

Il sistema di misura S.I. e le nefandezze metrologiche

L'entrata in vigore del Sistema Internazionale di unità (S.I.), adottato dagli Stati della Comunità Europea a partire dal 1 Gennaio 1980 (Direttive 71/354/ CEE del 18.10.71 e 76/770/CEE del 27.7.76) e già adottato negli USA, nell'ex URSS e nei paesi del Comecon, dovrebbe avere tra i suoi effetti anche quello di richiamare al rispetto di precise regole di scrittura sia per i nomi delle unità di misura, sia per i loro simboli. Così non è. Basta dare un'occhiata a molti libri di testo o scorrere le pagine di riviste specializzate di carattere tecnico, scientifico, didattico. Da molte parti si trova scritto *joules*, *watts*, *ampères* e simili: è corretto volgere al plurale queste unità con l'aggiunta della *s* finale? I simboli delle unità di misura vengono scritti da alcuni prima del numero, da altri dopo il numero: è davvero indifferente scrivere, per esempio, 10 m oppure m 10? E, visto che il simbolo del secondo è s per alcuni, *sec* per altri, sarà proprio lecito stabilire a piacere a quale simbolo ricorrere? È indifferente scrivere il nome dell'unità per esteso o indicarne soltanto il simbolo? È corretto troncare l'indicazione del simbolo con un puntino? E ancora si commette errore, quando si misura la massa e il peso nelle medesime unità di misura? Non si tratta di questioni puramente formali, ma se anche lo fossero, non si può negare che in questi casi la forma è importante al pari della sostanza. Frequente fonte di errore è l'unità di misura della pressione, riportata in quasi tutti i manometri in commercio in kilogrammi al centimetro quadrato (kg/cm^2) anziché in pascal (Pa).

A molti anni dall'entrata in vigore delle norme CEE si possono ancora leggere scritte del tipo: "potenza fiscale 7 Cv" (documento di circolazione autoveicolo, Ministero dei Trasporti); "a mt 500 stazione di servizio" (autostrade, ANAS); "peso netto gr 200" (ricette culinarie); "peso netto CGR 12" (bustina di zafferano); "volume c.c. 250" (flacone antisettico); "vol cl 33" (lattina di birra); "volume 150 cmc" (bottiglia di shampoo); "vendesi mq 13500 di terreno agricolo" (inserzione su quotidiani).

Sebbene nel nostro paese il S.I., disciplinato dal DL n° 122 del 14/04/78 "attuazione normativa e organizzativa di direttive CEE in materia di strumenti di misura e metodi di controllo metrologico" e pubblicato sulla gazzetta ufficiale il 22/4/78 con il D.P.R. n. 802 del 12.08.1982, sia stato

adottato con serietà di intenti, tuttavia continuano a regnare incontrastati simboli errati e nefandezze di ogni genere. Spesso si fa confusione tra concetti fisicamente ben diversi, quali potenza ed energia, massa e peso; infatti si commettono gravi errori nel linguaggio quotidiano e non solo, quando si afferma che “è in progetto una centrale elettronucleare di energia di 1 800 MW” (il watt non è un’unità di energia, ma di potenza); quando entriamo in un negozio di articoli elettrici e chiediamo “una lampada da 100 cd” (anziché da 100 W). Si peggiora, quando alla domanda “quanto pesi?” rispondiamo “72 kili”. In questo caso commettiamo due errori: uno perché kilo, essendo un prefisso, significa solo mille e quindi dovremmo dire casomai kilogrammo e l’altro perché il kilogrammo non è comunque un’unità di peso, ma di massa. Vasto è il campionario delle “nefandezze metrologiche” nel campo dell’istruzione. Nella scuola, per esempio, si continua a confondere il centilitro col centimetro cubo; a imporre l’uso del miriametro “simbolo mam” vivamente sconsigliato nel S.I., in quanto il suo simbolo è costituito da tre lettere e può facilmente creare confusione; si insiste con l’impiego di termini che non sono grandezze fisiche, quali amperaggio, voltaggio, wattaggio in luogo di corrente elettrica, tensione e potenza rispettivamente. Può capitare di leggere la durata di una gara olimpica indicata con 27’ 35”, utilizzando i simboli dei minuti e secondi d’angolo invece della corretta scrittura 27 min 35 s. Altri esempi di analfabetizzazione metrica sono: leggere la bolletta ENEL in kilowatt, quando è invece noto che l’ENEL ci addebita un tot per ogni kilowattora di energia consumata e non per ogni kilowatt di potenza impegnata; scrivere il metro quadrato col simbolo mq, anziché con m^2 : per esempio l’atto di acquisto di un terreno potrebbe perdere valore legale, se la superficie del terreno fosse indicata col simbolo mq, che non ha alcun valore legale, dal momento che la legge italiana adotta ufficialmente come unità di misura delle superfici il metro quadrato, simbolo m^2 . Per continuare citiamo il contributo dato dai mass media nell’uso, vivamente sconsigliato, del grado centigrado come unità di misura della temperatura. Infatti i gradi di temperatura si chiamano centigradi, quando l’intervallo tra due punti fissi di riferimento (in pratica la temperatura di fusione del ghiaccio e quella di ebollizione dell’acqua, entrambe a pressione di 101 325 Pa) viene suddiviso in cento parti uguali. Ne consegue che sia il kelvin che il grado celsius sono gradi centigradi, mentre normalmente si intende erroneamente che la dizione grado centigrado sia riferita solo al grado celsius. Un’ambiguità nella

dichiarazione della scelta del sistema di misurazione ha comportato addirittura il fallimento di un progetto, di una sofisticata missione spaziale, progettata dalla NASA. La sonda Mars Climate Orbiter, predisposta per raggiungere Marte il 23 settembre 1999, è stata persa irrimediabilmente per aver confuso con superficialità alcune unità di misura tipicamente e convenzionalmente europee con altre americane. La conseguenza è stata una notevole perdita di denaro, di tempo e di credibilità. Se la missione fosse stata umana e non automatica, cosa sarebbe successo? Questi sono solo alcuni esempi ma la lista potrebbe allungarsi all'infinito, mostrando come l'analfabetizzazione metrica sia estremamente e drammaticamente diffusa.

Affrontiamo ora più da vicino alcuni contenuti minimi riguardanti i sistemi di misura in generale e il S.I. in particolare.

1. Grandezze fondamentali e derivate

Le prime grandezze fisiche, che sono state introdotte storicamente, sono quelle geometriche e pertanto tutta la metrologia delle grandezze fisiche va intesa come un'estensione del concetto euclideo di grandezza geometrica. Una classe di grandezze si costruisce, raggruppando sotto la denominazione della classe tutti quegli enti che corrispondono alla medesima definizione generica e istituendo un procedimento di confronto tra di essi. Fare il confronto tra due differenti grandezze della stessa classe significa stabilire quale sia maggiore, minore o quando siano uguali e istituire un procedimento che ci permetta di costruire una grandezza che sia somma di due o più grandezze (grandezza questa, che appartiene, come le precedenti, alla medesima classe). Allo stesso modo si costruisce la grandezza differenza. L'operazione di confronto di due grandezze appartenenti alla medesima classe ci permette inoltre di farne il rapporto, individuando ciascuna grandezza della classe mediante un numero, che rappresenti il rapporto di quella particolare grandezza rispetto ad un'altra, presa come grandezza di riferimento o unità di misura. Si istituisce così una corrispondenza biunivoca tra la classe delle grandezze fisiche e quella dei numeri reali positivi: esiste cioè uno e un solo numero che corrisponda a quella grandezza fisica e, viceversa, scelto un numero reale positivo, esiste una grandezza fisica e una sola che corrisponda a quel numero. Questa corrispondenza gode anche di un'altra proprietà: la misura della grandezza, somma di altre due grandezze, è data dalla somma dei numeri che rappresentano queste due grandezze. Di

conseguenza per eseguire la somma, la differenza o il rapporto tra due grandezze sarà sufficiente operare la somma, la differenza o il rapporto tra i numeri che identificano le singole grandezze. Poiché le grandezze utilizzate per descrivere tutti i fenomeni fisici sono più di cento, se volessimo misurarle tutte direttamente, dovremmo individuare per ognuna di esse un campione, definire un'unità di misura e progettare almeno uno strumento per misurarla. Gli strumenti dovrebbero essere tarati e periodicamente controllati e ciò renderebbe l'insieme delle operazioni di misura veramente complicato e costoso. Per questo si preferisce misurare direttamente un numero limitato di grandezze (il minor numero possibile!) e determinare tutte le altre con delle misure indirette. Le grandezze misurate direttamente, per cui viene definita un'unità di misura, sono dette grandezze fondamentali e le altre grandezze derivate. In generale si chiamano grandezze fondamentali (unità fondamentali) le grandezze che vengono scelte arbitrariamente e grandezze derivate quelle che vengono definite mediante le relazioni fisiche intercorrenti tra le grandezze stesse. Le grandezze fondamentali devono essere tra loro indipendenti, nel senso che l'unità di una di esse non sia ricavabile dalle altre; devono essere tali per numero e natura, da consentire la definizione di tutte le grandezze derivate. Per le classi di grandezze derivate le misure relative non sono determinate confrontando tra loro grandezze della stessa classe, ma utilizzando relazioni analitiche note che legano queste grandezze a grandezze fondamentali e misurando direttamente queste ultime. Le unità di misura per le grandezze derivate vengono determinate dalle unità di misura delle grandezze fondamentali. Al variare quindi di quest'ultime variano automaticamente le unità di misura delle grandezze derivate, mentre le leggi fisiche rimangono valide e inalterate.

2. Dimensioni e controllo dimensionale.

È noto dalla scuola primaria che una linea ha una dimensione; una superficie ne ha due; un volume ne ha tre. Questo perché per la loro rappresentazione occorrono rispettivamente un asse, due assi (piano cartesiano), tre assi (spazio cartesiano). Pertanto, se conveniamo di rappresentare una linea col simbolo $[L]$, una superficie S (la cui area è sempre il prodotto di due lunghezze) potrà essere rappresentata col simbolo $[L] \cdot [L] = [L^2]$; analogamente un volume V col simbolo $[L] \cdot [L] \cdot [L] = [L^3]$. Gli esponenti 1; 2; 3; di $[L]$ rappresentano le dimensioni delle grandezze e, nel caso dei facili esempi suddetti, danno

l'idea delle direzioni in cui si estende la grandezza stessa. Ma questo concetto di estensione, che è così evidente per le grandezze metriche, diventa meno evidente per le altre grandezze. Si chiarisce altresì che in conformità al calcolo algebrico l'esponente 0, dato a un qualunque simbolo, indica che la grandezza è indipendente (e cioè non ha dimensioni, ossia ha dimensioni 0) rispetto a quel simbolo. I simboli a cui sono riferiti tutte le grandezze meccaniche nel sistema S.I. sono [L]; [T]; [M]; e cioè gli stessi che rappresentano le tre grandezze fondamentali: lunghezza, intervallo di tempo e massa. L'espressione di una qualsiasi grandezza in termini delle grandezze fondamentali fornisce le dimensioni della grandezza, che solitamente vengono indicate con lettere maiuscole tra parentesi quadre. Con analoghe considerazioni si ottengono per le altre grandezze le espressioni dimensionali calcolate dalla definizione di ogni grandezza e precisamente dalla formula che la esprime, sostituendo al posto dei simboli le corrispondenti espressioni in funzioni di [L], [T], [M]. Alcuni esempi:

l'equazione dimensionale della velocità $v = \frac{\Delta L}{\Delta T}$ è: $v = [L \cdot T^{-1} \cdot M^0]$; le

dimensioni della velocità sono quindi 1 per L, -1 per T e 0 per M.

L'eq. dimensionale dell'accelerazione $a = \frac{\Delta V}{\Delta T}$ è: $a = [L \cdot T^{-2} \cdot M^0]$; le

dimensioni dell'accelerazione sono quindi 1 per L, -2 per T e 0 per M.

L'equazione dimensionale della forza $F = m \cdot a$ è: $F = [L \cdot T^{-2} \cdot M]$; le dimensioni della forza sono quindi 1 per L, -2 per T e 1 per M.

L'equazione dimensionale del lavoro $L = F \cdot s$ è: $L = [L^2 \cdot T^{-2} \cdot M]$; le dimensioni del lavoro sono quindi 2 per L, -2 per T e 1 per M.

Le leggi fisiche debbono essere omogenee dal punto di vista dimensionale, se vogliamo che esse restino valide al cambiare delle unità di misura delle classi di grandezze fondamentali. Ovviamente le dimensioni dei vari termini di una legge fisica dipendono dalla scelta di una organizzazione metrica, ossia di un gruppo di classi fondamentali e di un corpo di leggi istitutive dei procedimenti indiretti di misura. Questo principio ci permette a priori di stabilire che una legge fisica è

sicuramente sbagliata, se i due membri di una qualsiasi relazione fisica non hanno le stesse dimensioni, in quanto non si possono confrontare tra di loro grandezze eterogenee. Infatti qualsiasi uguaglianza o confronto tra grandezze fisiche ha significato solo se le grandezze hanno le stesse dimensioni. Non ha alcun senso in fisica (e neppure in qualsiasi altro tipo di ragionamento) chiedersi se 0.5 m sono più di 40 N. Pertanto, un fatto importante da ricordare è che ogni termine in una equazione deve avere le stesse dimensioni. Con la parola termine intendiamo qualsiasi quantità che debba essere sommata o sottratta in una equazione. Evidentemente i due membri dell'equazione devono avere le stesse dimensioni. Un'equazione nella quale al primo membro compare una forza e nel secondo membro una pressione o un lavoro o una velocità contiene senz'altro qualche errore. Un'ulteriore regola da tenere presente nel calcolo dimensionale è che gli argomenti delle funzioni goniometriche, degli esponenziali, dei logaritmi devono essere adimensionali per non alterare i controlli dimensionali. In certi casi il criterio di omogeneità dimensionale permette di determinare la relazione tra grandezze, che entrano in gioco in una legge fisica a meno di eventuali costanti adimensionali. In pratica dallo studio dimensionale di un fenomeno fisico è possibile avere alcune indicazioni sulla legge che lo governa. Il teorema fondamentale dell'analisi dimensionale dovuto a Riabucisky Buckingham o teorema π permette di trovare la legge, che governa un fenomeno.

Si badi tuttavia che l'accertata omogeneità e uniformità di una formula è condizione necessaria ma non sufficiente dell'esattezza di essa, poiché vi possono essere stati errori nei fattori numerici, nelle grandezze adimensionate ed equidimensionate, che nelle equazioni in parola non vengono segnalati. Sofferamoci brevemente su queste grandezze equidimensionate e cioè su quelle che, pur essendo di specie diversa, presentano uguali dimensioni. Ad es. il momento di una forza e il lavoro di una forza hanno in comune le dimensioni 2 per la lunghezza, -2 per il tempo, 1 per la massa; grave sarebbe di qui dedurre l'uguaglianza della specie e quindi la possibilità di sommarle, sottrarle, ecc. Ciò avviene, perché l'espressione dimensionale non tiene conto del fatto che il momento meccanico è il prodotto di una forza per la distanza (perpendicolarmente) della retta di azione da un punto assegnato, mentre il lavoro è il prodotto di una forza per lo spostamento del suo punto di applicazione lungo (parallelamente) la sua retta di applicazione. Momento meccanico e lavoro sono due grandezze fisiche che hanno

uguali dimensioni ma sono di tipo diverso (cioè sono non omogenee). Pertanto, tali grandezze non possono essere sommate né essere termini di una stessa equazione. Si conclude, affermando, che se i due membri di un'equazione fisica hanno le stesse dimensioni, allora essa può essere corretta; se non hanno le stesse dimensioni allora sicuramente è sbagliata. Un discorso particolare richiede la grandezza "angolo". Accanto alle sette grandezze fondamentali il S.I. definisce due grandezze supplementari: l'angolo piano e l'angolo solido. In tal modo la misura degli angoli si riduce a quella di lunghezze o di aree e si evita il ricorso ad altre unità non coerenti, quali ad esempio i gradi sessagesimali. In effetti l'11ma CGPM (1960) aveva creato per l'angolo piano e l'angolo solido una classe separata di grandezze, le grandezze supplementari ma la 20ma CGPM (1995) ha soppresso la classe delle grandezze supplementari, inserendo l'angolo piano e l'angolo solido nella classe delle grandezze derivate. In effetti la questione degli angoli non è stata ancora del tutto risolta. Nella geometria elementare l'angolo piano viene introdotto come grandezza primaria e si definisce "angolo compreso fra due semirette" il rapporto fra la lunghezza s dell'arco intercettato dalle semirette su di una qualsiasi circonferenza avente per centro il loro punto di incontro e il raggio r della circonferenza stessa: $\theta = \frac{s}{r}$. Poiché s ed r hanno la dimensione di una lunghezza e quindi le loro unità sono coerenti, si ha che l'equazione tra misure è $\theta = H \cdot \frac{s}{r}$, mentre

l'equazione tra le unità risulta: $\theta = [H] \cdot \frac{[s]}{[r]} = [H]$; cioè le dimensioni di

θ sono le stesse di quelle di H e l'unità di angolo è quindi anche l'unità della costante H . Si vede facilmente che la costante H è l'angolo che sottende un arco di circonferenza s di lunghezza pari al raggio r . La scelta dell'unità di misura di θ (o di H) è arbitraria. Due sono le convenzioni più diffuse:

- $H = 1$: l'unità coerente di angolo risultante è il radiante (rad);

- $H = \frac{360}{2\pi}$: l'unità di angolo risultante è il grado nonagesimale ($^\circ$).

Nell'uno e nell'altro caso si dovrebbe pertanto scrivere: $\theta = (1rad) \cdot \frac{s}{r}$ e

$\theta = \left(\frac{360}{2\pi}\right)^0 \cdot \frac{s}{r}$. Volendo pertanto procedere coerentemente,

occorrerebbe introdurre l'unità di misura di H – ossia $[H]$, che ha lo stesso diritto di cittadinanza in fisica delle unità di misura per lunghezze, tempi, masse e così via. Essendo però $[H]$ una costante universale e avendo θ e H le stesse dimensioni, si suole lasciare cadere – per convenzione – l'1 ed il rad, scrivendo l'angolo piano semplicemente come: $\theta = \frac{s}{r}$ lasciando sottinteso che la cosa è vera solamente per angoli misurati in radianti.

Alcune quantità non sono esprimibili in funzione delle grandezze fondamentali, in quanto da esse del tutto indipendenti: tali quantità si dicono adimensionali. Ad esempio la densità relativa, rapporto tra la massa di un corpo (M_c) e la massa di pari volume di acqua (M_{acqua}), in determinate condizioni di temperatura ha per equazione dimensionale

$$d_r = \frac{M_c}{M_{acqua}} [L^0 T^0 M^0].$$

Le sue dimensioni sono quindi 0, 0, 0, da cui si

conclude che la densità relativa è una grandezza senza dimensioni (adimensionata) e cioè indipendente dalle grandezze fondamentali e dalle loro unità di misura. Si può quindi fare una prima distinzione tra

- le grandezze dimensionate e cioè dotate di

	nome	misura	unità
ad es.	lavoro	15	J (joule)

- le grandezze adimensionate e cioè dotate solo di

	nome	misura	manca l'unità
ad es.	densità relativa	0,92	-----

Restano infine come terza categoria i numeri puri, che sono privi sia di nome, sia di unità e sono costituiti solo dal valore

nome	misura	unità
-----	3,141...	-----

Questa chiara differenza impedisce quindi di confondere, come molti invece fanno, i numeri puri con le grandezze adimensionate: i numeri puri si possono impunemente sommare tra loro, le grandezze adimensionate no. Un numero puro si può considerare privo di nome e il suo valore, quando compaia accanto a una grandezza, si può interpretare come moltiplicatore di tale grandezza. Per es.: il perimetro di un quadrato di lato l è $4 \cdot l$; 4 compare come numero puro.

3. Norme di scrittura delle unità di misura del S.I.

Il S.I. nella pratica didattica viene di solito "liquidato" con poche battute, limitate per lo più alle definizioni delle unità attualmente in uso, perdendo così una buona opportunità per evidenziare i legami tra scienza e società in uno dei campi in cui il loro intreccio è più stretto. Il S.I., diretto discendente del Giorgi, si poneva come obiettivo primario quello di mettere ordine nel caos esistente tra le varie unità di misura dei sistemi metrici precedenti, che aveva prodotto conseguenze negative su molte fondamentali attività dell'uomo, da quelle scientifiche, a quelle industriali, a quelle commerciali. La commissione pesi e misure nella XI conferenza tenuta a Parigi (Ottobre 1960) ha definito e approvato il sistema di unità di misura, detto Sistema Internazionale, indicato con la sigla S.I., che comprende oltre alle unità meccaniche, elettriche e magnetiche anche le unità termiche, fotometriche e della quantità di sostanza. Il S.I. è un sistema completo, in quanto sono definite un numero di unità di grandezze fondamentali che permettono di descrivere tutti i fenomeni fisici osservabili; inoltre il S.I. è un sistema assoluto, coerente, decimale (tranne che per la misura degli intervalli di tempo) e razionalizzato; esso stabilisce le unità di misura di tutte le grandezze fisiche sulla base di sette grandezze fondamentali e due grandezze supplementari (norme ISO/R 1000; norma CNR-UNI 1003; norma CEI P 104). Il S.I. è un sistema coerente di unità, cioè tutte le unità derivate sono ottenute da quelle di base e da quelle supplementari attraverso una moltiplicazione o una divisione (o una combinazione di queste operazioni): ciò permette di assicurare a ogni grandezza fisica una sola unità. Questa proprietà inoltre presenta il grandissimo vantaggio di evitare di ricordare a memoria fattori numerici presenti invece in grande quantità nei sistemi non coerenti. È sufficiente conoscere bene la fisica e ricordare le sette unità fondamentali per costruirsi a vista tutte le unità derivate. La stessa cosa non accade per altre unità definite in altri sistemi:

per esempio, nel sistema tecnico, l'unità di potenza, il cavallo vapore, simbolo CV, è definito come 75 kgf m/s e se non ricordiamo il fattore 75, addio fattore di conversione tra cavallo vapore e watt. Così la conversione tra elettronvolt e joule richiede la conoscenza della carica elettrica dell'elettrone. Non parliamo poi dei sistemi britannici, dove le varie unità di lunghezza, massa, forza sono correlate dai più disparati fattori numerici: ora 3, ora 6, ora 8, ora 12, ora 16, ecc. Molti dettami del S.I. non sono rispettati nella pratica, nonostante la loro applicazione non costi nulla e sia solo, a questo punto, una questione di buona volontà. Giornali, televisioni e, purtroppo, anche importanti ditte ed enti pubblici e privati non danno certo il buon esempio in materia.

Il S.I. detta inoltre le regole di scrittura dei nomi, dei simboli e dei numeri delle grandezze e delle unità di misura. I nomi e i simboli delle unità di misura del S.I. sono indicati nella seguente tabella:

Grandezze fondamentali	Unità	S.I.
	nome	Simbolo
lunghezza	metro	m
intervallo di tempo	secondo	s
massa	kilogrammo	kg
corrente elettrica	ampere	A
temperatura termodinamica	kelvin	K
intensità luminosa	candela	cd
quantità di sostanza	mole	mol
Grandezze supplementari		
angolo piano	radiante	rad
angolo solido	steradiano	sr

I nomi di tutte le unità S.I. sono considerati nomi comuni e pertanto si scrivono con l'iniziale minuscola, anche se alcuni di essi derivano da nomi di scienziati (ampere, kelvin); sono invariabili al plurale, eccetto il metro, il kilogrammo, il secondo, la candela, la mole, il radiante, lo steradiano e tutte le unità derivate in cui essi compaiono. La prescrizione di invariabilità al plurale ha valore per i nomi delle unità di misura e, a maggior ragione, per i simboli, che devono essere scritti con l'iniziale maiuscola, se derivati da nomi propri. L'unità di misura, se citata in un periodo nel quale non è accompagnata dal valore numerico della grandezza cui si riferisce, va scritta per esteso e mai in simbolo. Se il

simbolo dell'unità è composto da più unità non si devono utilizzare trattini ma solo un punto a mezza altezza o uno spazio vuoto: avremo "N m" o "N·m" invece di "N-m". Il simbolo delle unità si deve usare solo quando l'unità è accompagnata dal valore numerico; esso deve essere scritto in carattere non corsivo (A e non *A*), dopo il valore numerico rappresentante la misura (non più m 15, bensì 15 m), lasciando uno spazio tra il numero e il simbolo. Lo stesso deve essere usato ogni volta che l'unità accompagna il numero che esprime la relativa misura (si scriverà 12 m e non 12 metri; mentre si scriverà quindici metri e non quindici m). I simboli delle unità di misura non vanno mai seguiti dal punto (salvo che non si trovino a fine periodo). Le unità devono sempre essere scritte in carattere tondo minuscolo, prive di accenti e altri segni grafici. Le moltiplicazioni tra numeri devono essere indicate con il simbolo "×" mentre quelle tra lettere con il punto centrale. Le principali regole del S.I. prevedono che, al fine di rendere più "leggibili" i valori numerici con molte cifre, queste debbono essere divise in blocchi di tre, lasciando uno spazio vuoto tra l'uno e l'altro (sono quindi proibiti i punti separatori). Si avrà così, ad esempio, che il raggio medio della terra è 6 371 001 m , ecc. Per evitare di dovere scrivere molti numeri sotto forma di potenze di 10, è consigliabile l'uso di prefissi che, anteposti al simbolo dell'unità di misura, ne modificano il valore per una potenza di dieci. I seguenti prefissi modificano il valore dell'unità di misura per il fattore indicato.

prefisso	simbolo	fattore	prefisso	simbolo	fattore
yocto-	y	10^{-24}	deca-	da	10
zepto-	z	10^{-21}	etto-	h	10^2
atto-	a	10^{-18}	kilo-	k	10^3
femto-	f	10^{-15}	mega-	M	10^6
pico-	p	10^{-12}	giga-	G	10^9
nano-	n	10^{-9}	tera-	T	10^{12}
micro-	μ	10^{-6}	peta-	P	10^{15}
milli-	m	10^{-3}	exa-	E	10^{18}
centi-	c	10^{-2}	zetta-	Z	10^{21}
deci-	d	10^{-1}	yotta-	Y	10^{24}

Nella prima colonna c'è il "nome", che viene letto insieme con il nome dell'unità; nella seconda il simbolo, che viene scritto immediatamente

attaccato al simbolo dell'unità; nella terza il fattore di scala. I prefissi che iniziano con le lettere "y" e "z" sono stati introdotti solo nel 1990 e il loro uso è ancora molto limitato. Il vantaggio di tali prefissi è di facilitare la rappresentazione finale dei risultati con la riduzione al minimo del numero degli zeri.

4. Campioni di misura

La definizione del metro è passata storicamente attraverso varie epoche. Quando è stato inizialmente definito, alla fine del settecento, era legato a una caratteristica "naturale" (il meridiano terrestre) che però all'epoca era di difficile misura; quindi, per poter effettuare dei confronti, si utilizzò subito un campione artificiale, che fu poi varie volte modificato (lasciandone ovviamente inalterata la lunghezza) per renderlo più stabile. Nel 1960 si tornò a un campione naturale, legato a caratteristiche dell'atomo di krypton. L'anno 1983 è un anno che è passato alla storia nel campo della metrologia, perché ha segnato l'avvento di una nuova definizione di metro. Mentre il metro di platino-iridio ha regnato per 83 anni, dal 1875 al 1960, il ruolo centrale della lampada a kripton 86 è cessato dopo soli 23 anni. La nuova definizione relega il metro al rango di unità derivata, espressa in funzione della velocità della luce nel vuoto. La definizione adottata il 20 Ottobre 1983 è la seguente: "il metro è la lunghezza del tratto percorso dalla luce nel vuoto in $1/299\,792\,458$ s". Alla base di questa nuova definizione sono la conservazione della definizione di secondo e l'abbandono del ruolo della lunghezza, rimpiazzato dalla velocità. Interessanti sono le conseguenze: il valore nel vuoto della velocità della luce "c" è fissato; la definizione del metro è migliorata; il valore effettivo del metro cambierà in relazione al progresso dei laser stabilizzati. Conseguenza della nuova definizione di metro poteva essere l'abbandono della lunghezza come una delle grandezze fondamentali a favore della velocità; ma così non è stato, perché ciò avrebbe significato modificare la struttura del S.I. senza ricavarne vantaggio pratico. Si è dunque preferito mantenere il metro nelle unità base del S.I. e il metro per secondo nelle unità derivate. Parliamo ora brevemente del campione di massa la cui storia è particolarmente significativa, perché esso è rimasto praticamente invariato per oltre due secoli. Quando, alla fine del 1700, l'Accademia delle Scienze di Francia ebbe l'incarico di definire il campione universale di massa, fissò questo riferimento uguale alla massa di un decimetro cubo di acqua distillata alla temperatura della sua massima densità (3,98 °C).

In pochi anni, tuttavia, ci si rese conto che tale campione risultava poco adatto per le misurazioni e nel 1799 esso fu sostituito con un campione metallico; l'attuale campione di massa è il chilogrammo, prototipo di platino-iridio, sanzionato dalla I CGPM del 1889 e depositato presso il Bureau International des Poids et Mesures nei sotterranei del padiglione di Breteuil, a Sèvres. A proposito della massa nel 1954 la Commissione italiana di metrologia aveva fatta propria la proposta di G. Polvani di sostituire il nome "chilogrammo" e il suo simbolo kg con "bes". Purtroppo tale proposta, indubbiamente interessante, ebbe scarso seguito in Italia e, quel che è peggio, non trovò sostegno internazionale. Accettando dunque per la nostra lingua il simbolo kg è preferibile allineare su questo anche il nome dell'unità, scrivendo "kilogrammo" (e così per tutte le unità con il prefisso metrologico "k-"), anche in accordo con la fonica dell'originale termine greco. Delle tre principali unità di base, il metro, il chilogrammo e il secondo, la prima e l'ultima fanno riferimento a campioni naturali e solo il chilogrammo resta per il momento al di fuori di questa evoluzione verso "campioni naturali". Infatti i campioni naturali per la massa suggeriti finora non permettono di definire l'unità di massa con la precisione del prototipo internazionale di platino-iridio. La tabella fornisce per le sette unità fondamentali quanto di meglio si riesce a fare negli intervalli di misura più favorevoli. Si può peraltro osservare il notevole squilibrio esistente fra i casi migliori e quelli peggiori.

Unità fondamentali	Incertezza relativa
metro	$4 \cdot 10^{-9}$
kilogrammo	10^{-8}
secondo	10^{-14}
ampere	$6 \cdot 10^{-6}$
kelvin	10^{-6}
mole	10^{-6}
candela	$5 \cdot 10^{-3}$

Per porre fine alle nefandezze, di cui abbiamo parlato ampiamente, e favorire l'adeguamento al S.I. è necessario che l'industria di certi settori strumentali intervenga rapidamente, producendo strumenti tarati nelle nuove unità di misura. Conseguentemente si dovrà chiedere al

fruttivendolo non più due kilogrammi di limoni ma 20 N di limoni, se la sua bilancia è tarata in newton. Solo così l'addetto a un impianto di carburante gonfierà le gomme di un'auto a 200 kPa e non più a 2.0 atm, se il suo manometro è tarato in kilopascal. Lo sforzo maggiore si richiede parimenti nel settore dell'istruzione: al bambino in età scolare è necessario insegnare subito le prime unità corrette, per poi apprendere, proseguendo negli studi, quelle più complesse. Evidentemente anche gli autori dei libri di testo scolastici sono chiamati a scrivere correttamente le unità del S.I. Convinciamoci che è una strada questa che comunque si deve percorrere, anche se ci costerà qualche sacrificio, per unificare a livello internazionale le varie unità di misura. Possiamo consolarci pensando che ben maggiori disagi dovranno sopportare i paesi anglosassoni, per rinunciare alle loro tradizionali unità, quali il piede, l'oncia, il gallone, il pollice, il miglio, ecc.

Il S.I., anche se può essere considerato il miglior sistema esistente, è suscettibile di miglioramenti. Forse le unità di cui è costituito non subiranno cambiamenti a breve termine; tuttavia, certamente, nel momento in cui il progresso scientifico e tecnologico offrirà campioni più stabili e consentirà misure più precise, le definizioni delle unità verranno modificate.

Antonio Segalotti

Bibliografia

D. L. 14 Aprile 1978, n° 122.

M. Fazio: "*Dizionario e manuale delle unità di misura*", Zanichelli.

A. Portalupi: "*Misurazioni fisiche nella tecnica industriale*", Feltrinelli

C. Bussolanti: "*Complementi di fisica*", Clup.