



 **MONDADORI**
EDUCATION



MONDADORI
EDUCATION

LA REVISIONE DEL SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÀ

ANDREA BROGNARA

18.02.2018

CARATTERISTICHE DI UN SISTEMA DI UNITÀ DI MISURA

- Stabilire un insieme di grandezze fondamentali indipendenti a cui attribuire un'unità di misura convenzionale.
- Stabilire dei metodi per realizzare in pratica i campioni delle diverse unità (*“mise en pratique”*).
- Qualsiasi altra grandezza fisica, detta grandezza derivata, deve poter essere espressa attraverso prodotti potenze o rapporti tra le unità fondamentali.
- Il numero di grandezze fondamentali deve essere almeno uguale al numero minimo necessario per una descrizione di tutti i fenomeni fisici.

CARATTERISTICHE DEI CAMPIONI DELLE UNITÀ FONDAMENTALI

I campioni delle unità fondamentali devono soddisfare nel miglior modo possibile alcuni requisiti:

- restare costanti nello **spazio**;
- restare costanti nel **tempo**;
- essere facilmente **riproducibili** in modo affidabile ovunque sia richiesto.

Qualsiasi sistema di unità evolve nel tempo in modo da tenere conto delle continue scoperte in campo scientifico e tecnologico che permettono e al tempo stesso richiedono criteri sempre più rigorosi per la definizione e la realizzazione delle unità campione.

STORIA E ORGANISMI DEL BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Data	Evento
20-05-1875	<p>Viene stabilita la convenzione del metro, con il compito di stabilire i campioni del kilo e del metro.</p> <p>17 paesi fondatori tra cui Italia (al 14 Novembre 2018, ci sono 59 Stati membri e 42 Stati associati).</p> <p>Viene creato il Bureau International des Poids ET Mesures (BIPM) e i due organismi principali:</p> <ul style="list-style-type: none">• Conférence Général des Poids et Mesures (CGPM) - È l'autorità del BIPM che approva le delibere;• Comité International des Poids et Mesures (CIPM) - Assicura l'uniformità in tutto il mondo delle unità di misura.
1889	Vengono depositati i campioni del metro e del kilogrammo.
1921	Vengono estesi gli scopi e le responsabilità del BIPM per includere le altre unità.
1948	Alle unità originarie vengono aggiunte l'ampere, il kelvin e la candela. Le unità fondamentali diventano 6.
1960	Viene approvato il nome <i>Système International d'Unités</i> , SI .
1971	Viene aggiunta la mole. Le unità fondamentali diventano 7.
20-05-2019	World Metrology Day - "The International System of Units - Fundamentally better"

UNITÀ DI TEMPO (t) – IL SECONDO (s)

Data	Definizione	Tipo campione
1889 1° CGPM	1/86.400 giorno solare medio.	astronomico
1956 10° CGPM	Il secondo è $12\,960\,276\,813 / 408\,986\,496 \times 10^{-9}$ dell'anno solare 1900.	astronomico
1967 13° CGPM	Il secondo è la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione emessa dalla transizione tra due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.	atomico

UNITÀ DI LUNGHEZZA (I) – IL METRO (m)

Data	Definizione	Tipo campione
1675	Lunghezza del pendolo che batte un periodo pari a 2 secondi.	Campione terrestre
1791	1/10 000 000 della distanza tra polo nord ed equatore, lungo la superficie terrestre, calcolata sul meridiano di Parigi.	Campione terrestre
1889 1st CGPM	È stato stabilito il prototipo del metro.	Manufatto
1927 7th CGPM	Il metro è definito come la distanza a 0°, tra gli assi di due linee impresse sulla barra di platino-iridio conservata al BIPM e dichiarata come Prototipo del metro nella 1° CGPM. Nella misura la sbarra deve trovarsi alla pressione atmosferica ed essere appoggiata su due cilindri di almeno 1 cm di diametro posizionati in modo simmetrico ad una distanza di 571 mm.	Manufatto
1960 11th CGPM	Il metro è la lunghezza pari a 1 650 763,73 lunghezze d'onda nel vuoto della radiazione corrispondente alla transizione tra i livelli $2p_{10}$ and $5d_5$ dell'atomo di cripto 86.	Campione atomico
1983 17th CGPM	Il metro è la distanza percorsa da un raggio di luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a 1/299 792 458 di secondo.	Costante universale – unità esplicita

UNITÀ DI MASSA (m) – IL KILOGRAMMO (kg)

Data	Definizione	Tipo campione
1889, 1st CGPM	Viene stabilito il prototipo del kilogrammo.	Manufatto
1999, 21° CGPM	Raccomandazione per una ridefinizione del campione di massa basato su costanti atomiche.	

IL SISTEMA INTERNAZIONALE ATTUALMENTE IN VIGORE



IL SISTEMA INTERNAZIONALE ATTUALMENTE IN VIGORE

Quantità	Definizione	Anno	Campione
tempo	Il secondo è la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione che corrisponde alla transizione tra due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.	1967	Costante – unità esplicita
lunghezza	Il metro è la distanza percorsa da un raggio di luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a 1/299 792 458 di secondo.	1983	Costante universale – unità esplicita
massa	Il kilogrammo è la massa del prototipo internazionale del kilogrammo.	1889	Manufatto !
corrente elettrica	L'ampere è l'intensità di corrente che produce su due fili paralleli di lunghezza infinita e di raggio trascurabile distanti 1 m una forza di intensità 2×10^{-7} newton per metro di lunghezza.	1968	Definizione sperimentale
temperatura	Il kelvin è pari alla frazione 1/273,16 della temperatura del punto triplo dell'acqua.	1948	Campione naturale
quantità di sostanza	La mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante quantità elementari quanti sono gli atomi contenuti in 0,012 kg di carbonio.	1971	Campione naturale
intensità luminosa	La candela è l'intensità luminosa, in una data direzione di una sorgente che emette radiazione monocromatica di frequenza 540×10^{12} hertz e che ha una intensità radiante in quella direzione pari a 1/693 watt per steradiante.	1979	Costante – unità esplicita

PERCHÉ RIVEDERE LE UNITÀ DEL SI?

- La definizione di kilogrammo è ancora basata su un manufatto. Già dagli anni 80 il perfezionamento delle tecniche di misura aveva permesso di rilevare che, a causa dell'inevitabile accumulo di contaminanti, il prototipo internazionale del kilogrammo è soggetto ad una contaminazione dell'ordine di $1 \mu\text{g}$ l'anno. Per questo motivo è stata codificata una apposita procedura per lavare il prototipo di massa subito prima del suo utilizzo.
- Con la definizione attuale di grado kelvin è tecnicamente molto difficile realizzare dei termometri che consentano di coprire ampi intervalli di temperature.
- Non c'è omogeneità nelle definizioni. 3 quantità sono definite da costanti, 2 su campioni naturali, 1 su un campione sperimentale e 1 su un **manufatto**.
- Le definizioni delle unità sono state date in tempi diversi e hanno precisioni diverse.
- È in un sistema basato sulla definizione esplicita di unità. Questo implica che nessuna unità di misura potrà mai essere realizzata in modo migliore rispetto alla precisione con cui vengono realizzate le particolari condizioni dello stato specificato nella definizione.
- In base alle conoscenze attuali sappiamo che in natura esistono quantità dette costanti fisiche il cui valore resta costante sia nello spazio che nel tempo. Una definizione basata su costanti fisiche offre molte più garanzie di restare costante nello spazio e nel tempo.

IL NUOVO SISTEMA INTERNAZIONALE

Il nuovo SI si basa sulla **definizione esplicita di 7 costanti** al posto della definizione esplicita di 7 unità di misura.

La definizione delle costanti è stata data in modo da mantenere la compatibilità con le unità precedenti.

All'interno del SI il fatto che il valore delle costanti fisiche sia costante nel tempo e nello spazio è **un postulato**.

Le 7 costanti che definiscono il SI sono:

- la transizione iperfina dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133 è $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}=\text{s}^{-1}$,
- la velocità della luce nel vuoto è **c 299 792 458 m/s**,
- la costante di Planck **h** vale **6.626 070 15 x 10⁻³⁴ J s**,
- la carica elementare **e** vale **1.602 176 634 × 10⁻¹⁹ C**,
- la costante di Boltzmann **k** vale **1.380 649 × 10⁻²³ J/K**,
- la costante di Avogadro **N_A** vale **6.022 140 76 x 10²³ mol⁻¹**,
- l'efficienza luminosa di una radiazione monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12}\text{ Hz}$, **Kcd**, è **683 lm/W**.

IL NUOVO SISTEMA INTERNAZIONALE

Le 7 costanti sono state scelte in modo da fornire un riferimento fondamentale, stabile e universale che permette la realizzazione pratica delle unità con la più piccola incertezza possibile.

Sia la costante di Planck **h** sia la velocità della luce nel vuoto **c** sono costanti fondamentali che determinano gli effetti quantistici e le proprietà dello spazio tempo.

La carica elementare **e** corrisponde all'intensità della forza elettromagnetica attraverso la costante di struttura fine $\alpha = e^2/(2c\epsilon_0 h)$. Alcune teorie prevedono una variazione di α nel tempo, tuttavia i limiti della massima variazione prevista è così piccola da poter escludere al momento qualsiasi effetto su misure pratiche.

La costante di Boltzmann **k** corrisponde ad un fattore di conversione tra la temperatura (misurata in kelvin) e l'energia (misurata in Joule, per cui il suo valore numerico è ottenuto dalle definizioni storiche della scala di temperatura. In meccanica statistica la costante di Boltzmann collega l'entropia S con il numero Ω degli stati accessibili, $S = k \ln \Omega$.

La frequenza del cesio 133 $\Delta\nu_{Cs}$, è un parametro atomico. Questa definizione non separa la definizione e la realizzazione dell'unità nello stesso modo in cui lo fanno le altre costanti h , c , e , o k , specifica solamente il loro riferimento.

Il numero di Avogadro **N_A** corrisponde ad un fattore di conversione tra la quantità di sostanza (mole) e il numero di quantità elementari. È quindi una costante di proporzionalità concettualmente simile alla costante di Boltzmann k .

L'efficienza luminosa, **K_{cd}**, è una costante tecnica che fornisce una relazione numerica esatta tra una caratteristica puramente fisica di stimolare l'occhio umano (W) e la sua risposta biologica definita dal flusso luminoso per un osservatore standard (lm).

LE UNITÀ FONDAMENTALI NEL NUOVO SI

Quantità	Definizione
tempo	Il secondo, simbolo s , è l'unità del SI per il tempo. È definito in modo tale che la transizione iperfina dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133 è, $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz} = \text{s}^{-1}$ quando è espressa in secondi.
lunghezza	Il metro, simbolo m , è l'unità del SI per la lunghezza. È definito in modo tale che il valore della velocità della luce nel vuoto sia pari a 299 792 458 quando è espressa in ms^{-1} dove il secondo è definito in termini di $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
massa	Il chilogrammo, simbolo kg , è l'unità del SI per la massa. È definito prendendo il valore fisso della costante di Planck h pari a $6.62607015 \times 10^{-34}$ quando è espresso in $\text{J}\cdot\text{s}$, che corrispondono a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, dove il metro e il secondo sono definiti in termini di c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
corrente elettrica	L'ampere, simbolo A , è l'unità del SI per la corrente elettrica. È definito prendendo il valore fisso della carica elementare e pari a $1.602176634 \times 10^{-19}$ quando è espresso in unità C che sono uguali ad $A \text{ s}$, dove il secondo è definito in termini di $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
temperatura termodinamica	Il kelvin, simbolo K , è l'unità di misura del SI per la temperatura termodinamica. È definito prendendo il valore fissato per la costante di Boltzmann k essere pari a 1.380649×10^{-23} quando è espressa in J K^{-1} , che è pari a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, dove chilogrammo, metro e secondo sono definiti in termini di h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
quantità di sostanza	La mole, simbolo mol , è l'unità del SI per la quantità di sostanza. Una mole contiene esattamente $6.02214076 \times 10^{23}$ unità elementari. Questo è il valore fissato per la costante di Avogadro, N_A , quando è espressa in unità di mol^{-1} .
intensità luminosa	La candela, simbolo cd , è l'unità del SI per l'intensità luminosa in una determinata direzione. È definita prendendo il valore fisso dell'efficienza luminosa di una radiazione monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$, K_{cd} pari a 683 quando è espressa in lm W^{-1} che è uguale a $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, dove chilogrammo, metro e secondo sono definiti in termini di h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

IL NUOVO SISTEMA INTERNAZIONALE



COSA CAMBIA?

Aver fissato il valore delle costanti che nel nuovo SI porta comunque delle grosse conseguenze:

- all'interno del SI le costanti fondamentali diventano **quantità esatte** prive di incertezza.
- **Viene meno la differenza tra grandezza fondamentale e grandezza derivata.** Qualsiasi unità può essere costruita partendo dal valore delle costanti. Le unità fondamentali vengono definite convenzionalmente sia per ragioni storiche sia per ragioni di compatibilità con il Sistema precedente.
- Il nuovo SI non è solo un sistema basato su costanti, ma è un sistema basato sulla **definizione esplicita delle costanti**. Non obbliga in alcun modo ad utilizzare un metodo piuttosto che un altro per la realizzazione dei campioni di unità di misura. In questo modo la realizzazione di una unità è svincolata dalla sua definizione e qualsiasi relazione fisica che permetta di collegare una unità alla misura base può essere utilizzata.

ESEMPIO

Unità esplicita	Costante esplicita
Il metro è la distanza percorsa da un raggio di luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a $1/299\,792\,458$ di secondo.	È definito in modo tale che il valore della velocità della luce nel vuoto sia pari a $299\,792\,458$ quando è espressa in ms^{-1} dove il secondo è definito in termini di $\Delta\nu_{\text{Cs}}$

Le due definizioni sono apparentemente equivalenti. La prima definizione però vincola a produrre un metro misurando la lunghezza percorsa dalla luce in un intervallo di tempo.

Con la seconda definizione invece qualsiasi legge fisica può essere utilizzata per costruire un metro, ad esempio anche la relazione:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

ESEMPIO

Unità esplicita	Costante esplicita
Il kelvin è pari alla frazione $1/273,16$ della temperatura del punto triplo dell'acqua.	Il kelvin è definito prendendo il valore fissato per la costante di Boltzmann k essere pari a 1.380649×10^{-23} quando è espressa in J K^{-1} , che è pari a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, dove kilogrammo, metro e secondo sono definiti in termini di h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Nella prima definizione siamo vincolati a portare l'acqua al punto triplo.

Nella definizione basata su costanti qualsiasi legge fisica che contenga k può essere in linea di principio utilizzata per determinare la temperatura in un qualsiasi punto della scala di temperatura.

L'intensità della radiazione di corpo nero ad esempio:

$$I = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4$$

permette di determinare la temperatura.

DUBBI

Avere dei valori esatti per le costanti porta ad avere campioni privi di incertezza?

Chiaramente no. In un sistema basato su campioni i campioni delle unità sono esatti per definizione, mentre il valore delle costanti è noto con una certa precisione. In un sistema basato su costanti avviene il contrario le costanti sono esatte e i campioni sono prodotti con una certa precisione che è pari a quella dell'esperimento che li realizza.

Con il nuovo SI sarà possibile verificare la consistenza delle equazioni e delle leggi della fisica ora che i valori delle costanti sono fissati?

In realtà è importante sottolineare che non viene fissato il valore numerico di tutte le costanti fondamentali, ma solo il valore numerico di un piccolo sottoinsieme di tali costanti. Questo ha l'effetto di cambiare le definizioni delle unità, ma non le equazioni della fisica e quindi non impedisce di verificare la loro consistenza.

CONCLUSIONE

- Il nuovo SI rappresenta un sostanziale miglioramento nella definizione delle unità di misura e permetterà di realizzare in maniera molto più precisa i campioni delle unità.
 - Nonostante la difficoltà concettuale a passare da un sistema basato sulla definizione esplicita delle unità ad un sistema basato sulla definizione esplicita delle costanti i vantaggi sono molteplici.
 - Alla luce delle conoscenze attuali è certamente la scelta che offre maggiori garanzie di stabilità e riproducibilità.
-

RISORSE

La fonte principale da cui ho preso le informazioni per questo webinar è il sito ufficiale del BIPM:

<https://www.bipm.org/en/about-us/>

In particolare potete scaricare:

la versione attuale (brochure 8) - <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure>

la versione provvisoria del nuovo SI (brochure) - <https://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/#communication>

**UNA PROPOSTA FORMATIVA DISEGNATA
INTORNO AI BISOGNI DEGLI INSEGNANTI**



**FORMAZIONE
SU MISURA**

SCUOLAOGGIDOMANI.IT



webinar@mondadorieducation.it

www.mondadorieducation.it