, saranno *equispaziate* o no. Nelle scale *Celsius* e *Kelvin*, le tacche sono *equispaziate* perché si basano sulla legge della dilatazione che è una legge di proporzionalità diretta (N.B. mi riferisco al legame fra **VARIAZIONE** di temperatura e **VARIAZIONE** di volume o lunghezza); in una scala che si basi sul fenomeno dell'irraggiamento le tacche **NON** saranno equispaziate.

1.1 Caratteristiche di un termometro

I termometri si possono classificare secondo criteri differenti:

¹ Cioè la grandezza viene definita specificando in che maniera va misurata! Con che strumento, seguendo che modalità, ecc. Nel caso della temperatura si dà per scontato che sappiate utilizzare un termometro.

² Il concetto di **equilibrio** riguarda varie branche della fisica. In generale diciamo che una situazione fisica è di equilibrio quando le *grandezze caratterizzanti* la situazione sono costanti. In questo caso la grandezza caratterizzante il fenomeno (l'unica su cui ci stiamo concentrando, per ora) è la temperatura.

³ Questa premessa è importante perché ci consente di leggere *sul termometro* – specialmente nel caso dei termometri a dilatazione - la temperatura del corpo che abbiamo messo in contatto con il termometro. Infatti, in generale, la temperatura di equilibrio dipende dalle temperature iniziali dei corpi e dalle loro masse. In particolare si avvicina a quella del corpo di massa maggiore. Nei termometri a dilatazione la massa del materiale contenuto nella cannula è talmente inferiore a quella dei corpi con cui viene posto in contatto il termometro che la temperatura di equilibrio è praticamente identica a quella del corpo che viene misurato. Nel caso il corpo di cui si misura la temperatura è una sorgente di calore (come nel caso di persone vive!) questo fatto viene ulteriormente amplificato.

⁴ Variano, per esempio, con il variare della temperatura: volume, densità, conducibilità elettrica, irraggiamento dei corpi. I termometri che si basano sulla variazione del volume in relazione alla variazione di temperatura si chiamano **termometri a dilatazione**.

⁵ **ES1** dilatazione e variazione di temperatura sono legate da una proporzionalità diretta: $\Delta V = \alpha \cdot V_0 \cdot \Delta \theta$ ⁵;

ES2 la relazione tra l'energia elettromagnetica emessa da un corpo e la sua temperatura – espressa in kelvin - è data dalla: $E = \epsilon T^4$ dove: ϵ è il coefficiente di emissività e dipende dalle condizioni del corpo.

⁶ La parola **STATO** in fisica può avere più significati che vengono chiariti dal complemento di specificazione, o dall'aggettivo, che l'accompagna. In questo caso si tratta di **stato di aggregazione**: solido, liquido, gassoso, ecc. I **passaggi di stato** sono: liquefazione/solidificazione; evaporazione/liquefazione; sublimazione/solidificazione) http://www.treccani.it/enciclopedia/stato_res-fd6c0332-edd7-11df-9962-d5ce3506d72e/.

- In base al principio che utilizzano
- In base alle caratteristiche tecniche che li contraddistinguono,
 - Per l'uso che se ne deve fare

Le **caratteristiche tecniche** di qualunque strumento di misurazione, e quindi anche dei termometri sono:

Sensibilità: la minima variazione rilevabile con lo strumento. Nei termometri analogici corrisponde alla tacca *più piccola* di cui la scala dello strumento è dotata.

Portata: massimo intervallo che lo strumento può misurare: distanza fra il massimo ed il minimo valore segnati sulla scala

Prontezza: rapidità con cui lo strumento riporta la misura (ad es. un termometro ad alcool sarà più pronto di un termometro a mercurio).

Precisione: uno strumento è tanto più preciso quanto minore è lo scarto (la differenza) fra i valori riportati in una serie di misure ripetute. Oppure: il rapporto fra la sensibilità e la portata: minore è il rapporto maggiore la precisione.

2 Calore e temperatura: due grandezze da distinguere

Calore e temperatura sono concetti che il linguaggio parlato confonde: si dice che un corpo è *più caldo* di un altro per indicare che ha una *temperatura maggiore* e si chiamano *sorgenti di calore* quei sistemi utilizzati per *scaldare*, quindi *aumentare di temperatura*, altri corpi. La confusione aumenta nella misura in cui, normalmente, utilizziamo il nostro **tatto** per confrontare lo stato termico degli oggetti che ci circondano e, avete visto già in laboratorio, tale *strumento* è utile per confrontare le temperature di sostanze uguali oppure ci dà informazioni sul grado di conducibilità termica (cfr pag. 7) di sostanze differenti.

Calore e temperatura sono due grandezze *correlate*, ma non sempre: il calore infatti necessita di un **dislivello di temperatura** per fluire: ponendo a contatto corpi con la stessa temperatura, fra di essi non fluirà calore; ma fornendo a un corpo calore non è detto che la temperatura del corpo aumenti: avete visto come il ghiaccio, finché non è passato completamente allo stato liquido, non cambia temperatura: resta a 0°C. Eppure sta assorbendo calore (dall'ambiente o da quel che sia)!

Lontano dalle temperature dei passaggi di *stato di aggregazione*, dunque, calore e variazione di temperatura sono correlati ma hanno caratteristiche fisiche differenti:

Temperatura	VS	Calore
Ascrivibile a un corpo (o sistema di corpi) solo in presenza di uno stato ⁷ di equilibrio termico.		Ascrivibile all'interazione fra corpi solo in presenza di un dislivello di temperatura (cioè se il sistema di corpi <u>non</u> è in equilibrio termico)
Grandezza di STATO: assieme a pressione, volume, numero di moli, definisce lo stato termodinamico di un corpo.		Energia che <i>modifica</i> lo stato (o termodinamico o di aggregazione): l' energia interna di un corpo. Cfr il lavoro in meccanica.
Nel S.I. si misura in <i>kelvin</i>		Nel S.I. si misura in Joule
Grandezza intensiva http://it.wikipedia.org/wiki/Grandezza_intensiva		Non è né una grandezza intensiva né una grandezza estensiva perché non può attribuirsi a un sistema, ma solo a interazioni (eventuali) fra componenti del sistema

⁷ In questo caso la parola STATO si riferisce alla situazione (di equilibrio) del corpo stesso. Le altre grandezze che definiscono lo **stato termodinamico** sono: pressione, volume, numero di moli.

3 Calore e temperatura: quali punti di *contatto*?

Sinora ci siamo occupat* di evidenziare le differenze fra i concetti di calore e temperatura. Esaminiamo ora però che legame c'è fra queste grandezze. Cominciamo con l'analizzare che interpretazione viene data della temperatura e del calore – sinora riferiti a corpi e sostanze, cioè considerati grandezze **MACROSCOPICHE** - in ambito **MICROSCOPICO**.

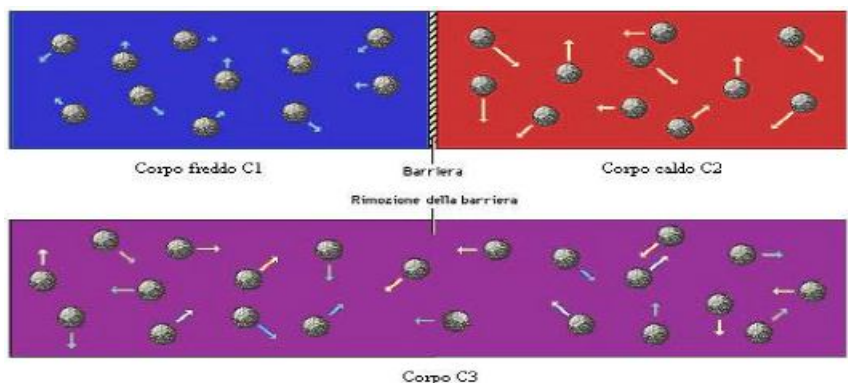
Calore e temperatura sono grandezze afferenti le particelle che compongono la materia e, in particolare, hanno entrambe a che fare con il moto di **agitazione termica**⁸ di tali particelle.

La **temperatura** è correlata all'**energia cinetica media** delle molecole.

Di più: la **temperatura assoluta** (cioè espressa in kelvin) di un corpo è direttamente proporzionale all'**energia cinetica media** delle **molecole** che compongono il corpo.

Abbiamo detto che accostando due corpi (solidi), a temperature differenti, avverrà un passaggio di **calore** dal corpo più *caldo* al corpo più *freddo*.

A livello molecolare questo **trasferimento di calore** corrisponde al fatto che le molecole del corpo più caldo - che hanno un'**energia cinetica media** maggiore - urtando nella zona di contatto fra i corpi le **molecole del corpo più freddo** - che hanno un'**energia cinetica media minore** - trasferiscono loro parte della propria energia cinetica.



Questo trasferimento di energia si propaga poi alle molecole vicine alla zona di contatto fra i corpi finché l'**energia cinetica media del sistema** formato dai corpi a contatto non è la stessa e cioè, tornando al livello *macroscopico*, finché la **temperatura** non è **costante** in ogni punto del sistema e resta **invariata** nel tempo (cioè il sistema è in **equilibrio termico**: quanto descritto è l'interpretazione microscopica del **principio zero della termologia**).

Le molecole del corpo *più caldo* cedono, mediante urti successivi, parte della propria energia cinetica alle molecole del corpo *più freddo*. Questa fase di trasferimento mediante URTI fra molecole, a livello *macroscopico*, la chiamiamo **PASSAGGIO DI CALORE**.

	Temperatura di un corpo	Scambio di calore fra corpi inerti ⁹
Micro (statistica)	Energia cinetica media delle molecole	Scambio di energia cinetica medio fra molecole, mediate urti
Macro	Definisce lo stato termodinamico (con: pressione, volume e numero di moli)	Modifica lo stato termodinamico o lo stato di aggregazione

⁸ Nei **solidi** le particelle hanno un movimento "limitato", oscillando sempre attorno a posizioni fisse, nei **liquidi** il movimento è più "libero" e ancora di più nei **gas**. Ma, al di là delle differenze corrispondenti ai diversi stati di aggregazione della materia, le molecole non stanno mai FERME! Per la fisica classica potrebbero avere energia cinetica zero solo allo zero assoluto (valore zero della scala Kelvin), cioè a circa -273°C

⁹ Caso a parte quello delle **SORGENTI di CALORE**: dispositivi in grado di cedere o assorbire calore a *corpi inerti* senza modificare la propria temperatura, cioè il proprio stato termodinamico.

Si tratta di un *modello astratto* che però è approssimato sufficientemente bene da corpi di massa nettamente superiore ai corpi inerti con i quali vengono confrontati. Ad esempio un lago, rispetto a una bottiglia d'acqua, rappresenta una sorgente di calore; così come il nostro corpo in relazione al termometro per misurare la febbre.

Come spesso accade in fisica dunque, si dà una definizione **assoluta** (sciolta da riferimenti) e astratta (matematica) di un concetto che poi assume significato fisico propriamente detto nella **relazione** fra grandezze.

4 Calore e temperatura: una relazione quantitativa

Una volta chiarite - spero sul serio - le differenze fra i concetti di **calore** e **temperatura** cerchiamo una *relazione quantitativa* tra queste grandezze fisiche.

In qualsiasi fenomeno di riscaldamento, **calore** e **temperatura** non sono le uniche variabili coinvolte: il fenomeno avrà differente esito a seconda del **tipo di materiale**, della quantità di questo materiale (**massa**), del **volume** che occupa e della **pressione** cui è sottoposto.

Per rendere le cose più facili, per ora, consideriamo che pressione e volume non variano con la temperatura.

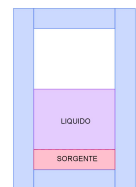
Perché ciò sia credibile supponiamo di lavorare con **solidi** o **liquidi** (se ci occupassimo di gas sarebbe molto più imbarazzante supporre che volume e pressione non varino!).

Ribadiamo che ha senso cercare questa relazione solo per intervalli di temperatura che NON comprendano temperature proprie di passaggi di stato (e che differiscono da sostanza a sostanza: puoi trovare [qui](#) le temperature di fusione di alcuni solidi): finché il passaggio di stato non si è compiuto, infatti, anche se il corpo scambia (cede o assorbe) calore, non c'è variazione di temperatura.

Per intervalli di temperatura che **non** contengano temperature di passaggi di stato, il calore ceduto (assorbito) da una **sorgente** a una **sostanza inerte** ne provoca l'aumento (diminuzione) di temperatura: scambio di calore corrisponde a variazione di temperatura.

Per trovare la relazione che cerchiamo effettuiamo un **esperimento ideale**¹⁰

Materiali: contenitori - **adiabatici** in ogni parte tranne quella a contatto con la **sorgente di calore** - tutti uguali; liquidi diversi; *sorgenti di calore* (CFR nota 9) tutte uguali che non disperdano calore nell'ambiente e eroghino calore in maniera costante nel tempo¹¹.



Strumenti: bilancia; cronometro; termometro.

Per il nostro esperimento (come per tutti gli esperimenti in cui compaiono più di due variabili), lavoriamo a **variabili separate**: cioè teniamo costanti tutte le variabili tranne due; delle due variabili rimaste ne facciamo variare una sotto controllo (la **variabile indipendente**: x) e osserviamo come varia l'altra in relazione alla prima (la **variabile dipendente**: y), cioè MISURIAMO i valori dell'altra.

Poiché vogliamo studiare come varia la temperatura, porremo $y = \Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ in ognuno degli *esperimenti ideali* che effettueremo.

La tabella sintetizza l'esito dell'esperimento:

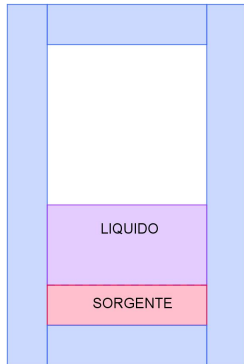
	$\Delta\theta$	$Q (\Delta t)$	m	Tipo di sostanza	Relazione tra x ed y
I.	y	x	Costante	Costante	$\Delta\theta \propto Q$
II.	y	Costante	x	Costante	$\Delta\theta \propto 1/m$
III.	y	Costante	Costante	x	-

Analizziamo i tre casi riportati in tabella.

¹⁰ Ora che abbiamo visto come il calore disperso segua una legge lineare, potremmo tentare di farlo proprio l'esperimento: dovrebbe dare esito decente e, forse, così capireste meglio!

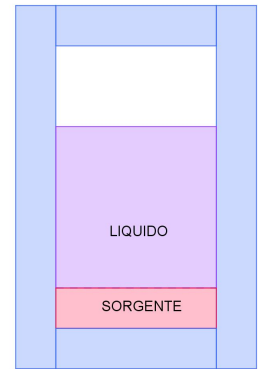
¹¹ Poiché non sappiamo misurare il calore erogato da una sorgente, ci serve supporre che il tempo sia direttamente proporzionale al calore ($Q \propto t$) perché in questo modo potremo avere una **misurazione indiretta** del calore: potremo misurare il tempo INVECE del calore. Tanto a noi non serve attribuire un valore numerico al calore: ci serve capire che tipo di relazione lo lega alla variazione di temperatura!

I. Quale relazione lega Q e $\Delta\theta$? Se al raddoppiare del tempo raddoppia anche la *variazione di temperatura*, al triplicare del tempo triplica anche la *variazione di temperatura*, ecc (oppure se il rapporto fra il tempo e la variazione di temperatura è costante; oppure se rappresentando su un piano cartesiano i valori rilevati e disegnando una **linea di interpolazione**¹², otteniamo una retta passante per l'origine) si conclude che calore e variazione di temperatura sono direttamente proporzionali: $\Delta\theta \propto Q$.



II. Quale relazione lega m e $\Delta\theta$?

Per realizzare un esperimento che risponda a questa domanda dovremmo servirci di più contenitori - contenenti lo stesso tipo di liquido - e più sorgenti. Ponendo infatti contenitori con masse differenti - dello stesso tipo di liquido - (nel disegno masse doppie l'una dell'altra) per lo stesso tempo su differenti sorgenti di calore, e misurando la variazione di temperatura che subirebbero i liquidi potremmo sapere che relazione lega



massa e variazione di temperatura.

Se al raddoppiare della massa la variazione di temperatura dimezza, al triplicare della massa la variazione di temperatura diventa un terzo, ecc (oppure se il prodotto fra massa e variazione di temperatura corrispondente è costante oppure se, disegnando una linea d'interpolazione dei i valori rilevati, otteniamo un'iperbole equilatera riferita agli assi) allora potremmo concludere che variazione di temperatura e massa sono inversamente proporzionali $\Delta\theta \propto m^{-1}$.

ES. Fissato a 30s l'intervallo di tempo in cui si osserva il fenomeno e che l'acqua sia la sostanza presa in osservazione, potremmo avere un risultato del genere:

m (x)	$\Delta\theta$ ($\theta_f - \theta_i$) (y)	θ
0	0°C	10(θ_i)°C
0.1 Kg	66°C	76°C
0.2 Kg	33°C	43°C
0.3 Kg	22°C	32°C

III. Quale relazione lega il **tipo di sostanza** e $\Delta\theta$?

Anche per realizzare questo tipo di esperimento ci servirebbero contenitori identici e sorgenti identiche per porre in parallelo sostanze differenti esposte per tempi uguali a erogazione di calore e misurare in che modo varia di conseguenza la temperatura. Il risultato questa volta dipende dalla struttura molecolare della sostanza.

ES: Se all'**acqua** affianchiamo una massa uguale di ferro possiamo convincerci facilmente che questo subisce una variazione di temperatura maggiore rispetto a quella che subisce l'acqua, a parità di tempo trascorso sul fornello.

$\Delta\theta_{Fe} > \Delta\theta_{H_2O}$. Questo perché il ferro è miglior *conduttore* di calore dell'acqua.

Vai a guardare di nuovo la tabella per avere una visione d'insieme dei risultati ottenuti.

Vediamo ora come la seguente formula prende in considerazione le quattro grandezze fisiche di cui ci siamo serviti nell'esperimento.

¹² Nelle attività scientifiche e tecnologiche, e in genere negli studi quantitativi di qualsiasi fenomeno, accade molto spesso di disporre di un certo numero di punti del piano ottenuti con un campionamento o con apparecchiature di misura e di ritenere opportuno individuare una curva che passi per tutti i punti dati o almeno nelle loro vicinanze. Questa curva si chiama **curva** (o linea) **d'interpolazione**.

