

DUBBI SUL SISTEMA DI MISURA

Luciano Pederzoli

EVANLAB

18 agosto 2016

Estensione di un articolo datato 12-10-2003 e intitolato SI INGANNA?

METRO, CHILOGRAMMO, SECONDO, mole, ampere, kelvin, candela

Qualche anno fa mi posi un problema di metrologia, che ora riprendo perché mi sembra importante: innanzitutto tenterò di far capire di cosa si tratta, anche se, a quanto pare, non sono stati molti a porsi quel problema, finora.

Sia pure riassumendo al massimo, bisogna tornare indietro nel tempo, per l'esattezza al 1874, quando la British Association for the Advancement of Science introdusse formalmente il Sistema di Misura CGS, che era basato, appunto, su tre unità - centimetro, grammo e secondo - ed era ben accetto ai fisici, i quali si occupavano spesso di esperimenti coinvolgenti quantità piuttosto piccole. Proprio così: nel tempio della yarda e dell'oncia veniva ufficialmente introdotto un Sistema di Misura fondato su unità derivanti dall'odiata rivoluzione francese!

Il termine "Advancement" non era fuori luogo!

Non molti anni dopo, nel 1889, il famoso International Bureau of Weights and Measures ne introdusse una variante, il Sistema MKS, sempre basata su tre unità - metro, kilogrammo e secondo - che era più comoda da utilizzare ai fini pratici soprattutto per gli ingegneri, i quali, in quel periodo, si stavano occupando di progettare grandi navi e costruzioni di acciaio, un materiale innovativo utilizzato anche per costruire la Torre Eiffel.

Tutto bene! La nascita delle telecomunicazioni via radio, e il loro prepotente sviluppo durante la prima metà del '900, furono perfettamente supportati dal Sistema CGS, finché, nel 1954, la Decima Conferenza Generale sui Pesi e le Misure raccolse l'esigenza di unificazione dei due Sistemi ed adottò un nuovo Sistema di Misura, basato su sette unità: metro, kilogrammo e secondo (come prima), ma anche - oltre all'innocua mole - su ampere, grado kelvin e candela.

Infine l'Undicesima Conferenza Generale sui Pesi e le Misure, nel 1960, decise che il neonato Sistema avrebbe portato il nome ufficiale di Sistema Internazionale (universalmente noto come **SI** o **IS** in inglese) e ne impose l'adozione in tutti i paesi del mondo.

L'imposizione fu unanimemente accettata, rapidamente dagli ambienti tecnico-scientifici, meno rapidamente dalla legislazione dei vari paesi e ancor più lentamente dai cittadini anglosassoni (in USA la gente utilizza ancora yarde ed once), ma non suscitò alcuno scandalo, perché metro, chilogrammo e secondo si erano ormai affermati, l'illuminazione basata su lampade ad incandescenza era abituale, e quindi un'unità di misura specifica (la candela, basata, appunto, sull'incandescenza) era molto utile, mentre un'unità assoluta di temperatura rappresentava una semplificazione operativa.

L'ampere, quale unità di misura di quella corrente elettrica che entrava in tutte le case per alimentare frigoriferi, lavatrici e persino il per noi innovativo televisore non suscitò certo indignazione, nonostante qualche protesta dei telecomunicazionisti, che si vedevano complicare i calcoli (ma vennero immediatamente accusati di essere retri *"laudatores temporis acti"*).

Nel 1964 ero all'Università e, ad Ingegneria, il Sistema CGS non si usava più neppure nei corsi di Fisica: se ne prendeva in considerazione l'esistenza come fatto storico, ma non veniva approfondito perché era considerato obsoleto. Da allora chi si è più posto il problema di confrontare i due Sistemi di Misura e perché mai avrebbe dovuto farlo?

Proviamo a farlo adesso. Nell'**SI** la Carica Elettrica **Q** è definita così:

$$Q = i * t$$

Dimensionalmente vale $[t i]$

con i = corrente elettrica e t = tempo.

In pratica, nel Sistema Internazionale, si definisce prima la corrente unitaria (1 ampere), dicendo che essa sottopone ad una forza pari a $2 \cdot 10^{-7}$ newton (il newton è l'unità di forza) per ogni metro di lunghezza due tondini (fili) paralleli posti, nel vuoto, ad un metro (che è l'unità di lunghezza) di distanza l'uno dall'altro e di sezione trascurabile rispetto alla distanza stessa.

Definite l'unità di corrente e l'unità di tempo, si passa a definire l'unità di carica (il coulomb), ovviamente come quella che scorre in un secondo in un conduttore attraversato da una corrente pari ad 1 ampere. L'equazione che dovrebbe servire per definire la corrente viene utilizzata, nell'**SI**, per definire la carica: non $i = Q / t$, bensì $Q = i * t$.

In tal modo nell'**SI** scompare la definizione della carica come unità fondamentale, eppure è presente persino nelle particelle elementari: più fondamentale di così!

Tuttavia è una meraviglia: funziona tutto perfettamente!

Peccato che questa definizione non serva a nessuno, mentre ne servirebbe molto di più un'altra basata sulla misura di una forza di valore unitario a cui sia sottoposta una carica unitaria puntiforme posta a distanza unitaria da un'altra carica di pari valore. Infatti sarebbe logico partire proprio dalla carica elettrica, che è un'entità a sé stante indipendente dal tempo, e non preferirle una grandezza evidentemente da essa derivata come la corrente, per definire la quale si deve far ricorso sia alla carica elettrica sia al tempo.

Non per nulla nel Sistema **CGS** elettrostatico (c'era anche quello elettromagnetico, meno utilizzato) la carica elettrica è definita tramite la legge di Coulomb, la quale recita, a prescindere dal segno delle cariche:

*La forza **F** che si esercita, nel vuoto, tra due cariche elettriche puntiformi è pari al prodotto dei valori delle due cariche (q_1 e q_2), diviso per la distanza r che le separa elevata al quadrato.*

$$F = (q_1 * q_2) / r^2$$

Se ambedue le cariche hanno valore unitario, la relazione diventa:

$$F = q^2 / r^2$$

Da essa deriva, infine, la:

$$q = r * \sqrt{F}$$

Dimensionalmente, quindi, la carica elettrica è $[l^2 m t^{-2}]$
con l = lunghezza, m = massa e t = tempo

La conversione della carica elettrica CGS, che è statica, in quella dell'**SI**, che è in movimento, è tutt'altro che banale e facilmente scoraggia chi la vuole affrontare, tanto più perché manca una vera motivazione per farlo, tuttavia la conversione è possibile e lecita.

Se si adotta la definizione dimensionale della carica elettrica propria del Sistema CGS e la si introduce nell'SI, la prima conseguenza è che cambia la definizione dimensionale della corrente elettrica, insieme a quella di tutte le espressioni in cui compare la corrente.

Da queste ultime emergono alcune correlazioni tra lunghezza, tempo, massa, flusso magnetico (l'equivalente magnetico della carica elettrica) e intensità di campo magnetico.

L'ulteriore conseguenza è che viene la voglia di sostituire anche la massa con il suo equivalente energetico. Non dimentichiamo, infatti, quel che dice Einstein:

L'energia è pari alla massa moltiplicata per la velocità della luce elevata al quadrato ($E = mc^2$).

Operando la sostituzione si apre un nuovo mondo, pieno di correlazioni inaspettate che legano carica elettrica, intensità di campo elettrico, flusso magnetico, intensità di campo magnetico, tempo, energia, forza, potenza, lunghezza, volume e massa.

Un problema simile, ma meno grave, viene posto anche dalla candela, un'unità fondamentale dell'SI in realtà anch'essa derivata, la quale, a dire il vero, dipende dal numero di fotoni di luce (a noi visibile) emessi da una determinata sorgente in un secondo; sarebbe più logico utilizzare l'energia emessa in un secondo (cioè la potenza), specificandone anche la gamma di lunghezze d'onda, e ne scaturirebbe una definizione valida in assoluto, senza richiedere la coniazione di una nuova grandezza fondamentale.

Davvero sembra che si sia tenuto conto più di esigenze commerciali che della logica.

Persino la temperatura assoluta (espressa in gradi kelvin), per quanto comoda per i calcoli, non rappresenta una grandezza veramente fondamentale, poiché nient'altro è se non una funzione dell'energia posseduta da una singola particella e dipende, pertanto, dalla velocità (lunghezza / tempo) e dalla massa della particella stessa.

La mole, invece, non pone seri problemi, perché si riduce praticamente ad un numero puro, il numero di Avogadro, il quale pone solamente il non trascurabile problema del corretto conteggio del numero di atomi contenuti in 12 grammi dell'isotopo ¹²C del Carbonio. Una volta definito tale numero con sufficiente precisione, si saprà in modo inequivocabile quante entità elementari di una sostanza compongono una mole della sostanza stessa.

Siccome è possibile definire ogni altra grandezza ricorrendo soltanto a **lunghezza, massa e tempo**, come nel Sistema CGS, sembra logico dedurre che **solo queste tre grandezze sono effettivamente fondamentali**. Tutt'al più si può discutere se adottare la massa oppure l'energia, perché, come si è visto, massa ed energia sono strettamente correlate.

Allora perché hanno fatto questo gioco delle tre carte, o meglio, delle tre nuove grandezze fondamentali?

Poiché si tratta di un Sistema di Misura Internazionale che ne sostituisce, abrogandolo, un altro che aveva funzionato bene per molti decenni, non posso credere all'incompetenza e alla distrazione di tutti i membri della commissione: è ovvio che la scelta è stata fatta deliberatamente.

"Cui prodest" dicevano gli antichi romani, che di fregature se ne intendevano, mentre ora si dice "Allora chi ci guadagna?", ma il concetto è lo stesso e la fregatura, se c'è, rimane tale e quale; naturalmente, ora come allora, viene spacciata per un vantaggio.

ERANO MOSSI SOLO DA INTENTI DI SUPERFICIALE SEMPLIFICAZIONE A FINI COMMERCIALI O VOLEVANO FORSE IMPEDIRE CHE SI POTESSE FARE NUOVE SCOPERTE SCOMODE?

La voglia di sostituire anche la massa con il suo equivalente energetico, come ho detto, è irresistibile, infatti la sostituzione è stata effettuata, ma nel nuovo Sistema di Misura SI ed ecco le conseguenze.

LE TRE UNITÀ DI MISURA FONDAMENTALI (m, Kg, s)

METRO (m)

Ponendo:

f = frequenza, espressa in Hertz (periodi al secondo)

T = periodo, legato alla frequenza dalla definizione: $T = 1/f$

c = velocità della luce nel vuoto, espressa in m/s

λ = lunghezza d'onda nel vuoto, espressa in metri

Dalla definizione di velocità = spazio / tempo, assumendo come velocità quella della luce nel vuoto (c), come spazio la lunghezza d'onda (λ) e come tempo il periodo di oscillazione (T) di un generatore di frequenza campione, si ricava la:

$$c = \lambda/T$$

da cui derivano le:

$$\lambda = c * T = c/f$$

In pratica la lunghezza d'onda λ del generatore di frequenza campione dipende dalla velocità della luce c, assunta come costante, e dalla frequenza f del generatore stesso, che è anch'essa costante, quindi **l'unità di lunghezza (il metro) viene definita come un certo numero di lunghezze d'onda campione.**

SECONDO (s)

Se si eccita un atomo, un suo elettrone esterno assume una quantità ben determinata di energia e raggiunge un livello energetico superiore a quello di riposo, poi, quando ritorna spontaneamente allo stato non eccitato, emette esattamente quell'energia sotto forma di fotone.

Ponendo:

E = energia, espressa in Joule

h = costante di Planck, espressa in Joule per secondo (energia per tempo)

f = frequenza, espressa in Hertz (periodi al secondo)

T = periodo, legato alla frequenza dalla relazione: $T = 1/f$

La relazione tra energia e frequenza di quei fotoni vale:

$$E = h * f$$

da cui si ricavano:

$$f = E/h$$

oppure:

$$T = h/E$$

Scegliendo un particolare tipo di atomi in forma gassosa ed eccitandoli in modo controllato, poi immettendoli in un'apposita cavità attraverso un piccolo foro, essi emettono con continuità fotoni con energia costante E. Siccome anche h è costante, la frequenza f associata a quei fotoni, captata da un'apposita antenna collocata nella cavità, è costante.

Siccome poi $T = 1/f$, anche il periodo T corrispondente a tale frequenza f costante è costante.

Di conseguenza, con un apparato contatore, **si possono contare i singoli cicli di periodo T e un particolare numero concordato di essi definirà il campione di tempo (il secondo).**

CHILOGRAMMO (Kg)

Finora il chilogrammo è l'unica delle unità di misura ad essere definita non da una proprietà fisica, bensì da un manufatto: un cilindro retto di platino-iridio che riproduce, in modo più comodo da utilizzare, la massa di un decimetro cubo di acqua tridistillata a 3,98 °C (temperatura di massima densità dell'acqua) posto alla pressione atmosferica standard.

Ancora per poco: sono infatti in corso diversi tentativi, basati su principi fisici diversi, volti a legare anche l'unità di massa a costanti fisiche. Quello che sembra più vicino al successo si basa sulla costante di Planck e si prevede che il suo successo arrivi presto.

Ponendo:

f = frequenza, espressa in Hertz (periodi al secondo)

T = periodo, legato alla frequenza dalla definizione: $T = 1/f$

c = velocità della luce nel vuoto, espressa in m/s

h = costante di Planck, espressa in Joule per secondo (energia per tempo)

e sapendo che l'energia vale:

$$E = h * f$$

o anche, per la ben nota equivalenza tra energia e massa:

$$E = m * c^2$$

Uguagliando le due espressioni dell'energia, si ricava:

$$h * f = m * c^2$$

da cui:

$$m = h * f/c^2$$

Assumendo c e h come costanti, basta disporre di un generatore di frequenza costante e si può definire un quanto di massa campione in funzione di una frequenza concordata (sottomultiplo standard di massa), oppure definire la massa esatta correlata alla frequenza campione disponibile. Infatti, ponendo $K = h/c^2 =$ costante, si ricava:

$$m = K * f$$

Un numero stabilito di quanti campione definirà poi, di conseguenza, l'unità di misura della massa (il chilogrammo).

DUBBI

A parte un paio di semplici definizioni non opinabili, come: periodo = 1 / frequenza ; velocità = spazio / tempo e lunghezza d'onda = velocità della luce nel vuoto / frequenza , vengono utilizzati due principi fisici: $E = h * f$ ed $E = m * c^2$ che vengono concentrati, alla fine, nella formula:

$$m = h * f / c^2 = h / (T * c^2)$$

In essa appaiono chiaramente le due costanti universali **h** e **c**, nonché **T**, che rappresenta il periodo del generatore campione di frequenza.

Poiché, quindi, $\lambda = c * T$; $T = h/E$ ed $m = h / (T * c^2)$, se la massa campione sarà definita in funzione della costante di Planck (h), sia la massa campione stessa sia il tempo campione dipenderanno dalla velocità della luce (la massa addirittura dal suo quadrato) e tutte e tre le unità di misura campione dipenderanno dalla costanza della frequenza campione (quindi del suo periodo T), sempre ammettendo che l'energia associata ad un particolare salto di livello energetico di uno specifico elettrone di un determinato tipo di atomo sia costante dovunque.

Da quanto esposto si deduce che viene fatto il possibile, riguardo alla definizione delle tre unità di misura fondamentali, per ricorrere a costanti fisiche universali.

In pratica tutto funziona bene se h, c e T sono effettivamente COSTANTI e lo sono DOVUNQUE nell'intero universo.

Ma le costanti fisiche universali sono realmente COSTANTI e UNIVERSALI?

Come facciamo a controllare se sono effettivamente costanti, se per misurarle utilizziamo unità campione che dipendono totalmente da esse?

Chi ci garantisce, infatti, che TUTTE le "costanti" fisiche che noi definiamo "universali" rimangano le stesse anche a miliardi di anni luce di distanza da noi e per di più in un universo che, secondo la teoria più in voga, è in continua espansione da miliardi di anni? Il nostro metro non correrà per caso il rischio di dilatarsi insieme ad esso fornendo misure di distanza solo apparentemente costanti, oppure di accorciarsi perché la velocità della luce diminuisce leggermente con la distanza, fornendo pertanto misure secondo le quali l'universo si dilata, mentre in realtà è stazionario?

POSSIAMO FIDARCI O RISCHIAMO DI CREDERE CIECAMENTE A MISURE CHE IN REALTÀ NON SONO VERE, O QUANTO MENO SONO INESATTE?

SE SÌ, PERCHÉ?