

FISICAST

per  
**SxT**

# Caldo e Freddo

di  
Riccardo Faccini



## Caldo e Freddo

*Riccardo Faccini*

### Abstract:

**Perché una cosa è calda ed una è fredda? Che cosa è la temperatura? Che cosa comporta riscaldare o raffreddare un oggetto? Perché un maglione riscalda? Domande banali con risposta non banale che ci porterà ad investigare la struttura microscopica della materia.**

### INIZIO

**Introduzione: Perché una cosa è calda ed una è fredda? Che cosa è la temperatura? Che cosa comporta riscaldare o raffreddare un oggetto? Domande banali con risposta non banale per Riccardo Faccini del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma ...**

**Q: Dopo il tempo e lo spazio, eccoci ad affrontare un nuovo argomento che sembra banale, ma che non è facile spiegare: cosa è la temperatura? Perché un oggetto è più caldo di un altro e come faccio a dirlo?**

A: Hai proprio ragione, esistono tanti concetti che usiamo quotidianamente, ma che poi se ci fermiamo a pensare, non sappiamo spiegare. La temperatura è uno di questi. Ti sei mai chiesta perché un corpo è caldo ed un altro è freddo?

**Q: Perché uno ustiona e l'altro è gelato al tatto?**

A: Questo è quel che può dire la maggior parte della gente, ma è una definizione poco soddisfacente. Per altro neanche corretta perché un oggetto particolarmente freddo ustiona anch'esso...

**Q: Ma sono sicura che ora tu ci permetterai di dare una risposta più profonda!**

A: Ci provo, e per farlo parto dal concetto di temperatura. E comincio ponendoti una domanda: "La temperatura è una proprietà di un oggetto nel suo complesso oppure di una sua parte?". Cioè facciamo un esempio specifico: se considero un oggetto metallico, per esempio un mestolo, posso dire che il mestolo ha una data temperatura, oppure devo parlare di temperatura del manico e della conchetta all'altra estremità?

**Q: Beh, se fatto bene, quando immergo il mestolo nella minestra il manico rimane freddo mentre la conchetta si scalda, quindi immagino che la temperatura non sia una caratteristica del mestolo ma delle sue parti.**

A: Quasi... in realtà dipende! Cominciamo considerando un mestolo interamente metallico riposto dentro un cassetto della cucina. Se tocchi il manico o la conchetta avrai

la stessa sensazione, dirai che sono alla stessa temperatura, diciamo che avrai la stessa percezione termica.

**Q: Sicuro! In realtà però molti mestoli hanno il manico di un materiale diverso, tipicamente plastica, ed in questo caso il manico è meno freddo della conchetta.**

A: Non è vero, il metallo e la plastica in questo caso hanno la stessa temperatura, ma questa è una storia diversa, che riprenderemo più tardi. Teniamo però presente questa confusione: la percezione di caldo e di freddo è una cosa diversa dalla temperatura e solo quest'ultima è misurabile.

Per ora consideriamo un mestolo interamente metallico riposto nel cassetto. In questo caso si può parlare di temperatura del mestolo intero.

Se però hai appena finito di servire una minestra calda, la conchetta darà una sensazione molto più calda del manico. Non c'è una separazione netta perché avvicinandoci alla conchetta il metallo sarà via via più caldo... semplicemente la situazione non è di equilibrio.

Se però il mestolo viene gettato in abbondante acqua, ben presto ne avrà la stessa temperatura e tutto il mestolo tornerà ad avere la stessa temperatura. Se cioè si lasciano a contatto due oggetti per un po', allora si parla di situazione di equilibrio termico. Possiamo concludere che a questo punto posso parlare di temperatura dei due oggetti e che essa è la stessa per entrambi.

Che succede se poi immergo nella stessa acqua una forchetta metallica senza che essa tocchi il mestolo?

**Q: Dopo un po' la forchetta sarà alla stessa temperatura dell'acqua.**

A: Esatto. E cosa ti aspetti succeda tra mestolo e forchetta?

**Q: Che anche essi raggiungano l'equilibrio.**

A: Esatto: acqua, mestolo e forchetta saranno alla stessa temperatura (anche se lievemente diversa da quella che si era raggiunta prima di buttare la forchetta in acqua). E l'equilibrio tra forchetta e mestolo si è raggiunto nonostante non si siano mai toccati, ma abbiano toccato entrambi l'acqua. Questo è il principio zero della termodinamica: se un corpo (nel nostro caso l'acqua) è simultaneamente in equilibrio con due altri corpi (il mestolo e la forchetta) allora questi ultimi due sono in equilibrio tra loro. È un principio, cioè non si dimostra, ma si ritiene corretto sulla base dell'esperienza sensoriale quotidiana.

**Q: Beh a me sembra un po' scontato come principio: sembra dire che se dopo un po' che si attende due oggetti sono entrambi uguali ad un altro allora sono tutti e tre uguali.**

A: No, non è così scontato, anche perché non stiamo parlando di eguagliarsi, ma di raggiungere un equilibrio. Non per tutte le proprietà fisiche vale un principio analogo a

questo. Se infatti ho tre magneti, se due di essi attraggono il terzo, tra di loro si respingono e non si attraggono, come prevedrebbe un principio equivalente al principio zero.

In ogni caso, mi sembra che posso dire che il "principio zero che ho enunciato" ti convince.

### **Q: Non c'è dubbio**

A: Allora in base ad esso, posso assegnare un'etichetta, diciamo un numero, ad ogni stato di equilibrio. Questa etichetta è comune a tutti gli oggetti che sono in questo stato di equilibrio. A questa etichetta diamo il nome di temperatura.

### **Q: Detto così però l'etichetta sembra arbitraria, come viene scelta?**

A: La domanda equivalente per un fisico è: se ho due vasche di acqua sufficientemente distanti da non poterci immergere in rapida sequenza la mano, come faccio a stabilire qual è più calda? Ovvero come faccio a dimostrarti che un pezzo di metallo ed uno di plastica a contatto tra loro sono alla stessa temperatura anche se la tua percezione dice il contrario?

### **Q: Uso un termometro.**

A: Esatto. Consideriamo per semplicità il buon vecchio termometro a mercurio ormai fuori legge. Il mercurio ha la bellissima proprietà che più caldo è l'oggetto con il quale viene posto in equilibrio, più aumenta il suo volume. In realtà tutte le sostanze hanno questa proprietà, ma nel caso del mercurio essa è particolarmente evidente alle temperature che ci interessano. Quindi se pongo una colonnina di mercurio in equilibrio con le due vasche di acqua e misuro il volume del mercurio nei due casi, l'acqua più calda è quella corrispondente al volume maggiore.

Quindi posso usare la misura del volume del mercurio come etichetta per lo stato di equilibrio termico di un corpo. Se opportunamente tarata questa è la misura della temperatura e si misura in gradi centigradi, o Fahrenheit nel mondo anglosassone.

### **Q: Se ricordo bene la scala in gradi centigradi pone la temperatura dell'acqua ghiacciata a zero gradi, quella dell'acqua in ebollizione a cento gradi ... ma quella anglosassone?**

A: Il fisico tedesco Gabriel Fahrenheit stabilì che lo zero della scala dovesse essere la temperatura di fusione di una mistura di acqua e sale in parti uguali (cioè a -32 gradi centigradi) mentre fissò a 96 gradi la temperatura del sangue di cavallo (35.6 gradi centigradi).

### **Q: Bene, ora è chiaro cosa è la temperatura: è una etichetta assegnata agli stati di equilibrio e la si misura sfruttando la risposta caratteristica di alcuni materiali quali il mercurio.**

A: Brava, questo è quello che ti ho spiegato finora. Peccato che a ben pensarci non ti ho fatto capire cosa è veramente, ti ho solo detto come si definisce e come si misura.

Ma, come molti dei concetti che si introducono a partire da esperienze quotidiane, esso altro non è che una approssimazione di quel che avviene a livello microscopico.

Per capire cosa avviene nella realtà, immaginiamo un'altra esperienza possibile. Immaginiamo che una ruota stia girando attorno al proprio asse liberamente e che io ci appoggi sopra una tavoletta premendo fintanto che la ruota non si ferma. Se a questo punto tocchi la tavoletta o la ruota, cosa ti aspetti?

**Q: Che sia la tavoletta che la ruota si siano riscaldate.**

A: Esatto, cioè la temperatura della tavoletta e della ruota cresce man mano che la ruota rallenta. Quindi il movimento della ruota si è "trasformato" in qualche modo in riscaldamento della tavoletta e della ruota. Per dirlo in termini più rigorosi, la temperatura è legata al movimento di ciò che compone i corpi, gli atomi e le molecole.

Per capirlo meglio immaginiamo che la stessa ruota invece di fermarsi strofinando contro una tavoletta, rotoli e si fermi andando a sbattere contro una palla attaccata ad una molla a sua volta fissa all'altro capo. Una sorta di punching-ball per capirci. Cosa ci immaginiamo succeda?

**Q: Che la palla attaccata alla molla cominci a rimbalzare avanti e indietro.**

A: Esatto, il moto della ruota è stato trasferito alla palla ed essa comincia ad oscillare. Lo stesso meccanismo spiega perché quando la ruota si ferma strofinandosi sulla tavoletta quest'ultima si riscalda. Dimentichiamoci per semplicità del fatto che la ruota si riscalda.

Le forze elettriche che tengono insieme gli atomi della tavoletta fanno sì che a tutti gli effetti i nuclei atomici si comportino come tante palline attaccate tramite delle molle a dei paletti: essi vengono richiamati verso quelle che si chiamano le loro posizioni di equilibrio. In pratica gli atomi della tavoletta si comportano come tanti punching-ball. Di per sé sono sempre in moto, ma quando vengono urtati dalla ruota, oscillano maggiormente, aumentando in media la velocità con cui lo fanno.

La misura della temperatura altro non fa che quantificare questo effetto.

**Q: Ma il mercurio del termometro non si muove avanti e indietro: diventa più lungo!**

A: Beh cominciamo dicendo che l'effetto di questo aumento di velocità non è generalmente visibile perché quando riscaldo un oggetto i nuclei che vengono accelerati sono miliardi di miliardi di miliardi. E ciascuno si muove in una direzione diversa dall'altro e per lunghezze di circa un miliardesimo di centimetro.

Detto questo ti devo confessare che quella di prima era una approssimazione abbastanza brutale. Nella realtà riscaldando un corpo non provo solo l'aumento della velocità degli atomi. Una parte dell'energia ceduta (chiamata "calore") viene spesa per tenere più lontani tra loro gli atomi. Se infatti degli atomi formano un corpo è perché tendono ad attrarsi tra loro. Scostarli costa fatica, cioè energia.

**Q: Fammi un esempio, ti sto perdendo.**

A: Provo a spiegarmi con una analogia. I corpi sono attratti dalla terra dalla forza di gravità.

Quando lancio un corpo verso l'alto, tanta più energia ci metto tanto più in alto, cioè lontano dalla terra, esso va.

Analogamente per scostare tra loro atomi o molecole di un materiale occorre dare loro energia. Scaldare un corpo è un modo per farlo.

**Q: Ah e dunque il mercurio si allunga perché' in media aumentando la temperatura la distanza tra i suoi atomi aumenta**

A: Esatto. Ci sono materiali in cui questo è più evidente ed altri meno. Il mercurio è stato scelto per i termometri perché presenta questo effetto in modo particolarmente evidente.

Ora portiamo avanti questa riflessione. Che succede se insisto a riscaldare un corpo?

**Q: Gli atomi si allontanano sempre di più ...**

A: ... fino a staccarsi tra loro. Continuando la similitudine di prima con la forza di gravità: se lancio un razzo dalla terra con sempre maggiore forza ad un certo punto esso non ritornerà più sulla terra.

Riepilogando, immaginiamo di avere una sostanza allo stato solido. Quando la riscaldo essa inizialmente si allunga, poi si scioglie, cioè il legame tra le molecole diventa debole e la sostanza diventa liquida ed infine, quando le molecole smettono di essere legate tra loro, diventa un gas. Questa trasformazione si chiama passaggio di stato.

**Q: Ah dunque qualunque oggetto può essere solido, liquido e gassoso?**

A: Praticamente sì, è solo differente la temperatura alla quale si passa da solido a liquido o da liquido a gas: per alcuni materiali, come ad esempio per l'acqua, la temperatura di fusione è minore della temperatura ambiente, mentre per altri lo è perfino quella alla quale diventano gassosi, come ad esempio per l'anidride carbonica. Per questo nella esperienza quotidiana alcuni oggetti sono sempre solidi altri sempre liquidi o gassosi. Se però abbassiamo la temperatura dell'anidride carbonica fino ad una temperatura di -78 gradi centigradi, essa diventa solida (il famoso "ghiaccio secco"). Per contro, se riscaldo del ferro ad una temperatura di 1600 gradi centigradi, esso diventa liquido.

Aumentando la temperatura si passa tra i vari stati (solido, liquido e gassoso) ed in ogni caso maggiore è la temperatura, maggiore è la velocità delle particelle che compongono il corpo.

È particolarmente interessante il caso dei gas perché è relativamente semplice da quantificare. In questo caso le molecole sono tutte libere di muoversi e di rimbalzare ovunque senza legame tra di loro. Si sa quindi facilmente tradurre la temperatura in velocità tipica delle particelle. Per esempio, in una stanza a 25 gradi l'aria è tale che le sue molecole si muovono a circa 400 metri al secondo, ovvero a circa 1500 km orari,

in direzioni tutte diverse tra loro e rimbalzando su tutto ciò che le circonda. In una gelida giornata invernale a -20 gradi centigradi la velocità tipica sarà calata. Se mi faccio i conti il calo sarà circa di un dodicesimo, da 400 a 370 metri al secondo.

Tanto che anche variando di pochi gradi la temperatura dell'aria, la maggiore velocità delle sue particelle fa sì che esse tendano a occupare un volume maggiore dell'aria più fredda. Se dunque riscaldo dell'aria essa tenderà ad essere più leggera ed a salire. Con questo principio i termosifoni riscaldano tutta la stanza e le mongolfiere salgono in cielo.

**Q: Ok allora scaldare qualcosa vuol dire fare andare più velocemente gli atomi e le molecole che lo compongono. Ma allora raffreddando un oggetto potrei fermarne gli atomi?**

A: Perché gli atomi si fermino del tutto bisogna scendere a -273 gradi centigradi, quello che si chiama lo "zero assoluto", temperatura minima assumibile da qualunque corpo.

**Q: Davvero esiste una temperatura sotto la quale non si può andare? Ma se continuassi a raffreddare?**

A: Ebbene sì, non si può raffreddare ad oltranza, esiste una temperatura minima assumibile. Più ci si avvicina allo zero assoluto più è difficile raffreddare un oggetto, fino a diventare impossibile. D'altronde se si capisce che la temperatura è una misura di velocità degli atomi, una volta che essi sono fermi, non si possono ulteriormente fermare ...

**Q: Ed una temperatura massima c'è?**

A: No, in linea di principio no. Ma per darti un'idea degli ordini di grandezza la temperatura superficiale del sole è di 5200 gradi centigradi.

**Q: Chiaro, grazie. Manca ora solo la risposta ad una domanda che ti feci verso l'inizio. Perché un pezzo di metallo è più freddo di un pezzo di plastica anche se sono in contatto, ovvero, come diresti tu, all'equilibrio?**

A: Non è vero che è più freddo: essi sono alla stessa temperatura, ma il nostro tatto percepisce il metallo come più freddo. Per capire perché, occorre tirare in ballo un altro concetto che è già stato introdotto nella puntata sulla "Fisica della Sobrietà", quello di conducibilità termica. Non potendo entrare in dettaglio ora, solo per completare il discorso fatto, basti dire che nel caso dei metalli gli elettroni tramettono energia termica (chiamata "calore") molto più velocemente che nella plastica. Dunque, il mio dito percepisce che qualcosa sta sottraendo calore più in fretta nel caso del metallo ed attribuisce a questo una minore temperatura. Ma questo non è vero. Il problema è che il tatto non misura la temperatura ma la velocità con cui viene assorbito o ceduto il calore. A parità di materiale e di tutte le altre condizioni, le due cose sono equivalenti, ma non in generale.

Un altro esempio classico è la sensazione di fresco che si ha sventolandosi con un ventaglio: l'aria messa in moto dal ventaglio non è certo più fresca di quella ferma. Ma diventa più rapida l'evaporazione del mio sudore e dunque la cessione del calore da me all'ambiente esterno. Questo provoca la sensazione di fresco.

Per contro, se ti metti un maglione allora hai una percezione di caldo. Perché? Il maglione non raggiungerà forse l'equilibrio con il resto della stanza?

**Q: Ah, in effetti non ci avevo pensato, perché?**

A: Con il maglione senti più caldo perché il calore che emette il tuo corpo si disperde più lentamente nell'ambiente: il maglione (come anche la pelliccia degli animali) immagazzina aria e l'aria conduce poco calore.

Vedi dunque come è importante quantificare un concetto con una misura piuttosto che affidarsi alle percezioni...

**FINE**