

esaurisce con l'attività tecnica dei laboratori, ma prevede anche un forte impegno nella formazione metrologica, settore in cui la nostra fondazione è stata per tanti anni protagonista.

Voluta dagli industriali lombardi dell'inizio del secolo scorso, la Fondazione Emit Feltrinelli opera a Milano dal 1908; nata come Scuola Industriale Milanese – o *Scola de legn* come la chiamava amichevolmente la gente – negli anni successivi ha assunto l'attuale nome, legandosi indissolubilmente alle attività sociali della famiglia Feltrinelli.

Il primo obiettivo statutario è quello dell'incremento dell'istruzione tecnica che deve essere raggiunto senza pesare economicamente sull'amministrazione pubblica e a costi che siano adeguati per le aziende. Questo meccanismo virtuoso permette di formare ogni anno centinaia di professionisti, in attività o in cerca di occupazio-

ne: i ricavi che si ottengono da quanto pagano le aziende sono reinvestiti per inserire persone che sono ai margini del mondo del lavoro.

È da queste premesse che Emit intende tornare a giocare un ruolo importante nel settore della formazione metrologica, convinti che l'indipendenza economica dai produttori di strumenti e la competenza di chi fa questo mestiere da oltre cent'anni possa essere un plus per le aziende che ci concederanno la loro fiducia. Già da tempo all'interno dell'area formazione opera un gruppo dedicato alle attività metrologiche con risultati sempre più incoraggianti; si tratta ora di ripartire e giocare una nuova partita; come diceva Rick Blaine – Humphrey Bogart – alla fine di Casablanca: *play it again, Sam!*

TEMPERATURA: unità e scala

di Alessandro Balsamo

L'unità di temperatura definita nel Sistema Internazionale (SI) è il kelvin, simbolo K (attenzione: *kelvin*, non grado kelvin, con simbolo K e non °K). Esso è definito, dal 1968, come "... la frazione 1/273,16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua." [1]. Il punto triplo è la condizione di equilibrio fra le tre fasi solida (ghiaccio), liquida e aeriforme (vapore); in essa, la temperatura non dipende dalla pressione (come invece al punto d'ebollizione e di congelamento) ma è unica, e si presta a definire lo zero della scala. Dunque, il punto triplo dell'acqua si trova a temperatura $T_{TPW} = 273,16$ K per definizione. Per le temperature termodinamiche hanno senso i rapporti: ad esempio, un gas che si trovi alla temperatura T_1 pari al doppio di quella di un uguale quantitativo dello stesso gas, $T_1 = 2T_2$, possiederà il doppio di energia interna.

La temperatura termodinamica, per quanto nobile ed esatta, non corrisponde al nostro sentire comune: siamo abituati al valore numerico 0 per il ghiaccio e 100 per l'acqua bollente (che in passato erano effettivamente gli estremi della temperatura espressa in gradi centigradi).

Per venire incontro a questa esigenza, il SI consente una semplice traslazione della scala, e fissa un nuovo zero al ghiaccio fondente; il valore di tale traslazione è fissato a $T_0 = 273,15$ K, cioè 0,01 K più freddo del punto triplo dell'acqua (è fissato per definizione perché la temperatura del ghiaccio fondente in realtà varia leggermente con la pressione). S'ottiene così la temperatura Celsius, $t = T - T_0$, che ha il grado Celsius, simbolo °C, come unità di misura. L'ampiezza del kelvin e del grado Celsius sono uguali per definizione, quindi una differenza di temperatura ha lo stesso valore nelle due unità (ad esempio, $\Delta t = 0,1$ °C = $\Delta T = 0,1$ K). Ne risulta anche che il ghiaccio fondente si trovi a 0 °C = 273,15 K, mentre lo zero assoluto a 0 K = -273,15 °C.

A causa della traslazione della scala, i rapporti fra temperature, che hanno senso per quelle termodinamiche, non ne hanno per quelle celsius: ad esempio, i 21 °C di una giornata primaverile non sono tripli dei 7 °C

di una invernale. Attenzione a non confondere il grado Celsius con il grado centigrado. Il primo, come detto, è unità in vigore pari al kelvin, a meno di una traslazione di scala; il secondo non è più in vigore, esprimeva la suddivisione in 100 parti dell'intervallo di temperatura fra il ghiaccio fondente e l'acqua bollente, e non ha relazione formale con il kelvin. La C presente nel simbolo °C si riferisce a Celsius e non a centigrado (e infatti è maiuscola: Anders Celsius era un astronomo svedese del '700).

Le misurazioni termodinamiche assolute sono assai complesse da effettuare; ad esempio mediante un termometro a gas (di una quantità di gas, al variare della temperatura varia la pressione a parità di volume, o il volume a parità di pressione) oppure a rumore (il rumore elettrico cui è soggetto un componente elettrico è proporzionale alla sua temperatura). Per l'uso pratico, serve una scala aderente a quella termodinamica ma più facilmente utilizzabile. Questa è la ITS 90 [2]. Il campo di temperature d'interesse più frequente è fra il punto triplo dell'idrogeno, 13,803 3 K, e quello di congelamento dell'argento, 961,78 °C; in esso la scala è realizzata mediante un termometro a resistenza di platino, che varia la sua resistenza elettrica al variare della temperatura. La risposta caratteristica resistenza-temperatura di tali termometri, normalizzata al valore al punto triplo dell'acqua, risulta largamente indipendente dal termometro, sicché si può definire una caratteristica nominale per un termometro ideale di platino purissimo. Lungo la scala, sono definiti numerosi punti fissi, cioè altrettante temperature di passaggi di fase di varie sostanze. Per la metrologia dimensionale, interessa un campo di temperature assai ristretto intorno ai 20 °C, che nella ITS 90 si colloca nel campo fra 0 °C e il punto di fusione del gallio, 29,764 6 °C. In questo campo, la risposta caratteristica del termometro è ottenuta da quella nominale mediante una correzione lineare individuale, che interpola i valori ottenuti in taratura ai due punti fissi estremi del campo (acqua e gallio).

In definitiva, il termometro lavora intorno ai 20 °C interpolando i valori ottenuti in taratu-

ra ai due punti fissi. Per quanto la ITS 90 sia ben più pratica della realizzazione termodinamica, ancora è complicata per molte applicazioni. Si ricorre allora a "termometri non ITS 90" senza vincoli su principio di funzionamento e risposta caratteristica; per garantire la riferibilità, questi devono essere tarati per confronto con un "termometro ITS 90", direttamente o indirettamente attraverso uno o più termometri intermedi. In definitiva, la scala ITS 90 è il raccordo fra la definizione e la realizzazione dell'unità SI kelvin; come si dice nel gergo dei metrologi, la sua *mise en pratique*.

Riassumendo:

- L'unità di misura SI della temperatura termodinamica è il kelvin (K).
- Per ragioni storiche di familiarità ai valori, è ammessa una traslazione di scala ad ottenere la temperatura Celsius, con unità il grado Celsius (°C).
- Per ragioni pratiche, la scala ITS 90 è realizzata mediante la sequenza di punti fissi (passaggi di fase) di materiali diversi, le cui temperature sono interpolate da apposito strumento.
- Nel campo d'interesse per la metrologia dimensionale, sono d'interesse due punti fissi soltanto, quello triplo dell'acqua e quello di fusione del gallio; l'interpolazione è effettuata da un termometro a resistenza di platino di sufficiente purezza.
- Nella pratica quotidiana, i termometri rispondono spesso a caratteristiche diverse e più maneggevoli della ITS 90. La ITS 90 costituisce una realizzazione primaria dell'unità; un termometro "non ITS 90" ottiene la riferibilità al kelvin mediante confronto, diretto o indiretto, con un termometro ITS 90.

Riferimenti

- [1] BIPM – Bureau Internationale des Poids et Mesures, *The International System of Units, SI*, Brochure 8^a edizione, 2006.
- [2] H. Preston Thomas, 1990, *The International Temperature Scale of 1990 (ITS 90)*, Metrologia 27, 3 10.