

Il nuovo SI (seconda parte)
Luca Mari

Tutto_Misure, 3, 2015

[18.7.15]

Il nuovo SI (seconda parte)

Come ho ricordato nella prima parte di questo articolo, pubblicata sul numero 2/2015 di T_M, è in corso di realizzazione una revisione strutturale del Sistema Internazionale di unità (SI), che potrebbe completarsi nel 2018 con la pubblicazione di una nuova edizione della Brochure SI. La Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM) ha recentemente raccomandato di adoperarsi in una “campagna di sensibilizzazione rivolta alle diverse comunità di utenti e al pubblico generale” e per far sì che la nuova edizione della Brochure SI “presenti il SI revisionato in modo che possa essere compreso dai diversi possibili lettori senza comprometterne il rigore scientifico” [CGPM 2014]. Questa preoccupazione circa la comprensibilità del SI è certamente appropriata: le unità di misura definite nel SI hanno un ruolo letteralmente fondamentale anche nella vita quotidiana, ed è dunque auspicabile che chi usa valori di grandezze in metri, kilogrammi, ecc sia messo nelle condizioni di poter comprenderne il significato, al di là del fatto meramente convenzionale per cui il metro potrebbe essere inteso semplicemente come la distanza tra due tacche di certi oggetti rigidi e il kilogrammo come la massa di certi oggetti. In una situazione in cui la nostra esperienza è sempre più abilitata da strumenti tecnologici il cui funzionamento comprendiamo sempre meno, cercare di comunicare contenuti tecnico-scientifici in modo efficace pare davvero una responsabilità sociale. Nel caso della metrologia, ciò potrebbe quantomeno contribuire a ridurre l’ingenua e pernicioso assunzione, così diffusa, che esprimere informazione in forma quantitativa sia sufficiente a garantirne l’oggettività e perfino la verità...

Unità di misura e riferibilità metrologica

In quanto fondamento dei sistemi metrologici, le unità di misura devono garantire la riferibilità metrologica [VIM 2.41] dei risultati di misura: se con strumentazioni diverse impiegate da persone diverse in momenti diversi si ottiene uno stesso risultato di misura, tale risultato è riferibile a un’unità di misura se si può supporre che la grandezza misurata sia la stessa. Per esempio, la riferibilità metrologica garantisce che oggetti la cui lunghezza misurata è 2 m abbiano effettivamente la stessa lunghezza, anche se le misurazioni sono state effettuate con strumenti diversi. Ciò richiede che gli strumenti di misura siano opportunamente tarati, ma prima ancora che l’unità di misura sia definita in modo tale da essere realizzabile stabilmente da campioni molteplici in condizioni diverse. La stabilità della grandezza definita come unità e la realizzabilità di campioni sono dunque condizioni cruciali di un’appropriata definizione di un’unità di misura. Per migliorare queste condizioni nel corso del tempo i criteri di definizione delle unità sono stati raffinati, sviluppandosi intorno a due strategie. Il fatto che il nuovo SI proponga un’ulteriore, terza strategia mette in evidenza la radicale novità strutturale che prospetta: una anche breve presentazione di queste tre strategie, applicate al caso della lunghezza per semplicità, può essere un buon modo per avvicinarsi a passato, presente e prossimo futuro (plausibile) del SI.

La definizione delle unità di misura: prima strategia

L’unità di lunghezza può essere definita come la lunghezza di un determinato oggetto, che opera dunque da campione primario [VIM 5.4]: è stato il caso della barra di platino-iridio utilizzata come campione del metro dall’adozione della Convenzione del Metro, nel 1889, fino al 1960. La lunghezza realizzata dal campione primario è per definizione a incertezza nulla, e le catene di riferibilità [VIM 2.42] partono tutte da tale campione, il cui possesso e la cui gestione sono dunque condizioni politicamente delicate. Questa strategia è semplice da realizzare e da comunicare, ma si fonda sull’ipotesi che il campione primario non modifichi la sua lunghezza nel corso del tempo, condizione che a rigore nessun oggetto macroscopico può garantire. La conseguenza, al limite del paradossale, è che ogni instabilità del campione primario richiede la ritaratura di tutti i campioni derivati e quindi invalida tutte le misurazioni precedenti! Il kilogrammo è l’unica unità ancora definita in questo modo.

Seconda strategia

Questi gravi problemi giustificano la transizione a una diversa strategia, fondata su un modello che assume

che tutti gli oggetti di un certo tipo abbiano esattamente la stessa lunghezza. Poiché è ragionevole mantenere la lunghezza dell'unità definita in precedenza (un metro dovrebbe rimanere lungo un metro anche quando la definizione cambia) e non è plausibile che si trovi in natura un tipo di oggetti la cui lunghezza sia esattamente e stabilmente rappresentativa dell'unità, nella definizione entra in gioco un fattore moltiplicativo di adattamento: il metro è x volte la lunghezza degli oggetti del tipo y . E così tra il 1960 e il 1983 il metro è stato definito come un certo numero (1 650 763.73) di lunghezze d'onda di una certa radiazione (quella corrispondente alla transizione fra due livelli di un certo atomo in certe condizioni), dunque assumendo appunto tale lunghezza d'onda come una caratteristica costante di tale radiazione. Fino a quanto, alla luce dello stato delle migliori conoscenze disponibili, questa ipotesi di costanza si mantiene valida, chiunque sia in grado di riprodurre un oggetto del tipo y specificato nella definizione può realizzare l'unità, secondo una procedura detta *mise en pratique*, cioè appunto realizzazione della definizione dell'unità.

Una versione modificata di questa strategia è quella alla base della definizione attuale del metro, la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in una certa frazione (1/299 792 458) di secondo. Anche in questo caso si assume un modello, che ipotizza la costanza della velocità della luce, ma ora la grandezza costante non è più una lunghezza ma, appunto, una velocità. Il fatto che da una velocità si possa ottenere una lunghezza, fissando una durata temporale, non è banale, non ha nulla di convenzionale e precede la definizione delle unità: è conseguenza della conoscenza di un sistema di grandezze [VIM 1.3], cioè di un insieme di grandezze reciprocamente connesse attraverso relazioni, come appunto $v = dl / dt$. Tali relazioni, tipicamente nella forma di leggi fisiche, garantiscono la possibilità di definire l'unità di una grandezza in funzione di altre grandezze, per esempio appunto il metro in funzione di una velocità e di una durata. La presenza di un sistema di grandezze consente inoltre di definire l'unità di alcune grandezze in funzione di unità di altre grandezze, predefinite. Le prime, come il metro al secondo per la velocità, sono chiamate "unità derivate" [VIM 1.11]; le seconde, come il metro per la lunghezza e il secondo per il tempo, sono chiamate "unità di base" [VIM3, 1.10]. La distinzione tra unità di base e unità derivate è convenzionale, e deriva dalla corrispondente distinzione, a sua volta convenzionale, tra grandezze di base [VIM 1.4] e grandezze derivate [VIM 1.5] in un sistema di grandezze, alla base della possibilità di stabilire la dimensione di una grandezza [VIM 1.7] appunto in riferimento alla sua relazione alle grandezze di base del sistema. Un sistema di unità di misura [VIM 1.13] è definito come l'insieme delle unità di base e delle unità derivate delle grandezze di un sistema di grandezze, e il SI è il sistema di unità di misura sviluppato progressivamente dalla Convenzione del Metro.

Questa seconda strategia di definizione delle unità ha evidenti vantaggi rispetto alla prima, ma ha ancora un problema: dato che i tipi di oggetti che definiscono le unità hanno, per definizione, incertezza nulla, il valore delle costanti fondamentali della fisica è derivato dalle unità (per esempio la velocità della luce nel vuoto è 299 792 458 m / s), ma questa derivazione ha un'incertezza non nulla. Benché l'idea che il valore di una costante fondamentale sia noto con un'incertezza maggiore di zero non abbia nulla di contraddittorio in sé, si potrebbe considerare auspicabile che le costanti fondamentali abbiano un valore stabilito e non incerto.

Terza strategia: verso il nuovo SI

È con questo obiettivo che il nuovo SI adotta un'ulteriore strategia, che inverte la priorità: invece di definire le unità e quindi derivare da queste i valori delle costanti fondamentali, fissa i valori delle costanti e ne deriva la definizione delle unità. Dato che il cambiamento non è ovvio, può essere utile arrivare alle nuove definizioni per passi successivi.

Nel caso più semplice, se fosse nota una costante fondamentale k di lunghezza appropriata si potrebbe operare come segue: (i) si stabilisce che per definizione tale costante ha valore 1, con incertezza nulla, se specificata nell'unità di lunghezza del SI; (ii) il metro, in quanto unità di lunghezza del SI, è dunque tale che $k = 1$ m. Questa struttura a doppia definizione – prima si definisce il valore di una costante e poi l'unità – potrebbe apparire circolare ma non lo è, come questo caso mostra. Si può poi introdurre un fattore moltiplicativo: data una costante di lunghezza k , si stabilisce che per definizione (i) tale costante ha valore n , con incertezza nulla, se specificata nell'unità di lunghezza del SI, e quindi (ii) il metro, unità di lunghezza del SI, è tale che $k = n$ m.

Le definizioni del nuovo SI sono ancora più complesse, dato che sfruttano esplicitamente, come nel caso della seconda strategia, la presenza di un sistema di grandezze, per cui si definisce il metro a partire da una costante fondamentale di velocità. La doppia definizione è perciò: (i) la velocità della luce nel vuoto è esattamente 299 792 458 se specificata in unità di velocità del SI; (ii) il metro è tale che la velocità della luce nel vuoto è esattamente 299 792 458 se specificata in metri al secondo.

Questa struttura di definizione è palesemente più complessa delle precedenti, e senza una presentazione chiara ed efficace potrebbe risultare poco comprensibile o circolare (il metro definito, apparentemente, in

termini del metro...). Delicata è anche la questione strutturale: il beneficio di costanti fondamentali a incertezza nulla è ottenuto al prezzo di rendere problematico l'eventuale aggiornamento dei valori di tali costanti a seguito di raffinamenti teorici o sperimentali. Anche secondo questa terza strategia, rimane possibile infatti una situazione in cui la disponibilità di nuova conoscenza, attraverso un confronto empirico che non coinvolge valori di grandezze, porti a concludere che la luce nel vuoto ha una velocità diversa da quanto precedentemente supposto. Avendo però fissato per definizione il valore della costante, tale variazione non sarebbe riferibile alla costante stessa, e nemmeno alle unità a essa agganciate: tutte le altre grandezze si ritroverebbero quindi modificate nei loro valori, cosa concettualmente e socialmente non poco problematica.

Per risolvere questo problema, se un ulteriore incremento della complessità strutturale delle definizioni fosse considerato accettabile, le si potrebbe riscrivere in forma esplicitamente parametrica, per esempio: (i) la velocità della luce nel vuoto è esattamente n se specificata in metri al secondo; (ii) il metro è tale che la velocità della luce nel vuoto è esattamente n se specificata in metri al secondo; (iii) allo stato attuale della conoscenza $n = 299\,792\,458$.

Se, come oggi pare probabile, ci sarà un nuovo SI basato su questa terza strategia, è auspicabile che i benefici per la comunità scientifica siano comunque ottenuti mantenendo questa fondamentale componente della metrologia comprensibile anche per i non addetti ai lavori: una sfida non banale.

W. Bich, Il riassetto del Sistema Internazionale di Unità, *Tutto_Misure*, 3, 2010, p.193-197.

W. Bich, Risposta di Walter Bich (I.N.Ri.M.) a un pensionato che si ribella, *Tutto_Misure*, 2, 2012, p.147.

BIPM, SI Brochure: The International System of Units (SI) [8th edition, 2006; updated in 2014];

<http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure>.

BIPM, Draft Chapters 1, 2 and 3 of the 9th SI Brochure;

http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_draft_ch123.pdf.

BIPM, On the future revision of the SI; <http://www.bipm.org/en/measurement-units/new-si>.

CGPM 2007, On the possible redefinition of certain base units of the International System of Units (SI), risoluzione 12 della 23a CGPM, 2007; <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/23/12>.

CGPM 2011, On the possible future revision of the International System of Units, the SI, risoluzione 1 della 24a CGPM, 2011; <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/1>.

CGPM 2014, On the future revision of the International System of Units, the SI, risoluzione 1 della 25a CGPM, 2014; <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/25/1>.

J. Gleick, *L'informazione. Una storia. Una teoria. Un diluvio*, Feltrinelli, 2012.

JCGM 200:2012, Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM) - Concetti di base e generali e termini associati, 3a ed (versione 2008 con correzioni minori corrections), Joint Committee for Guides in Metrology, 2012; versione trilingue En, Fr, It: <http://www.ceiweb.it/it/lavori-normativi-it/vim.html>.

S. Sartori, Cambiare tutto affinché niente cambi - Nel Sistema Internazionale di Unità come nella Sicilia del Gattopardo, *Tutto_Misure*, 3, 2010, p.199-200.

S. Sartori, La rivoluzione nel Sistema Internazionale di unità, *Tutto_Misure*, 1, 2012, p.35-37.

S. Sartori, Storia delle misure nella società dal 1875 - Successi, insuccessi e... occasioni perse, a cura di F. Docchio, M. Gasparetto, L. Mari, Pavia Univ. Press; <http://www.paviauniversitypress.it/catalogo/storia-delle-misure-nella-societa-dal-1875/335>.

Wikipedia, Proposed redefinition of SI base units;

http://en.wikipedia.org/wiki/Proposed_redefinition_of_SI_base_units.