



LA RIVOLUZIONE DELLE MISURE

FABRIZIO CANTELMÌ

Con l'entrata in vigore, lo scorso anno, del nuovo Sistema Internazionale delle unità di misura (SI) sono cambiate le definizioni delle sette unità fondamentali che utilizziamo per calcolare tempo, peso, spazio, energia (chilogrammo, metro, secondo, ampere, kelvin, mole e candela). Si tratta di una svolta epocale nella metrologia visto che, per la prima volta, le nuove procedure di misurazione sono più stabili perché basate su costanti fondamentali della fisica e non su oggetti fisici. Il Sistema Internazionale è da sempre in evoluzione per rispondere alle esigenze della scienza, dell'industria, del commercio e della società e quest'ultima ridefinizione darà alle nostre misure un fondamento non solo più solido, ma addirittura immutabile nel tempo e nello spazio.

La misurazione è un'operazione che tutti facciamo quotidianamente, ma spesso senza pensare esattamente a cosa stiamo facendo. Ad esempio, quando si misura la lunghezza di un mobile, non si fa altro che confrontare quella lunghezza con un'altra ritenuta fissa e standard, che è l'unità di misura (il metro).

Misurare una grandezza significa, quindi, confrontarla con altre, ad essa omogenee, scelte come riferimento e denominate unità di misura; il rapporto tra le grandezze considerate e l'unità di misura prescelta rappresenta la misura delle grandezze stesse. Esse non devono essere confuse con le scale di valutazione che, invece, non consentono operazioni di calcolo con le normali leggi algebriche. Per esempio: il decibel (dB) non è un'unità di misura è una scala, su di essa non si può operare con le normali regole di calcolo, infatti, ad esempio $10\text{dB} + 10\text{dB} = 13\text{dB}$. Quando utilizziamo le unità di misura del SI – come quando affermiamo che un corpo è lungo dieci metri – non stiamo facendo altro che esprimere una dimensione attraverso una formula algebrica, ovvero un prodotto, ma lo annotiamo in modo sottinteso: $L = 10 \cdot \text{m}$ ovvero $L = 10 \text{ m}$.

La standardizzazione delle unità di misura è stata una conseguenza alla necessità del mercato, diventato sempre più internazionale, di semplificare la comparazione tra le merci tra le diverse popolazioni; infatti, fino al XIX sec. ogni Paese utilizzava il proprio sistema. A tal fine nel 1860 fu creata in Francia la Conférence générale des poids et mesures (CGPM), ("Conferenza generale dei

pesi e delle misure”) a Sèvres (Parigi), nel “Bureau International des Poids et Mesures” (BIPM “Ufficio Internazionale di pesi e Misure”). Tale luogo divenne il centro metrologico del mondo, dove pervenivano, per essere conservati, tutti i campioni primari di ogni grandezza (dal metro, al kilo, al pollice, al piede ecc.), adottati come standard di riferimento definitivo. Il 20 maggio 1875 fu firmata dai rappresentanti di 17 paesi del mondo, tra cui l'Italia, la “Convenzione del Metro”, un trattato che poneva le fondamenta dell'attuale sistema di misurazione (condiviso oggi da oltre cento paesi del mondo). Nel 1889, nel corso della prima conferenza, fu messo a punto il sistema Mks che comprendeva il metro, il chilogrammo e il secondo.

Per ampliare questo sistema con le restanti quattro misure bisognerà aspettare quasi un secolo. È del 1935 la proposta dell'ohm per la resistenza elettrica, ad opera del fisico italiano Giovanni Giorgi, in seguito sostituito dall'ampere per misurare la corrente elettrica. Per il kelvin (misura della temperatura) e la candela (misura dell'intensità luminosa) si deve arrivare al 1954, con la decima conferenza generale dei pesi e delle misure. L'ultima aggiunta è la mole, unità per misurare la quantità di sostanza, introdotta nel 1972. Le grandezze definite dal SI (“Sistema Internazionale”) durante le conferenze successive, sono state soggette a perfezionamenti che non cambiano le dimensioni, ma descrivono il risultato con maggiore accuratezza. Il SI distingue per convenzione due tipi di grandezze: quelle fondamentali, per le quali le unità di misura sono dimensionalmente indipendenti, e le grandezze derivate per le quali le unità di misura sono definite tramite relazioni analitiche che le collegano alle unità fondamentali. Le unità derivate sono definite a partire dalle unità di base; unità derivate con nome sono ad esempio: newton $[N]=[m \cdot kg \cdot s^{-2}]$ forza e watt $[W]=[m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}]$ potenza; unità derivate senza nome sono ad esempio: metro quadro, m^2 area e metro al secondo, m/s velocità.

L'anno scorso – il 20 maggio 2019, per la precisione – quasi all'insaputa del grande pubblico,

IL NUOVO SISTEMA INTERNAZIONALE DELLE UNITÀ DI MISURA (SI)

Il nuovo SI, entrato in vigore il 20/05/2019, non è più basato sulla definizione di 7 unità di base, ma sui valori numerici fissi di un insieme di 7 costanti fondamentali. Secondo la nuova definizione il SI è un sistema di misura coerente in cui:

- La frequenza di transizione iperfine dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133, Δ_{cs} , è 9 192 631 770 Hz (hertz).
- La velocità della luce nel vuoto, c , è 299 792 458 m/s (metri al secondo).
- La costante di Planck, h , è $6,62607015 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (joule secondo= $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$).
- La carica elementare, e , è eguale a $1,602 176 634 \times 10^{-19}$ coulomb (A s).
- La costante di Boltzmann, k , è $1,380 649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ (joule al kelvin).
- La costante di Avogadro, N_A , è $6,022 140 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (mole $^{-1}$).
- L'efficienza luminosa, K_{cd} , della radiazione monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ è 683 lm/W (lumen per watt).

dove hertz, joule, coulomb, lumen e watt, con simboli rispettivamente Hz, J, C, lm e W, sono relativi alle unità secondo, metro, chilogrammo, ampere, kelvin, mole e candela (s, m, kg, A, K, mol e cd) con le relazioni:

- $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$;
- $\text{J} = \text{m}^2 \text{ kg s}^{-2}$;
- $\text{C} = \text{A s}$;
- $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{ m}^{-2} = \text{cd sr}$;
- $\text{W} = \text{m}^2 \text{ kg s}^{-3}$

La transizione non costituisce un semplice cambio delle unità di base. In tutti i sistemi di misura coerenti definiti in precedenza (CGS, MKS, SI), le unità di base erano “definite”: per ognuna di esse veniva scelta una definizione che era più o meno legata alla tecnologia per la sua realizzazione. In sede di realizzazione, presso il BIPM e gli istituti metrologici nazionali, e attraverso i confronti tra le varie realizzazioni si poteva definire un'incertezza sulla definizione dell'unità. (...) Nel nuovo SI i valori numerici delle sette costanti non hanno incertezza. L'uso delle costanti per la definizione delle unità permette di separare la definizione dalla realizzazione. (A. Sardi, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica INRiM, *La revisione del sistema internazionale di unità di misura*, 2020 p.20)



Rappresentazione grafica delle unità di base del SI: dalla situazione attuale alle costanti fondamentali. I simboli e i colori sono codificati (fonte: INRiM)

dopo una sessione plenaria a Versailles, dove si è svolta la Conferenza generale dei pesi e delle misure (Cgpm), i 62 paesi riuniti hanno approvato un nuovo Sistema Internazionale delle unità di misura (SI) arrivando a ridefinire, in questo modo, le sette unità di misura fondamentali che utilizziamo per calcolare tempo, peso, spazio, energia (chilogrammo, metro, secondo, ampere, kelvin, mole e candela). Si tratta di un cambiamento epocale nella metrologia, infatti, per la prima volta, le nuove procedure di misurazione sono “più stabili perché basate su costanti fondamentali della fisica che non cambiano nel tempo e non su oggetti fisici”. Queste le parole della direttrice scientifica dell’Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM), Maria Luisa Rastello, unica italiana a far parte anche del Comitato internazionale, che ha altresì precisato che l’Italia ha avuto un ruolo fondamentale in questa rivoluzione. Il nostro Paese “con l’INRiM, ha dato un prezioso contributo alla ricerca sulle costanti fondamentali, in particolare le costanti di Planck per la massa e di Boltzmann per il kelvin, unità di misura della temperatura”.

Se quindi, fino ad oggi, ad esempio, il peso è stato definito dal cosiddetto chilogrammo campione (ovvero un cilindro di platino-iridio custodito a Sèvres, in Francia) dal 20 maggio 2019 è compito della costante di Planck. Le modifiche tuttavia non riguardano tutte le misure: il chilogrammo, l’ampere, il kelvin e la mole si avvaleranno dei nuovi sistemi di misurazione; resteranno invariati quelli utilizzati per il metro, il secondo e la candela. Il riferimento alle costanti permetterà di avere campioni di riferimento non solo più stabili e precisi ma anche riproducibili ovunque, cioè a disposizione di qualsiasi laboratorio metrologico attrezzato.

Il cambiamento che è entrato in vigore nel 2019 non è un fatto insolito per il Sistema Internazionale. Da sempre è, infatti, in evoluzione per rispondere alle esigenze della scienza, dell’industria, del commercio e della società. A poco a poco sono stati abbandonati quasi tutti i riferimenti a fenomeni naturali o oggetti materiali – soltanto un campione fisico resisteva ancora, quello per l’u-

REGOLE DI SCRITTURA DELLE UNITÀ DI MISURA

Per definire correttamente la grandezza è basilare scrivere le unità di misura rispettando le seguenti regole:

- o i simboli vanno scritti distanziati dal valore numerico;
- o i simboli non devono mai essere seguiti da un punto;
- o i simboli si scrivono sempre dopo il valore numerico, mai prima;
- o le parole vanno scritte sempre in carattere minuscolo e prive di accento;
- o anche i simboli vanno scritti sempre in minuscolo, a esclusione di quelli che derivano dal nome dello studioso e hanno l’iniziale maiuscola (Newton = N, Pascal = Pa ecc.); il litro può essere indicato con “l” o “L”

ESEMPI DI ERRORI NELLA SCRITTURA DELLE UNITÀ DI MISURA

ERRATO				CORRETTO
m.35	35m.	35M	35mt	35 m
V 1,5	1,5 V.	v. 1,5	1,5 v.	1,5 V
25w	25w.	W25	w.25	25 W
37°C	37°			37 °C
m ² 15	15mq	15m ²	mt ² 15	15 m ²
20 m/sec	20m/s	m 20/sec	m/s 20	20 m/s

nità di misura della massa – e quindi sono cambiate le definizioni. Gli scienziati hanno appreso come calcolare con accuratezza sempre maggiore il valore delle costanti della fisica, rendendosi conto che potevano fornire un riferimento molto comodo per definire le unità di misura. La prima unità basata su una costante è stata il secondo, che ha abbandonato la definizione fondata sulla rivoluzione della Terra intorno al Sole, che a sua volta aveva soppiantato quella che faceva riferimento alla rotazione terrestre. Dal 1967 una transizione dell’atomo di cesio è la costante su cui si basa il secondo. Nel 1979 la candela ha trovato nel coefficiente di visibilità la propria costante. Dal 1983 il riferimento del metro, già definito da una barra di platino-iridio e poi da una lunghezza d’onda del krypton, è divenuta la velocità della luce, altra costante universale della fisica. Restavano da associare a costanti chilogrammo, ampere, kelvin e mole per rendere il SI omogeneo e, soprattutto, per dare alle nostre misure un fondamento non solo più solido, ma addirittura immutabile nel tempo e nello spazio.