

Ancora sul nuovo SI
Luca Mari, Franco Pavese

Tutto_Misure, 1, 2016

[22.1.16]

Caro Direttore,

eccomi a rispondere alla tua richiesta di una risposta alla lettera di Franco Pavese, pubblicata nel numero 4/15 di T_M. Ho fatto in effetti un poco di più: con Franco abbiamo dialogato in modo costruttivo, ed essendoci trovati facilmente in accordo praticamente su tutto è stato ovvio proporgli di scrivere insieme. Sono contento che Franco abbia accettato, e il risultato è quanto segue. Grazie dunque per la sollecitazione, e per lo spazio che ci concedi.

Luca Mari

La metrologia opera costitutivamente creando relazioni: tra conoscenza empirica e matematica, e tra conoscenza empirica e società. Questo ruolo è evidentemente cruciale, e lo si può sottovalutare – come purtroppo accade spesso – solo dandolo per scontato, anche quando scontato non lo è affatto. Il cosiddetto “nuovo Sistema Internazionale” di unità di misura, presentato su Tutto_Misure nei numeri 2/15 e 3/15 in un articolo poi commentato da Franco Pavese nel numero 4/15, pone degli interessanti problemi proprio a questo proposito: come conciliare il requisito sociale di stabilità nel tempo del sistema metrologico con la condizione di apertura al cambiamento, imprescindibile per una scienza che intenda mantenersi vitale?

Infatti, una rottura sensibile della continuità del sistema metrologico, come quella che si manifesterebbe per esempio cambiando l'unità di lunghezza pur mantenendone il nome (come fosse, in modo drammatico: da domani il metro è il doppio di quanto è oggi), comporterebbe dei costi sociali notevoli, in particolare dovuti alla necessità di rimisurare o almeno di riassegnare i valori di grandezza (un oggetto lungo un metro oggi sarebbe lungo mezzo metro domani). D'altra parte non possiamo garantire che la conoscenza di cui disponiamo attualmente si manterrà stabile, e anzi la storia dello sviluppo scientifico e tecnologico ci insegna che è probabile che la conoscenza continuerà a modificarsi. La conciliabilità di stabilità e possibilità di cambiamento è dunque un problema fondamentale, e le tre strategie per la definizione delle unità accennate nell'articolo (in particolare nella parte pubblicata nel numero 3/15 di T_M) hanno progressivamente spostato l'enfasi al proposito,

- da stabilità come problema in pratica ingegneristico (prima strategia: metro come lunghezza di un certo oggetto, che quindi deve essere mantenuto stabile),
- a stabilità come problema di fisica sperimentale (seconda strategia: metro come lunghezza di un certo tipo di oggetti, che si è accertato sperimentalmente essere stabile),
- a stabilità come problema di fisica teorica (terza strategia: metro come lunghezza funzione di una certa grandezza fondamentale, che è sì teorizzato essere costante).

In riferimento alla terza strategia, quella che ha ispirato il “nuovo SI”, il punto critico è se i cambiamenti, che prima o poi dobbiamo aspettarci, saranno solo adattamenti a parità di struttura o comporteranno dei cambiamenti strutturali. Concretamente, potrebbe accadere che si identifichino nuove equazioni tra grandezze, che sono indipendenti dalle unità e alla base della struttura della teoria fisica (è il caso delle equazioni relativistiche, che hanno modificato le equazioni della meccanica galileiana-newtoniana), oppure si accerti che una grandezza ritenuta costante non lo è. Si tratterebbe plausibilmente di un cambiamento rivoluzionario, e che plausibilmente richiederebbe una revisione strutturale del SI a seguito della nuova teoria fisica. Ma appunto potrebbe presentarsi, e forse con maggiore probabilità, anche la necessità di cambiamenti non così radicali. Dell'importanza di poter gestirli appropriatamente, senza dover ristrutturare il SI, si è già accennato nell'articolo e la lettera di Franco Pavese argomenta al proposito.

Consideriamo dunque la versione più coerente e sistematica della terza strategia, che è stata chiamata “Global Explicit Constant Definition” (GCD).

In un sistema GCD le unità sono definite prendendo come riferimento un insieme $\{C_i\}$ di grandezze che sono modellizzate come costanti (che una grandezza sia una costante non è infatti “un dato”, ma comunque il risultato dell'assunzione di un modello) e stabilendo un certo valore numerico k_i per ogni C_i . Ogni unità $[Q]$ è allora definita come:

$$[Q] = \prod_i (C_i/k_i)^{n_i}$$

così che un sistema GCD è caratterizzabile come un sistema di unità in cui le costanti C_i hanno valore k_i . Se le C_i che si scelgono sono costanti fondamentali, quindi assunte come universali e invarianti in accordo alla teoria corrente, il sistema di unità è definito al meglio, data la conoscenza disponibile. Rimane d'altra parte un punto delicato in questa definizione, proprio dovuto alla sua dipendenza dall'insieme $\{k_i\}$.

Per chiarire in che senso sia problematica la scelta di vincolare la definizione all'insieme $\{k_i\}$, notiamo che le grandezze C_i modellizzate come costanti hanno in effetti due ruoli: sono sia connettori tra le grandezze che compaiono in leggi fisiche sia esse stesse appunto grandezze di tipi di oggetti. Per esempio, la grandezza c è sia il connettore tra energia e massa nell'equazione $E = mc^2$, sia la velocità della luce nel vuoto. Questa seconda funzione rende di principio le grandezze C_i misurabili, attraverso un'interazione empirica con il loro tipo di oggetti, la luce nel vuoto nel caso di c , ed è infatti proprio attraverso misurazioni che si è stabilito un valore numerico k_i per C_i nel contesto di un sistema di unità definito a partire da grandezze di oggetti (prima strategia) o di tipi di oggetti (seconda strategia), valore numerico che con la nuova definizione, basata sulla terza strategia, giustamente si mantiene in accordo al principio di continuità richiamato sopra.

Il fatto che le grandezze C_i possano essere oggetto di interazione empirica, e quindi di misurazione in presenza di unità e campioni precedentemente definiti, rende concettualmente e operativamente possibile che nell'interazione o misurazione si siano commessi errori sistematici. Ha dunque senso un'affermazione per esempio come "le nuove evidenze sperimentali mostrano che la velocità della luce nel vuoto è diversa da quella che avevamo assunto finora". In una situazione in cui le unità sono definite indipendentemente da tale grandezza, la condizione è strutturalmente non problematica e richiede solo di correggere il valore numerico (nell'unità appropriata) associato alla grandezza, da k_i a k_i^* . Ma che fare nel caso in cui questa richiesta di cambiamento si presenti una volta che il sistema di unità è di tipo GCD ed è stato definito a partire anche da C_i ? Si può

– mantenere comunque il sistema com'è, ammettendo dunque che in effetti non è basato su costanti fondamentali, e dunque in particolare ipotizzate come invarianti nello spazio e nel tempo, oppure

– cambiare l'intera definizione, passando a un nuovo sistema in cui in particolare il valore numerico associato a C_i è k_i^* .

Con qualche cambiamento nella strategia di definizione del sistema di unità si potrebbe fare di meglio: si tratta evidentemente di un problema strutturale, che non riguarda questioni di fisica, e perciò ne discutiamo in riferimento a un sistema semplificato, in cui solo le unità di durata, lunghezza e massa sono definite (una piccola nota: la grandezza di cui il secondo è l'unità è la durata, non il tempo, per la stessa ragione per cui il metro è l'unità della lunghezza e non dello spazio). Al proposito il "nuovo SI" scriverebbe qualcosa del tipo:

Il SI è il sistema di unità tale che la frequenza di transizione $\Delta\nu_{Cs}$ dell'atomo di cesio [...] è 9192631770 hertz, la velocità c della luce [...] è 299792458 metri al secondo, e la costante di Planck h è $6.6260693 \times 10^{-34}$ joule secondo.

Si noti che questa definizione fa riferimento a una certa frequenza di un certo atomo, che non è certo una costante fondamentale, e quindi in questa parte la definizione si basa sulla seconda strategia: non è però questo il problema di cui ci occupiamo qui. Possiamo anzi astrarre da questi aspetti non strutturali riscrivendo:

Il SI è il sistema di unità tale che la frequenza C_1 è 9192631770 hertz, la velocità C_2 è 299792458 metri al secondo, e l'azione C_3 è $6,6260693 \times 10^{-34}$ joule secondo.

Si evidenzia qui un primo problema: questa definizione contiene il riferimento a unità (hertz, metro, secondo, joule) che in effetti sono l'oggetto della definizione stessa, e quindi possono essere date per conosciute solo in una logica di transizione (come fosse: "caro lettore, definiamo l'hertz, il metro, ... sfruttando il fatto che tu ne hai comunque già una definizione precedente"). La ovvia soluzione è perciò di riformulare:

Il SI è il sistema di unità tale che la frequenza C_1 è 9192631770 unità di frequenza, la velocità C_2 è 299792458 unità di velocità, e l'azione C_3 è $6,6260693 \times 10^{-34}$ unità di azione.

Interessante in questa definizione è tra l'altro che le grandezze a cui si fa riferimento, e che dunque si potrebbero considerare la "base fondamentale" del sistema, sono frequenza, velocità e azione, e non durata, lunghezza e massa, che sono comunque ricostruibili dalle prime grazie alle equazioni tra grandezze (che non dipendono da unità...) della fisica.

Si completa il percorso di decostruzione della definizione riconoscendo che i valori numerici k_i non hanno un ruolo strutturale, e quindi la definizione davvero fondamentale è:

Il SI-fondamentale è il sistema coerente di unità tale che C_1 è l'unità-fondamentale di frequenza,

C_2 è l'unità-fondamentale di velocità, e C_3 è l'unità-fondamentale di azione.

così che in accordo a questa definizione per esempio la costante di Planck ha valore 1 unità-fondamentale di azione.

Da qui si può ricostruire il sistema, passando dal SI-fondamentale al SI-convenzionale (cioè il SI come inteso attualmente), definito allo scopo di salvaguardare il principio di continuità:

Il SI è il sistema coerente di unità tale che:

(A) l'unità di durata si chiama "secondo", simbolo "s", l'unità di lunghezza si chiama "metro", simbolo "m", e l'unità di massa si chiama "kilogrammo", simbolo "kg";

(B) la frequenza $\Delta\nu_{Cs}$ è $k_1 s^{-1}$, la velocità c è $k_2 m s^{-1}$, e l'azione h è $k_3 kg m^2 s^{-2}$;

(C) i valori numerici sono $k_1 = 9,192631770 \times 10^{-10}$, $k_2 = 2,99792458 \times 10^{-9}$, $k_3 = 6,6260693 \times 10^{-34}$

(la clausola (C) specifica dei valori stipulati come esatti, benché essi derivino da conoscenza ottenuta sperimentalmente e quindi incerta).

Un sistema di unità è dunque definito secondo questa logica:

– si assumono un sistema di equazioni tra grandezze e un insieme di grandezze costanti $\{C_i\}$ in numero corrispondente alla dimensione della base del sistema;

– su questa base si definisce innanzitutto un sistema fondamentale in cui ogni C_i ha valore numerico 1;

– se ne deriva quindi un sistema convenzionale in cui, per consentire la continuità con il sistema adottato in precedenza, si ammette che ogni C_i possa avere un valore numerico k_i diverso da 1;

– in accordo alla miglior conoscenza disponibile si assegnano infine i valori k_i , che sono in effetti quelli del sistema precedente (la migliore conoscenza possibile è infatti quella che precede immediatamente la formulazione del nuovo sistema: questo è il pilastro della continuità).

Questa logica produce l'evidente beneficio che garantisce

– sia la stabilità strutturale del sistema, che infatti deve essere modificato solo in seguito a una novità radicale come la riformulazione di un'equazione tra grandezze, e dunque nella clausola (A), o l'identificazione che una grandezza ritenuta costante non è tale, e dunque nella clausola (B),

– sia la sua parziale modularità, grazie alla parametrizzazione della struttura stessa, così che la correzione al valore di una costante richiederebbe solo di aggiornare la clausola (C) della definizione.

Un ulteriore interessante punto a favore di questa logica di definizione è che distingue con chiarezza le componenti della definizione che sono basate sulla teoria assunta e quelle che sono invece convenzionali: in questo modo anche la comprensibilità della definizione pare migliorare, una caratteristica importante dato il ruolo critico che il SI ha nella società.

Luca Mari, Franco Pavese