

È cambiato il concetto di unità di misura?

Luca Mari

Tutto\_Misure, 4, 2024

[7.11.24]

La revisione del Sistema Internazionale (SI) delle unità è stata plausibilmente il principale risultato ottenuto negli ultimi anni dalla metrologia fondamentale, documentato nell'attuale, nona, edizione della cosiddetta "Brochure SI" (<https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure>). Il cambiamento più evidente è la nuova definizione dell'unità di massa, per cui la definizione che per molti anni era stata valida:

"The kilogram is the unit of mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram." ([https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/si\\_brochure\\_8.pdf](https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/si_brochure_8.pdf), 2.1.1.2)

è stata sostituita da:

"The kilogram, symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant,  $h$ , to be  $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$  when expressed in the unit J s, which is equal to  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ , where the metre and the second are defined in terms of  $c$  and  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ ."

(<https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/SI-Brochure-9.pdf>, 2.3.1).

Non torniamo qui a discutere delle ragioni di questo cambiamento, dei suoi benefici ma anche delle evidenti maggiori complessità che porta con sé, e discutiamo invece di una questione che venne posta durante lo studio della revisione del SI: *le nuove definizioni, strutturalmente così diverse dalle precedenti, implicano un cambiamento dell'idea stessa di cosa sia un'unità di misura, e quindi di cosa sia un valore di grandezza?*

Oppure questo cambiamento, pur importante, non è così radicale da richiederci di ripensare a cosa sono il metro, il chilogrammo, il secondo, e così via, che sono rimaste le entità che erano? Insomma, il fatto che la definizione precedente assumesse che il chilogrammo è la massa di un certo oggetto e che invece la nuova definizione non faccia più riferimento a oggetti ha delle conseguenze sul concetto di unità?

Nel corso dei lavori per la revisione del SI, il Comitato Consultivo per le Unità (*Consultative Committee for Units*, CCU, <https://www.bipm.org/en/committees/cc/ccu>) del *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) riconobbe la rilevanza di queste domande, ma non fu in grado di trovare una posizione di consenso, così che nulla venne cambiato nella presentazione proposta nella Brochure SI, identica a quella della versione precedente alla revisione del SI:

"The value of a quantity is generally expressed as the product of a number and a unit. The unit is a particular example of the quantity concerned which is used as a reference, and the number is the ratio of the value of the quantity to the unit." (2.1).

A proposito di queste due frasi notiamo che

- sulla linea di una tradizione che risale almeno al Trattato di Maxwell, la prima non chiarisce cos'è un valore di grandezza, ma indica solo come esso può essere espresso, e che
- nonostante che le nuove definizioni delle unità siano ben più astratte delle precedenti, la seconda mantiene che le unità di misura siano "particolari esempi di grandezze".

La questione era comunque considerata ancora aperta, e perciò l'obiettivo di chiarire i tre concetti ritenuti fondamentali – 'grandezza', 'unità di misura', e 'valore di grandezza' – nel 2020 venne affidato al *CCU Working Group on Core Metrological Terms* (<https://www.bipm.org/en/committees/cc/ccu/wg/ccu-wg-cmt>), che nel maggio di quest'anno è stato sostituito dal *CCU Task Group on Fundamental Concepts in Metrology* (<https://www.bipm.org/en/committees/cc/ccu/wg/ccu-tg-fcm>), entrambi costituiti ad hoc per questo compito.

Anche considerando i lavori da tempo aperti verso la nuova edizione del Vocabolario Internazionale di Metrologia (*International Vocabulary of Metrology*, VIM, <https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications>), da cui ci si aspetta che questi concetti siano definiti in modo appropriato, tutto ciò sembra una buona opportunità per raffinare e consolidare la conoscenza su qualche elemento cruciale della metrologia fondamentale.

Riassumo qui quello che, a mia conoscenza, è qualche aspetto significativo dello stato del dibattito.

## Grandezze

Il VIM usa il termine “grandezza” (in inglese: “quantity”) nel senso di ‘proprietà quantitativa’, e questa accezione non pare controversa (mentre rimangono controverse le condizioni che rendono quantitativa una proprietà, e in particolare se l’ordine sia sufficiente e quindi se il termine “grandezza ordinale” sia corretto, come l’attuale edizione del VIM assume; non discutiamo qui l’argomento). Pare anche generalmente accettata la polisemia del termine, che è riferito sia alle grandezze “in senso generale”, sia alle loro istanze. Diciamo infatti che sono grandezze sia la lunghezza e la massa, che sono grandezze generali, sia la lunghezza e la massa di un certo corpo, che sono appunto istanze della lunghezza e della massa rispettivamente (in questo contesto, si può intendere “istanza” come sinonimo di “esempio” o “caso”). Qualche dubbio rimane invece circa la relazione tra ‘grandezza generale’ e ‘genere di grandezza’ (in inglese: “kind of quantity”): anche se nei casi concreti si riferiscono alle stesse entità – la massa è una grandezza generale ed è anche un genere di grandezza –, i due concetti non sembrano identici, e un po’ di lavoro pare perciò ancora utile al riguardo. E poi rimane da chiarire meglio cosa siano le entità che sono istanze di grandezze generali, che il VIM nelle sue varie edizioni ha chiamato a volte “grandezze particolari” e a volte “grandezze individuali”. Anche a questo scopo si pone la questione di cosa siano le unità e i valori.

## Unità

Come abbiamo già considerato, è notevole che nella Brochure SI la presentazione delle unità come “particolari esempi di grandezze” – e quindi istanze di grandezze generali – sia stata mantenuta nonostante il rilevante grado di astrazione introdotto con le nuove definizioni. Il messaggio pare essere che il kilogrammo non cambia la sua natura, e, pur non essendo più definito come la massa di un certo oggetto, è comunque un’istanza della grandezza generale massa, cioè, più in breve, è una massa. In questa prospettiva lo schema adottato nella Brochure SI per la definizione delle unità di base:

“Il <nome dell’unità>, simbolo <simbolo dell’unità>, è l’unità della <grandezza generale>. È definito prendendo <numero> come valore numerico della <costante> quando espresso in <unità> ecc.”

non è così esplicito, e avrebbe potuto essere meglio strutturato come:

“Il <nome dell’unità> è la <grandezza> che si ottiene prendendo <numero> come valore numerico della <costante> quando espresso nell’unità <unità>”

per esempio:

“Il kilogrammo è la massa che si ottiene prendendo  $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$  come valore numerico della costante di Planck quando espresso in  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ , ecc.”

In questa prospettiva, il titolo della sezione della Brochure SI che introduce questi concetti, “Defining the unit of a quantity”, è ben scelto. Benché ampiamente diffuso, il termine “measurement unit” è infatti fuorviante, considerando si tratta appunto non di unità “di misurazione” ma di unità di grandezza: il metro è un’unità di lunghezza, il kilogrammo è un’unità di massa, e così via, e ovviamente lunghezza e massa sono grandezze, non misurazioni o misure.

Con ciò, il cambiamento introdotto con la revisione del SI non dovrebbe essere sottovalutato nelle sue implicazioni concettuali: per come le unità di base sono definite, si sta accettando che sia possibile identificare istanze di grandezze generali – le unità sono dunque tali – non solo come grandezze di particolari oggetti ma anche mediante altri criteri, e dunque che sia possibile riferirsi per esempio a una certa lunghezza o a una certa massa pur senza specificare alcun oggetto di cui questa lunghezza o questa massa sono proprietà. Si sta accettando insomma che esistano entità come una massa  $m$  che è il doppio di una certa altra massa, per cui il criterio con cui  $m$  è identificata in questo caso non dipende da alcun oggetto.

Il punto determinante qui è che essere proprietà di oggetti è dunque solo un possibile criterio di identificazione delle istanze delle grandezze generali, e perciò, del tutto plausibilmente, che la stessa massa possa essere identificata con criteri diversi: come la massa di un certo oggetto, come la massa di un altro oggetto, come la massa doppia della massa di un altro oggetto ancora, e così via. In questo senso, quando si dice che due oggetti hanno la stessa massa, avendo raggiunto questa conclusione per esempio perché si è visto che i due oggetti equilibrano una bilancia a due piatti, si sta allora sostenendo letteralmente quello che

si dice: esiste una massa che entrambi gli oggetti hanno. Ma se è così, tale massa, e dunque ogni istanza di ogni grandezza generale, è un'entità non situata spaziotemporalmente, in questo analoga a ogni grandezza generale.

### Valori

Una volta accettata questa posizione, la domanda circa cosa siano i valori di grandezza ha una risposta ovvia: sempre nel caso della massa, se il kilogrammo è una massa e le masse possono essere identificate non solo come proprietà di oggetti, è immediato riconoscere che per esempio il valore 2 kg non sia altro che la massa doppia del kilogrammo, e dunque sia esso stesso una massa. Insomma, i valori di massa sono masse, identificate non come proprietà di oggetti ma come prodotti (nel senso di “multipli possibilmente non interi”) di una massa scelta convenzionalmente come l'unità.

L'interpretazione di questi concetti fondamentali diventa con ciò semplice: se indichiamo con “ $m_A$ ” la massa dell'oggetto A, così come “ $m_A = m_B$ ” significa che c'è una massa identificata sia come la massa di A sia come la massa di B, “ $m_A = 2 \text{ kg}$ ” significa che c'è una massa identificata sia come la massa di A sia come la massa che è il doppio del kilogrammo. Questo ci fornisce anche una condizione di verità per queste equazioni: sono vere se e solo se la massa identificata a sinistra e a destra del segno di uguale è effettivamente la stessa (ovviamente si tratta di una condizione di principio, che non ci fornisce alcun criterio operativo per accertare la verità di queste equazioni; come sappiamo, accettare eventualmente che esista un valore vero per un misurando e conoscere tale valore vero non sono affatto la stessa cosa).

### Una conclusione preliminare

La posizione per cui le istanze di grandezze generali sono entità non collocate spaziotemporalmente e identificabili sia come proprietà di oggetti sia come valori di grandezza è impegnativa filosoficamente – è una forma di platonismo –, e infatti non è difficile rintracciare in letteratura (anche, qua e là, nelle varie edizioni del VIM) almeno due posizioni alternative.

Si può sostenere che ogni proprietà di un oggetto non possa che essere propria di quell'oggetto e solo di quell'oggetto, e che un'espressione come “ $m_A = m_B$ ” vada interpretata come una relazione di similarità: la massa di A e quella di B sono empiricamente indistinguibili, ma nonostante ciò rimangono distinte, proprio perché di oggetti diversi. Questo sembra condurre a un'interpretazione puramente rappresentazionale di espressioni come “ $m_A = 2 \text{ kg}$ ”: i valori di grandezza, come 2 kg, sono solo “simboli” per rappresentare informazione sul misurando.

Oppure, ancora assumendo che ogni proprietà di un oggetto debba essere propria di quell'oggetto e solo di quell'oggetto, si può sostenere che le proprietà quantitative abbiano esse stesse una proprietà che possono invece condividere, che in inglese è chiamata a volte “magnitude”. Insomma, come per altro sostiene l'attuale edizione del VIM, le grandezze sono proprietà che hanno una magnitude. In questo senso, un'espressione come “ $m_A = m_B$ ” va interpretata come una forma contratta di “ $\text{magnitude}(m_A) = \text{magnitude}(m_B)$ ” – le due masse sono diverse perché di oggetti diversi ma hanno la stessa magnitude –, e analogamente si può interpretare un'espressione come “ $m_A = 2 \text{ kg}$ ” come una forma contratta di “ $\text{magnitude}(m_A) = 2 \text{ kg}$ ”, concludendone perciò che i valori di grandezza sono “magnitude” di istanze di grandezze generali.

La scelta tra queste posizioni non è una questione che possa essere decisa dai risultati di un esperimento. Nondimeno, per facilitare la comunicazione e la comprensione reciproca ha senso che *una* di esse venga scelta, per una presentazione consistente dei contenuti della Brochure SI, del VIM, e dei documenti che a essi fanno riferimento (non è questo il contesto per un'analisi comparata più approfondita, ma, per quello che conta, il mio parere attuale è che le due posizioni alternative appena accennate pongono più problemi di quanti ne risolvano: la posizione derivata dalla Brochure SI è quella che dovrebbe essere adottata; ne potremo riparlarne).