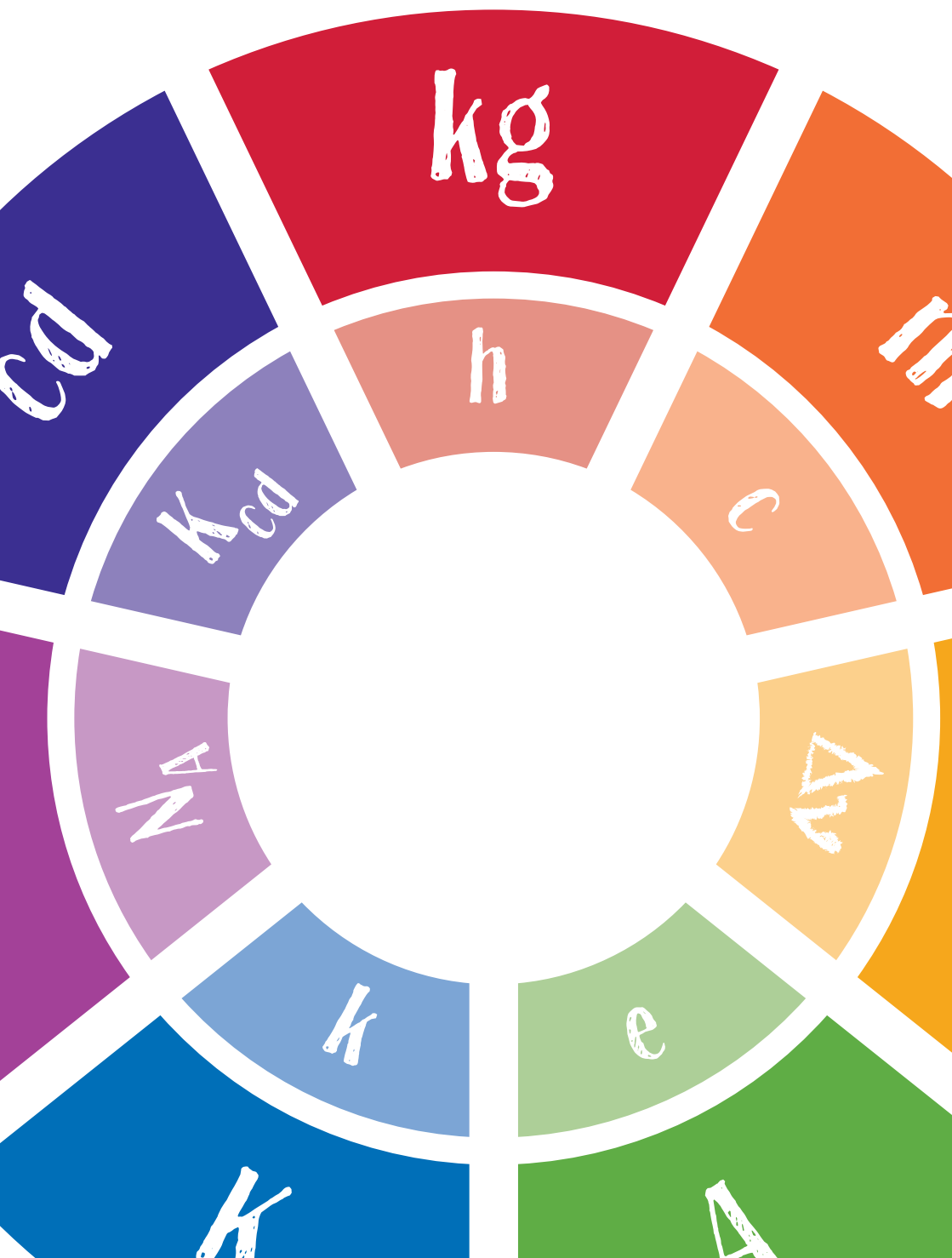


Le nostre unità di misura

Il Sistema Internazionale di unità di misura

SI







La misurazione è onnipresente e necessaria	05
--	----

Sistema Internazionale di unità di misura SI

Le costanti al centro	06
Chilogrammo – kg	08
Metro – m	10
Secondo – s	12
Ampere – A	14
Kelvin – K	16
Mole – mol	18
Candela – cd	20

Misurare crea conoscenze, sicurezza, fiducia e rende possibile la produzione

Riferibilità indispensabile	22
Sempre più precisamente?	24
L'Istituto federale di metrologia METAS	26

Dalle misure locali basate sulle dimensioni umane al sistema mondiale di unità di misura

Dalla molteplicità all'unità	28
La Convenzione del Metro	30
Dalla Convenzione del Metro al Sistema Internazionale di unità di misura SI	32
Adeguamento continuo del sistema di unità di misura	34

Allegato

Prefissi SI	36
Notazione di valori numerici delle grandezze fisiche	37
Definizione delle unità importanti	38

cd

Display: 600 candela per m²

A

Accumulatore:
Corrente elettrica nella
gamma dei milliampere



GPS: geolocalizzazi-
one grazie alla
cronometria nell'
ordine di nanosecondi

s

kg

apparecchio: 192 g

m

Processore:
struttura nel
campo dei
nanometri

Il circuito stampato
contiene metalli
come rame, oro,
argento in quantità
millimolari

mol

Sensore di temperatura per una
temperatura di esercizio
ottimale

K



La **misurazione** è onnipresente e necessaria

Da sempre l'essere umano ha effettuato misurazioni. Il fatto di misurare ci aiuta a rilevare l'ambiente in modo ordinato per orientarci nella molteplicità delle cose e degli eventi. Anche ai tempi del baratto era necessario essere in grado di determinare in modo affidabile le quantità di merci.

Il nostro mondo industrializzato dipende ancora di più dalle misurazioni. Nella nostra vita quotidiana altamente tecnica continuiamo in realtà a fare affidamento alle misurazioni, dal momento in cui suona la sveglia e accendiamo la luce fino a quando ci corichiamo. Senza misurazioni ad alta precisione un prodotto tecnico complesso come ad esempio un telefono cellulare non potrebbe essere né sviluppato né fabbricato. Con esso non si potrebbe certamente né telefonare né ricevere e scambiare dati.

La base vincolante a livello globale per effettuare misurazioni è attualmente il Sistema Internazionale di unità di misura (SI). Nel novembre 2018 è stata decisa una revisione fondamentale del SI. In particolare, sono state ridefinite le unità centrali del SI, ad esempio il chilogrammo. In questo modo il SI è aperto ai futuri progressi tecnologici. Il presente opuscolo offre maggiori informazioni sull'importanza delle misurazioni, le unità di misura e il SI.

I Il Sistema Internazionale di unità di misura

SI

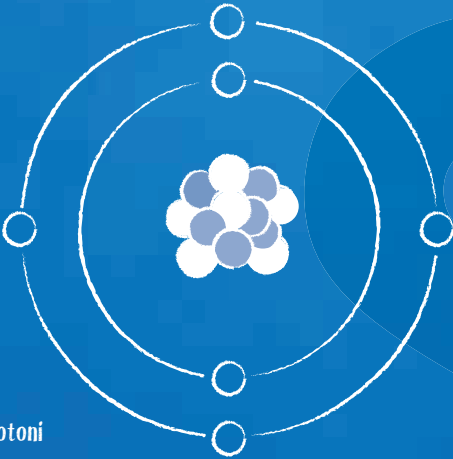
A partire dalla revisione fondamentale del *Système international d'unités* SI, entrata in vigore nel maggio 2019, tutte le unità sono definite utilizzando costanti fisiche. Siccome in precedenza il SI era stato definito da sette unità di base, per definirlo sono necessarie sette costanti. Un'unità definita dal valore fisso di costanti naturali può essere realizzata in conformità alle leggi della fisica secondo lo stato attuale delle conoscenze scientifiche e tecniche. In tal modo è possibile apportare miglioramenti alla realizzazione fisica di un'unità senza doverla ridefinire. Il SI è quindi aperto alle tecnologie e agli sviluppi.

Il SI viene definito utilizzando le seguenti sette costanti:

Costante definente	Simbolo	Valore	Unità	Simbolo
Costante di Planck	h	$6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J s}$ ($\text{J s} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$)	Chilogrammo	kg
Velocità della luce nel vuoto	c	$299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$	Metro	m
Frequenza della transizione fra due livelli iperfini dello stato fondamentale nell'atomo di ^{133}Cs	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	$9\,192\,631\,770 \text{ s}^{-1}$	Secondo	s
Carica elementare	e	$1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$ ($\text{C} = \text{A s}$)	Ampere	A
Costante di Boltzmann	k	$1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ ($\text{J K}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$)	Kelvin	K
Numero di Avogadro	N_{A}	$6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	Mole	mol
Equivalente fotometrico di una radiazione monocromatica di $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$	K_{cd}	683 lm W^{-1}	Candela	cd

Gli elementi costitutivi della natura, le particelle elementari come gli elettroni o, protoni e neutroni, hanno le stesse proprietà ovunque. La carica di un elettrone è sempre la stessa. La velocità della luce è indipendente da tempo e luogo. Un'altra costante fondamentale è la cosiddetta costante di Planck, che determina il rapporto tra energia e frequenza di particelle di radiazioni elettromagnetiche. Anch'essa rimane invariata in tutto l'universo.

Se si desidera definire un sistema stabile di unità di misura con definizioni valide il più a lungo possibile, è una buona idea utilizzare questi elementi costitutivi della natura come punto di riferimento per il sistema di unità di misura. Realizzare ciò non è stato altrettanto facile per tutte le precedenti unità di base del Sistema Internazionale di unità di misura (SI). Ci sono voluti anni di lavoro di sviluppo ed esperimenti complessi prima di poter basare l'intero SI su un insieme di costanti con valori definiti con precisione.



- Protoni
- Neutroni
- Elettroni

$$e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C (C = A s)}$$



Chilogrammo

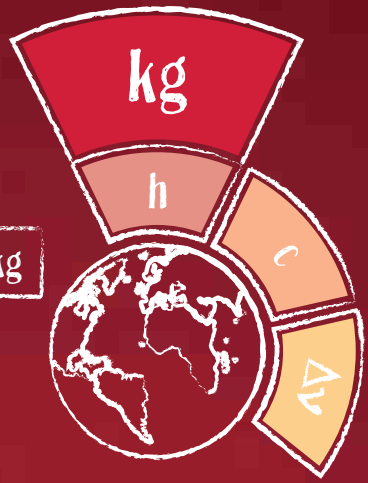
kg

Il chilogrammo (simbolo kg) è l'unità di misura per il misurando Massa. Questa unità è particolarmente importante per il commercio.

Fino a poco tempo fa l'unità di misura Chilogrammo era definita dal chilogrammo prototipo di Parigi. Era l'ultima unità ad essere ancora definita mediante un campione materiale, un cosiddetto artefatto. Il chilogrammo prototipo, un cilindro metallico di platino e iridio era disponibile in un solo luogo, in una cassaforte dell'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure a Parigi. Un artefatto come il chilogrammo prototipo non rimane invariato per un lungo periodo di tempo. Esso può perdere atomi, col passare del tempo con la pulizia questo artefatto può perdere qualche milionesimo di grammo di massa. Ma tale campione materiale può anche assorbire molecole dall'aria e diventare quindi un po' più pesante. Inoltre, un artefatto potrebbe essere danneggiato o rubato.

Si possono evitare tali effetti utilizzando una definizione basata su costanti naturali. L'unità di misura Chilogrammo è ora definita da costanti, cioè dalla costante di Planck h e da altre costanti.

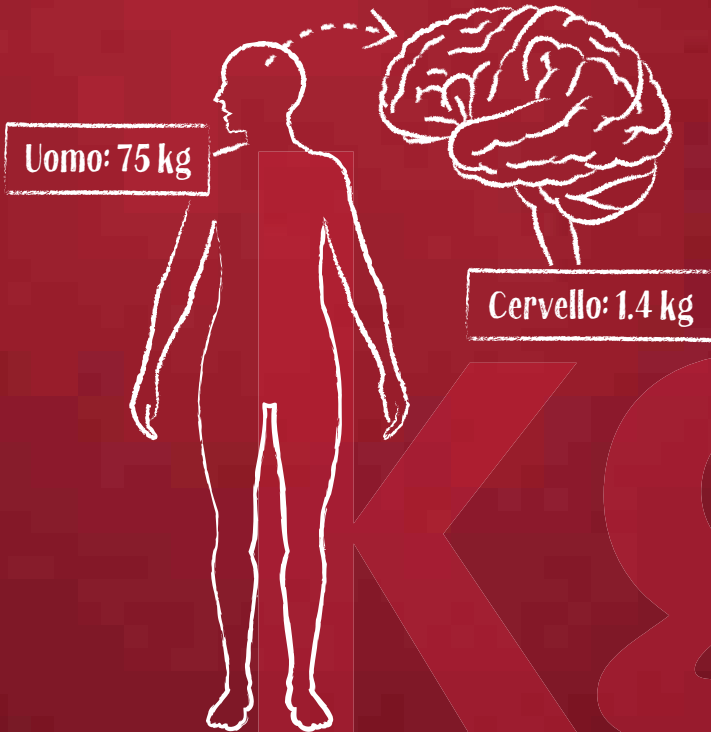
Prima di poter sostituire la definizione dell'unità di misura Chilogrammo si è dovuto determinare la costante di Planck con la necessaria incertezza di misura (L'incertezza di misura è una misura dell'accuratezza). Ciò è stato effettuato mediante due diversi esperimenti: la bilancia di Watt e il progetto Avogadro. La bilancia di Watt è un esperimento complesso, che consta di due parti ed è basato sul confronto accurato tra energia meccanica ed energia elettrica. Presso il METAS è stata sviluppata e messa a punto una bilancia di Watt. Il progetto Avogadro si è concentrato sul conteggio degli atomi di silicio in una sfera di silicio ultra-puro fabbricata con grande accuratezza e con una massa definita con precisione. Anche questo approccio ha permesso di trarre conclusioni circa la costante di Planck. Nel frattempo il valore della costante di Planck è stato determinato. Dato che l'unità di misura Chilogrammo è stata definita mediante un valore fisso della costante di Planck, essa può essere ora realizzata utilizzando una bilancia di Watt o un altro esperimento. La definizione del chilogrammo basata su costanti naturali garantisce la stabilità a lungo termine di quest' unità.



Terra: 5.972×10^{24} kg



Balenottera azzurra: 190'000 kg



Uomo: 75 kg

Cervello: 1.4 kg

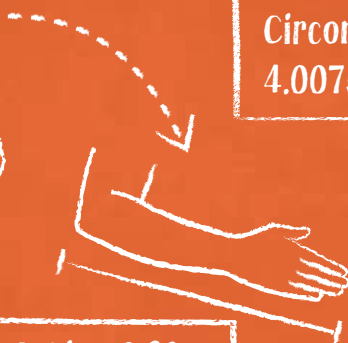
kg



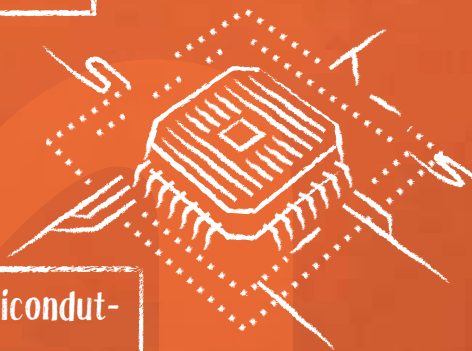
Dimensione
dell'uomo:
 1.75 m



Circonferenza terrestre:
 $4.0075 \times 10^7 \text{ m}$



Cubito: 0.28 m



Struttura dei semicondut-
tori nel campo dei
nanometri: 10^{-9} m

Il metro (simbolo m) è l'unità di misura per il misurando Lunghezza. Tale unità di misura ha dato inoltre il nome al sistema metrico.

Metro
m

Anche l'unità di misura Metro è stata originariamente definita mediante un campione materiale, un artefatto: il metro prototipo, un pezzo metallico di platino e iridio con sezione trasversale a forma di x. Dal 1983 l'unità di misura Metro è definita da una costante naturale: la velocità della luce. Un metro corrisponde alla distanza percorsa nel vuoto dalla luce in $1/299'792'458$ secondi, quindi circa 3.3 nanosecondi (3.3 miliardesimi di secondo). Questo piccolo numero è dovuto all'elevata velocità della luce, che ad esempio gira intorno all'equatore terrestre circa 7.5 volte al secondo. Se si tiene presente che la luce percorre in 3.3 nanosecondi la distanza di un metro, risulta anche evidente che i sistemi di navigazione come il GPS devono fare affidamento su misurazioni del tempo estremamente precise. I ricevitori GPS ad alta precisione utilizzati ad esempio per il rilevamento di terreni possono misurare le distanze con una precisione di 1.5 cm. Per ottenere questa precisione è necessario essere in grado di misurare il tempo con una precisione di circa 0.03 nanosecondi (miliardesimi di secondo).

Grazie alla definizione dell'unità di misura Metro basata sulla velocità della luce le lunghezze possono essere misurate molto accuratamente. Utilizzando laser, la cui frequenza è nota e molto stabile, il metro può essere derivato dalla lunghezza d'onda della luce laser. La luce costituisce per così dire uno standard immateriale, con una precisione senza precedenti: l'unità di misura Metro può essere realizzata oggi con una precisione pari a 11 cifre decimali.

La precisione dell'ordine del nanometro è richiesta nei moderni impianti di produzione, per esempio nell'industria dei semiconduttori, che fabbrica strutture con tolleranze di pochi nanometri. Ciò consente la costruzione di computer ad alte prestazioni e dispositivi elettronici in miniatura.

Secondo

S

Il secondo (simbolo s) è l'unità di misura per il misurando tempo. Il tempo è il misurando, che di gran lunga può essere determinato con la più grande precisione.

Il tempo è stato misurato per millenni. Per molto tempo si è fatto affidamento sul movimento della terra rispetto al sole, in particolare sull'osservazione della rotazione della terra attorno al proprio asse. Il secondo è stato originariamente definito come la 86'400esima parte del giorno solare medio (1 giorno = 24 ore di 60 minuti composti a loro volta da 60 secondi). Tuttavia, la velocità di rotazione della Terra non è costante. Lo si è constatato dal primo terzo del XX secolo in poi con le misurazioni del tempo ad alta precisione. Pertanto, ci si è messi alla ricerca di una nuova definizione del secondo. La soluzione fu trovata nel mondo microscopico: dal 1967 il secondo è definito dalle proprietà di un atomo, vale a dire con l'aiuto di una transizione tra due livelli energetici nell'atomo di cesio (transizione fra due livelli iperfini nell'atomo di cesio $\Delta\nu_{\text{Cs}}$). Le vibrazioni negli atomi di cesio sono così regolari, che con gli orologi atomici siamo in grado di determinare il tempo con la massima precisione.

Il tempo è il misurando, che di gran lunga può essere determinato con la più grande precisione. I moderni orologi atomici possono realizzare il secondo con una precisione pari a 16 cifre decimali. Una tale precisione di misurazione non è fine a se stessa: grazie alla misurazione del tempo estremamente precisa i sistemi di navigazione e i sistemi di telecomunicazione funzionano in modo affidabile (vedi capitolo «Metro – m»).

Uno degli orologi atomici più precisi al mondo, la Fontaine Continue Suisse (FoCS), si trova presso il METAS, che l'ha sviluppato in collaborazione con il Laboratoire temps-fréquence dell'Università di Neuchâtel. Dalla fine del 2018 con questo orologio atomico la Svizzera contribuisce direttamente alla precisione del tempo mondiale.

Battito di ciglia: 0.1 s



Impulso nervoso: 10^{-3} s



Giorno: 86400 s

Età della Terra:
 1.5×10^{17} s



Ampere



L'ampere (simbolo A) è l'unità di misura per il misurando Intensità di corrente. La corrente elettrica è un flusso di cariche elettriche.

L'unità di misura ampere è definita utilizzando la costante della carica elementare e ed altre costanti. La carica elementare è la più piccola quantità di carica elettrica esistente liberamente. Un elettrone ha una carica elettrica di $-e$. Un ampere corrisponde a un flusso di circa 6×10^{18} cariche elementare al secondo.

Sulla base di questa definizione sarà possibile realizzare l'ampere per mezzo di una cosiddetta pompa a singolo elettrone. Un tale dispositivo genera una corrente elettrica attraverso il trasporto controllato di singoli elettroni in un determinato intervallo di tempo. Tuttavia, le correnti generate in questo modo sono ancora molto piccole.

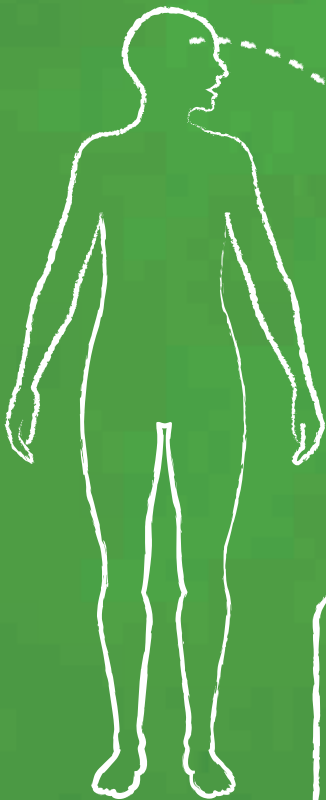
Le unità elettriche non vengono generalmente realizzate utilizzando l'ampere, ma mediante le unità elettriche del volt (unità di tensione elettrica) e dell'ohm (unità di resistenza elettrica).

Per la legge di Ohm le grandezze elettriche intensità di corrente, tensione e resistenza sono correlate direttamente tra loro. Dagli anni '90 le unità per la resistenza e la tensione elettriche possono essere realizzate con elevata precisione utilizzando effetti fisici quantistici.

Per sviluppare apparecchi (smartphone, computer portatili) o batterie a lunga durata eco-compatibili è essenziale disporre di misurazioni accurate della corrente elettrica. Misurazioni accurate di altri misurandi per l'elettricità, in particolare della potenza e della tensione elettriche sono essenziali per l'approvvigionamento energetico (garantire il funzionamento delle reti elettriche, prevenzione dei disturbi nelle reti elettriche).

L'intensità di corrente negli impulsi nervosi nel nostro corpo è di 10 miliardesimi di ampere, mentre l'intensità di corrente in un lampo può raggiungere i 20'000 ampere.

Fulmine: 20'000 A



Onde cerebrali: 10^{-9} A



Presi:
4.3 A

ALFA ROMEO

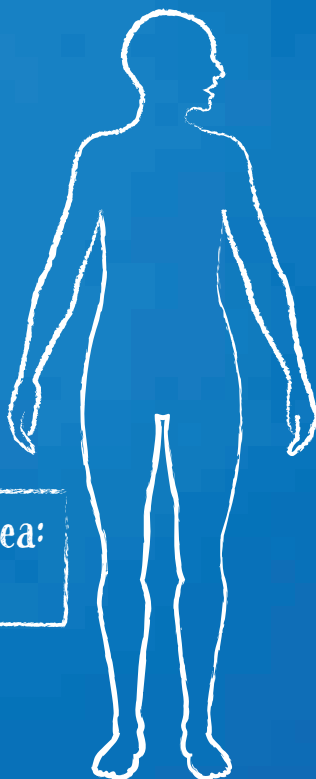
Temperatura
nello spazio:
 $3.15\text{ K } (-270\text{ }^{\circ}\text{C})$



Temperatura dell'aria:
 $288\text{ K } (15\text{ }^{\circ}\text{C})$



Temperatura corporea:
 $310\text{ K } (36.5\text{ }^{\circ}\text{C})$



Kelvin

K

Il kelvin (simbolo K) è l'unità di misura per il misurando Temperatura. La temperatura è l'unico misurando che denomina una proprietà di una materia.

L'unità della temperatura è stata determinata mediante le proprietà dell'acqua, più precisamente mediante il punto triplo dell'acqua. Il punto triplo è lo stato, in cui ad una data pressione e temperatura i tre stati di aggregazione di una sostanza, nel caso dell'acqua – ghiaccio, acqua e vapore acqueo – coesistono e sono nel cosiddetto equilibrio termodinamico. La temperatura di questo punto è $+ 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ (gradi Celsius) o 273.16 K . Un kelvin è la 273.16esima parte di questa temperatura. Zero gradi Kelvin corrisponde allo zero assoluto. Pertanto, nella scala di temperatura con Kelvin non vi sono temperature negative. Si tratta di una scala delle temperature assolute, a differenza della scala con Celsius utilizzata nella vita quotidiana. Per poter realizzare la scala di temperatura, si ricorre a punti fissi di altre sostanze (punti tripli, punti di fusione e punti di ebollizione). La realizzazione pratica della scala di temperatura a partire dal punto zero e dal punto triplo dell'acqua è molto complessa e sensibile alle impurità. Inoltre, è difficile realizzare temperature molto piccole e temperature molto elevate.

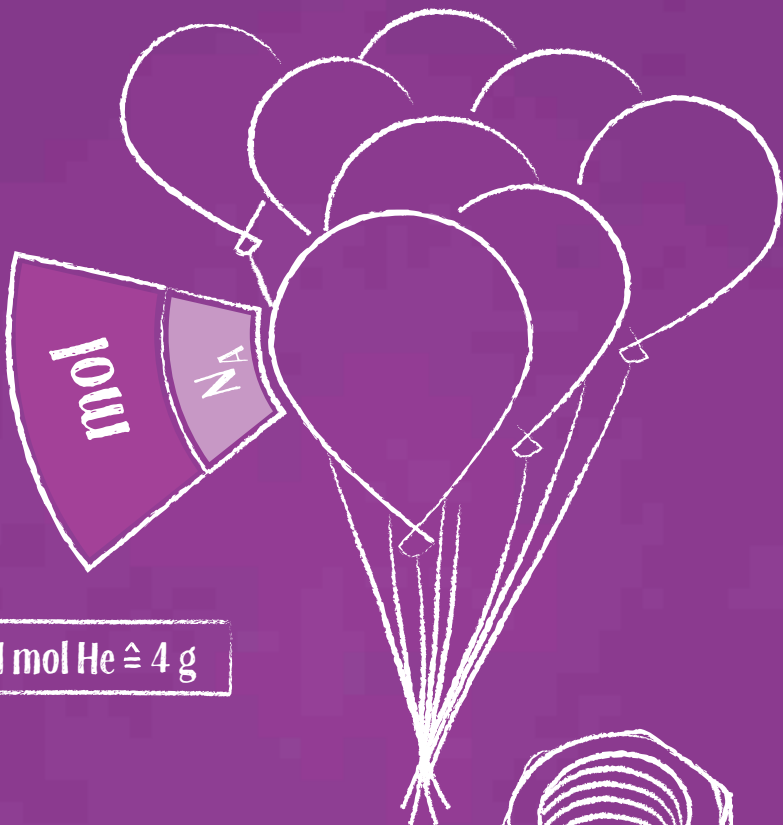
Ora il kelvin è definito utilizzando la costante di Boltzmann k e altre costanti. Con la costante di Boltzmann si possono correlare l'energia termica e la temperatura di una particella. Tramite questa definizione basata su costanti in futuro il kelvin non sarà più definito in funzione di un materiale, ma sarà definito senza limitazioni materiali e tecnologiche. In tal modo in futuro ad esempio sarà possibile eseguire misurazioni di temperature elevate con una precisione significativamente superiore rispetto a quanto fatto in precedenza.

Mole mol

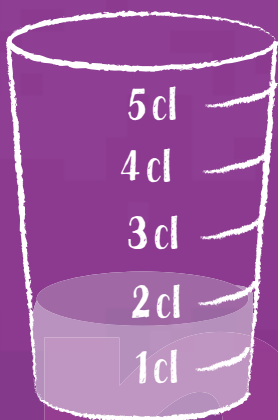
La mole (simbolo mol) è l'unità di misura per il misurando Quantità di sostanza. Essa è definita dal numero di Avogadro, che indica il numero di particelle per quantità di sostanza.

La quantità di sostanza di un sistema è una misura del numero di determinate entità elementari. Queste ultime possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni o altre particelle. Una mole contiene esattamente $6.02214076 \times 10^{23}$ entità elementari. Originariamente la mole è stata definita come la quantità di sostanza di un sistema, che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 12 grammi dell'isotopo ^{12}C del carbonio. In questa definizione la mole era correlata al chilogrammo. L'unità di misura mole è ora definita indipendentemente dall'unità di misura del chilogrammo.

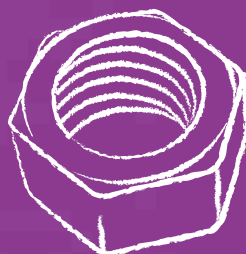
In fondo non c'era bisogno di un'unità di misura per specificare la quantità di sostanza. È sufficiente contare i singoli componenti. Tuttavia, gli atomi o le molecole sono talmente piccoli e solitamente presenti in così gran numero che in pratica un semplice conteggio non è possibile. Se si conoscono i rapporti tra masse atomiche e masse molecolari, ogni altra quantità di sostanza può essere misurata anche mediante pesatura utilizzando la mole come misura di riferimento per tali pesature. La mole è uno strumento dei chimici e biologi, che in una certa misura colma il divario tra il mondo microscopico degli atomi e le pratiche di laboratorio.



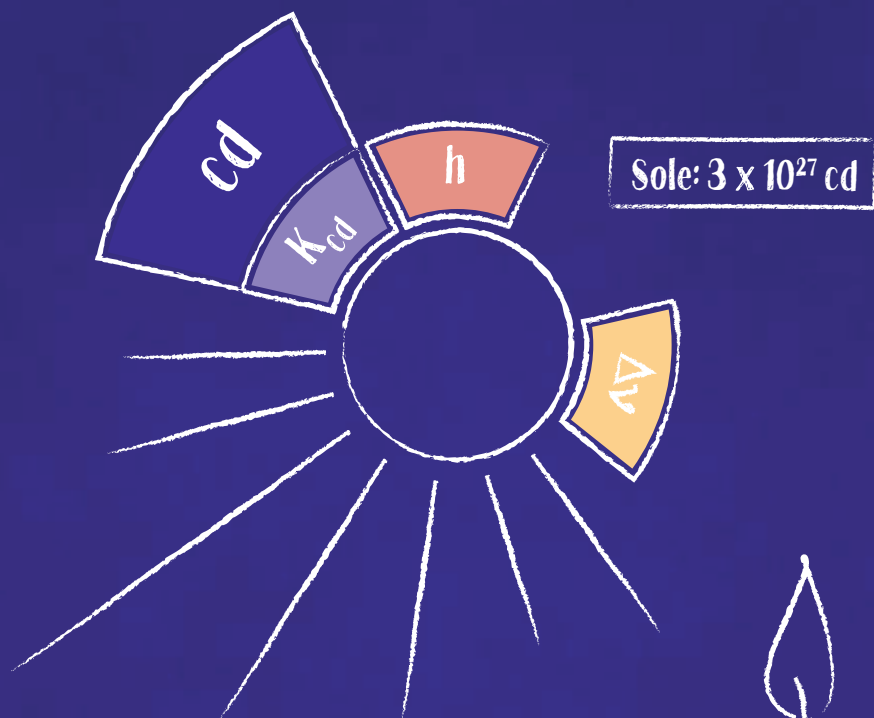
$1 \text{ mol He} \hat{=} 4 \text{ g}$



$1 \text{ mol Fe} \hat{=} 56 \text{ g}$



$1 \text{ mol H}_2\text{O} \hat{=} 18 \text{ g}$



Candela: 1 cd



Luci diurne: 400 cd

Candela

cd

La candela (simbolo cd) è l'unità di misura per il misurando Intensità luminosa in una determinata direzione spaziale.

La luce è una forma di radiazione elettromagnetica visibile all'occhio umano. Potrebbe quindi essere misurata in unità di misura già note, vale a dire in watt, l'unità di misura della potenza. Data l'importanza centrale del senso della vista umano, si è però convenuto di definire un'unità di misura separata per l'effetto soggettivo delle radiazioni elettromagnetiche sull'occhio umano.

L'unità di misura viene definita dalla costante K_{cd} , l'equivalente fotometrico di una radiazione monocromatica di 540×10^{12} Hz. La costante correla le unità per la misurazione della luce visibile (lumen, candela, lux) alle corrispondenti unità per la misurazione della radiazione elettromagnetica (watt, watt per steradiante, watt per metro quadrato). Un'intensità luminosa di 1 cd corrisponde ad un'intensità radiante di $1/638$ watt per steradiante. Questa relazione è però valida soltanto per la radiazione di una sorgente luminosa della frequenza di 540×10^{12} Hz, cioè luce monocromatica verde con una lunghezza d'onda di circa 555 nm. La connessione alla luce verde ha a che fare con la facoltà percettiva dell'occhio umano, che vede meglio nella parte verde dello spettro.

Nella tecnologia d'illuminazione viene usata principalmente luce bianca. Per l'applicazione pratica nella fotometria è pertanto importante avere le istruzioni («mise en pratique») per utilizzare l'unità di misura Candela, che descrivono come viene determinata quantitativamente la cosiddetta luce policromatica (ad es. la luce bianca di una lampada a LED).

Il nome dell'unità di misura (candela) fa riferimento agli albori della fotometria: per poter determinare l'intensità luminosa, ci si basava su candele come sorgenti luminose di riferimento, con le quali si poteva confrontare una sorgente da misurare.

II Misurare

crea conoscenze,
sicurezza, fiducia
e rende possibile
la produzione

Riferibilità indispensabile

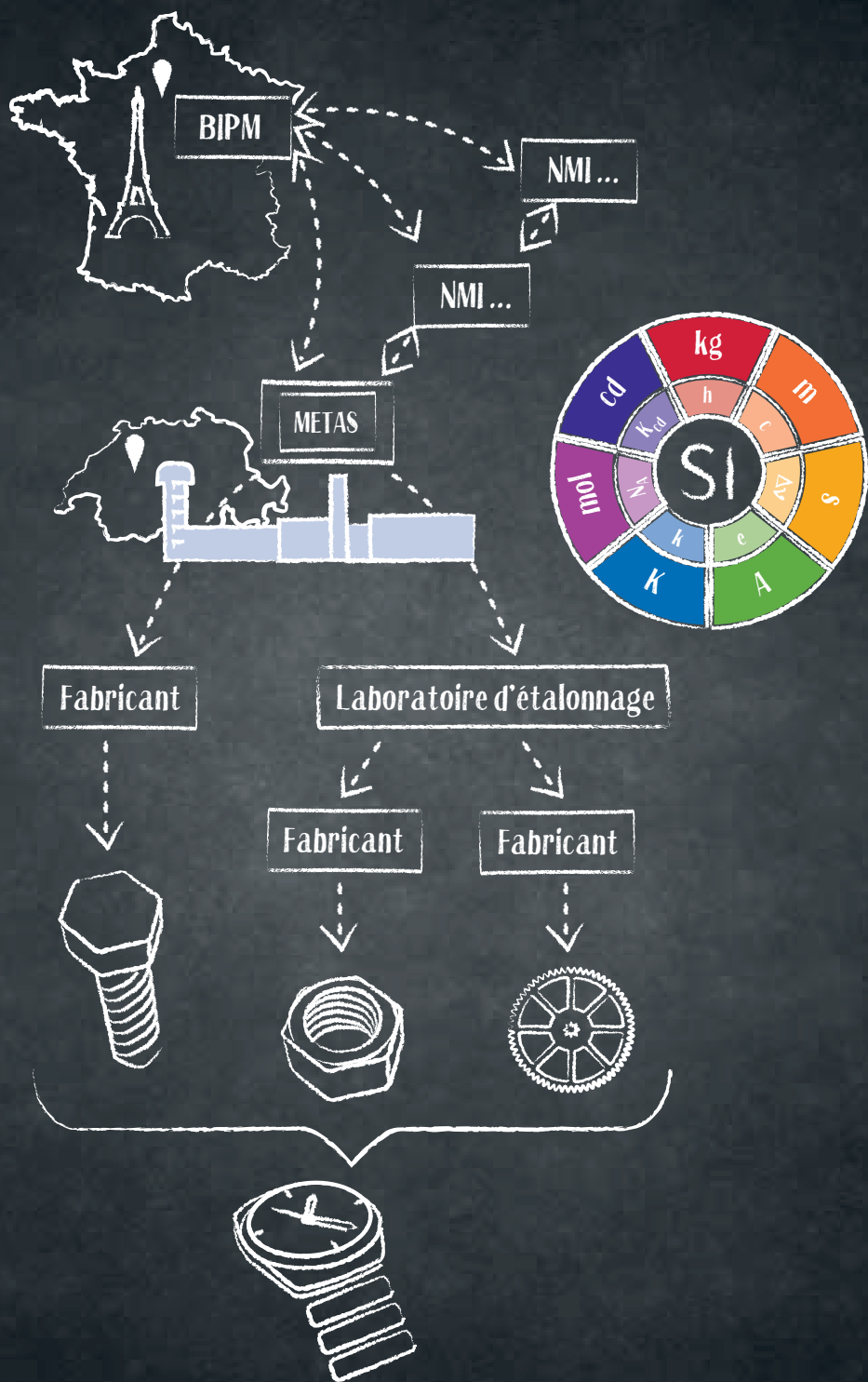
Il compito più importante della metrologia è garantire che si possa misurare in modo affidabile e corretto. Un prerequisito per una buona comparabilità delle misurazioni è che tutti misurino con le stesse unità di misura. Il Sistema Internazionale di unità di misura SI è oggi la base vincolante a livello mondiale per le misurazioni.

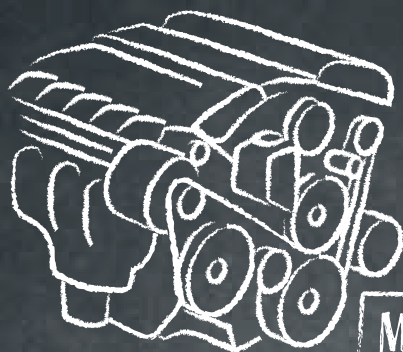
Un ulteriore prerequisito per una misurazione affidabile è che i risultati delle misurazioni siano metrologicamente riferibili. Riferibilità significa che i risultati delle misurazioni possono essere ricondotti ad un riferimento riconosciuta, attraverso una catena di misurazioni comparative con incertezza di misura nota (una dichiarazione sull'accuratezza di una misurazione). Un riferimento può essere una realizzazione di un'unità di misura, una misura di riferimento riconosciuta, un cosiddetto campione di riferimento o un metodo di misurazione. Le misure di riferimento riconosciute devono essere disponibili con la precisione richiesta. Questo è uno dei compiti centrali degli istituti nazionali di metrologia (NMI), in Svizzera quin-

di del METAS. Per essere in grado di garantire la riferibilità in qualsiasi momento, il METAS confronta regolarmente i suoi campioni di riferimento con quelli di altri istituti nazionali di metrologia.

Tali misurazioni comparative si svolgono in definitiva nell'ambito dell'Organizzazione internazionale della Convenzione del Metro (vedi capitolo «La Convenzione del Metro»). Un ruolo essenziale per le attività scientifiche e di coordinamento nella cooperazione internazionale in metrologia viene svolto dalle cosiddette organizzazioni metrologiche regionali, che coprono le diverse regioni del mondo. Una di queste organizzazioni è l'EURAMET, l'associazione degli istituti nazionali di metrologia europei. Gran parte della cooperazione tecnica internazionale del METAS avviene all'interno dei comitati tecnici di EURAMET.

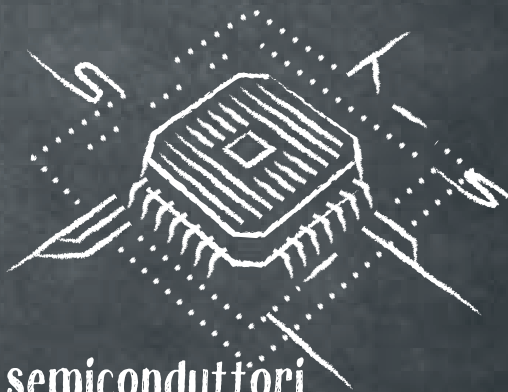
La riferibilità è fondamentale per l'affidabilità delle misurazioni. Questo vale per le misurazioni di precisione in laboratorio, la produzione industriale e la pesatura al mercato settimanale.





Motore

Micrometro: 10^{-6} m



Struttura dei semiconduttori

Nanometro: 10^{-9} m

Sempre più precisamente?

Nessuna misurazione può essere più precisa dello standard utilizzato. Se si vuole misurare un misurando con una determinata precisione, l'unità di misura utilizzata deve poter essere realizzata in modo più preciso. Gli sviluppi della tecnologia e della scienza come pure i requisiti dell'industria e della società per quanto riguarda l'accuratezza delle misurazioni implicano che le misure di riferimento, i cosiddetti campioni di riferimento, debbano essere determinati in modo sempre più preciso. Il sistema Internazionale di unità di misura SI, la base vincolante a livello mondiale per le misurazioni, deve consentire questi sviluppi oppure deve essere adattato di conseguenza. Grazie alla revisione del SI entrata in vigore nel maggio 2019 il nostro sistema di unità di misura è pronto per gli sviluppi futuri e poggia su una base solida a lungo termine. Esso è stato concepito per rendere possibili col passare del tempo delle realizzazioni migliori delle unità di misura, senza che le definizioni di dette unità debbano essere modificate.

Nella vita di tutti i giorni non ci preoccupiamo di pochi milionesimi di secondo e non misuriamo le lunghezze esattamente al miliardesimo

di metro: il millimetro, il decimo di secondo e il grammo sono sufficienti per l'uso domestico. Le misurazioni di alta precisione e la ricerca di una precisione sempre maggiore non sono però finì a se stesse oppure di interesse e importanza solo per gli ingegneri o i fisici. Nella loro vita quotidiana la maggior parte delle persone non ha direttamente nulla a che fare con le misurazioni di precisione. Indirettamente, tuttavia, anche coloro, che hanno pochi contatti con il mondo della tecnologia e della scienza, sono sempre dipendenti da misurazioni accurate e le utilizzano regolarmente. Senza misurazioni altamente accurate lo sviluppo e l'utilizzo di dispositivi, quali i telefoni cellulari e ancora di più di applicazioni come i sistemi di navigazione (vedi capitoli «Metro – m» e «Secondo – s») non sarebbero possibili. Quanto è importante la precisione non solo per la misurazione in sé, ma anche per la vita di tutti i giorni, l'ha puntualizzato nel 1994 il premio Nobel per la fisica, Heinrich Rohrer, in poche frasi: «150 anni fa l'importanza del micrometro per l'orologiaio era ovvia, ma non per il contadino. Eppure la precisione del micrometro ha rivoluzionato l'aratura: ha reso possibile la costruzione del trattore.»

***«Le misurazioni di alta
precisione e la ricerca di una
precisione sempre maggiore non
sono però finì a se stesse.»***

L'Istituto federale di metrologia **METAS**

Con i suoi circa 230 dipendenti l'Istituto federale di metrologia (METAS) è il centro di competenza della Confederazione per tutte le questioni inerenti alla metrologia, agli strumenti di misurazione e ai metodi di misura. Il METAS ha la missione di garantire che in Svizzera si possa misurare con la precisione richiesta dall'economia, dalla ricerca e dalla società.

Il METAS è leader in Svizzera per quanto riguarda l'accuratezza delle misurazioni. Elabora la base di misurazione nazionale, cioè si occupa della realizzazione fisica delle unità di misura, del loro confronto reciproco e quindi del loro riconoscimento internazionale. Mette a disposizione dell'economia, dell'amministrazione e della società svizzere misure di riferimento riconosciute a livello internazionale in base allo stato attuale della tecnica e con la precisione richiesta. Il METAS provvede affinché le misurazioni necessarie nel commercio e nei trasporti come pure per la tutela e la sicurezza delle persone e dell'ambiente possano essere eseguite in modo corretto e conforme alle prescrizioni. Affinché un imballaggio su cui è indicato un chilogrammo contenga effettivamente un chilogrammo e affinché i produttori e i consumatori possano fare affidamento sui contatori.

Per poter adempiere alla sua missione, il METAS gestisce i laboratori necessari a tal fine ed effettua i necessari lavori di ricerca e sviluppo. I nuovi sviluppi nel campo della scienza e della tecnologia sono fortemente dipendenti da basi e procedimenti metrologici in costante evoluzione. Importanti rami dell'industria svizzera, quali la microtecnologia o la tecnica medica, hanno infatti bisogno di metodi di misurazione e di controllo con una precisione di pochi nanometri (milionesimi di millimetro). È possibile fabbricare e monitorare solo ciò che può anche essere misurato con precisione.

«Il METAS è leader in Svizzera per quanto riguarda l'accuratezza delle misurazioni.»



Il METAS adempie al proprio incarico in parte insieme a terzi: in metrologia legale con i Cantoni, i loro verificatori ed i laboratori di verifica; nell'ambito della trasmissione delle unità di misura con gli istituti designati.

III Dalle misure locali basate sulle dimensioni umane al sistema mondiale di unità di misura

Dalla molteplicità all'unità

Misurare crea ordine e orientamento. Ci aiuta a cavarcela nella vita quotidiana e nel nostro ambiente, a organizzarci e a fabbricare cose. Per costruire una casa è indispensabile misurare. Già dall'epoca dei faraoni egiziani sono state tramandate testimonianze, che supportano ciò letteralmente: senza un progetto di costruzione e misurazioni precise le piramidi non avrebbero potuto essere costruite.

Misurare significa confrontare. Qualcosa di conosciuto, una misura di riferimento, viene confrontato con qualcosa di sconosciuto, l'oggetto da misurare. Per effettuare misurazioni si utilizzavano tra l'altro misure comparative derivate da recipienti (botti, sacchi, cesti, anfore). Soprattutto, alle persone piaceva prendere se stesse come misura e usare il proprio corpo come termine di paragone. Di conseguenza, c'erano molte unità di misura derivate dal corpo umano, come ad esempio il cubito o il piede. Inizialmente misurare era un affare locale. Lo stesso valeva anche per la definizione di unità di misura. Per le misure di riferimento derivate dal corpo umano solitamente si prendevano le misure a un sovrano di un luogo o di una regione.

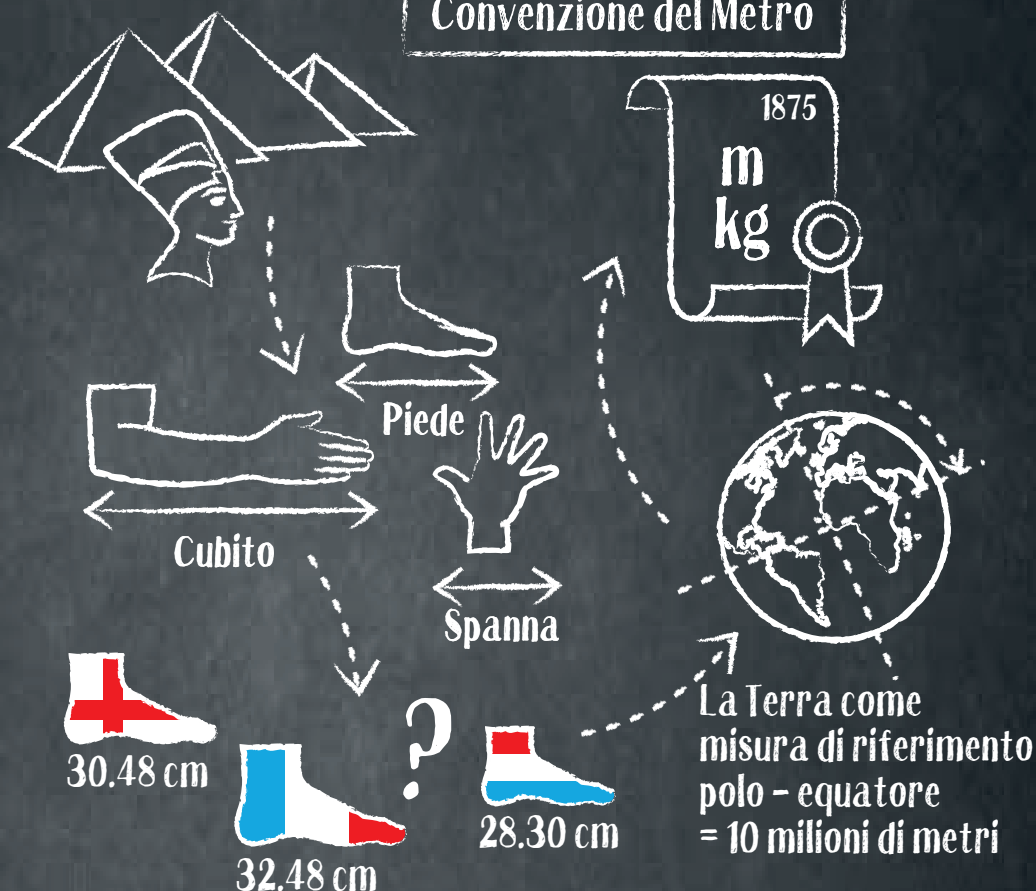
Così, nel corso del tempo, c'è stata una molteplicità di unità di misura che coesistevano fianco a fianco. Esse variavano da principato a principato e spesso anche da città a città. Nonostante la denominazione identica un'unità di misura poteva indicare a seconda della regione una diversa misura del misurando in questione. L'unità di lunghezza «piede» era per esempio diffusa in molti luoghi, ma era ben lungi dall'essere la stessa ovunque. Ancora nel XIX secolo sul territorio dell'odierna Germania il «piede» esisteva in centinaia di misure locali o specifiche del paese. Si dice che solo sul territorio francese nel periodo prima della Rivoluzione Francese si misurava con migliaia di misure e pesi diversi.

All'inizio del XIX secolo nel Canton Argovia c'erano cinque diverse unità di lunghezza. Nel campo dei pesi causavano tra l'altro confusione la libbra bernese (520.035 g), la libbra di Sion (500 g) e quella di Friburgo (528.811 g), perché pur avendo lo stesso nome avevano pesi diversi. Sebbene sia stata fatta una distinzione tra una libbra leggera e una pesante, i limiti tra esse non erano ben definiti.

Questa molteplicità di variabili di riferimento poteva creare confusione e causare spese o persino dispute. Il commercio interregionale era quasi impossibile. Questa molteplicità era un problema anche per la tecnologia e la ricerca, perché i risultati delle misurazioni possono essere confrontati solo se si riferiscono alla stessa unità e se quest'ultima è definita in modo uniforme.

Già nel XVI secolo, ma soprattutto nel XVIII secolo nel corso della diffusione delle

Convenzione del Metro



scienze naturali è venuta l'idea di prendere la terra come misura di riferimento invece del corpo umano. Pertanto, la nuova unità di lunghezza Metro è stata associata alla circonferenza della terra: 1 metro è stato definito come la decimilionesima parte del quadrante tra il polo nord e l'equatore. Durante la Rivoluzione francese due astronomi misurarono nelle circostanze più avverse una parte di esso, il tratto

tra Barcellona e Dunkerque, in modo da produrre una misura di riferimento materializzata.

Ci vollero tuttavia ancora quasi cento anni prima che con la Convenzione del Metro del 1875 venga creata la base per un sistema vincolante di unità di misura, in cui oltre al metro prototipo è definito anche il chilogrammo prototipo.

«L'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure (BIPM) è il «custode delle unità di misura».»

La Convenzione del Metro

Con la crescente industrializzazione e la relativa espansione del commercio internazionale nel XIX secolo il bisogno di basi di misurazione comparabili e uniformi divenne sempre più forte. L'armonizzazione e la standardizzazione dei sistemi di misurazione divenne una preoccupazione essenziale di politica economica.

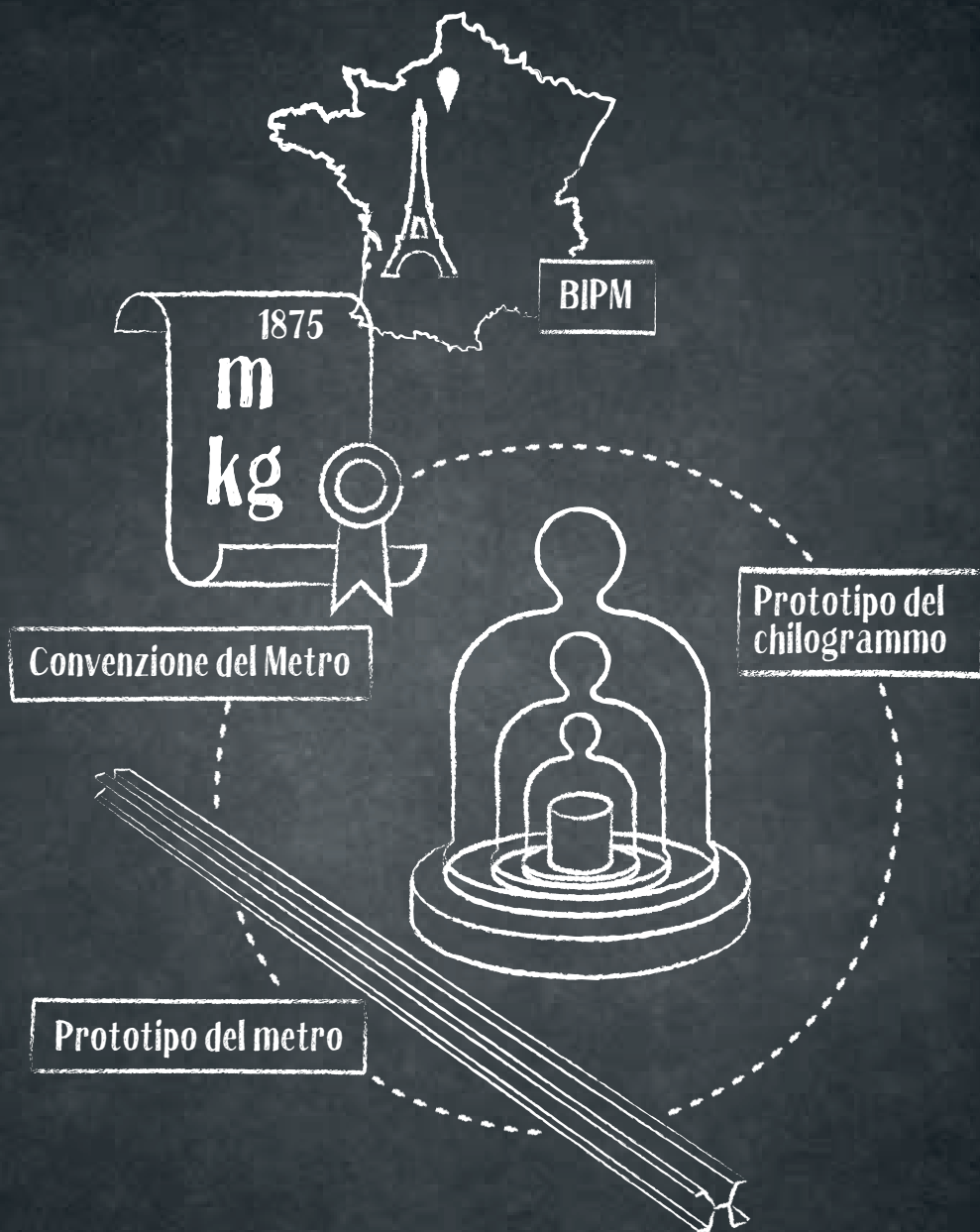
Il 20 maggio 1875 a Parigi i rappresentanti di 17 Stati, tra cui la Svizzera, firmarono la Convenzione del Metro. L'obiettivo della Convenzione del Metro era quello di creare un sistema di unità di misura uniforme e vincolante a livello internazionale e di svilupparlo ulteriormente in conformità con il progresso scientifico e tecnico. Con la Convenzione del Metro è stata creata una delle prime organizzazioni internazionali, addirittura uno dei primi trattati internazionali. Fino ad oggi l'hanno firmato 60 Stati, altri 42 sono membri associati.

Nel 1889 sono stati prodotti dei campioni materiali delle misure di riferimento per l'unità Metro e l'unità Chilogrammo. I primi di questi campioni materiali sono serviti come Prototipo Internazionale del chilogrammo e del metro (chilogrammo prototipo e metro prototipo). Le altre copie delle misure di riferimento sono state distribuite per estrazione a sorte agli Stati membri.

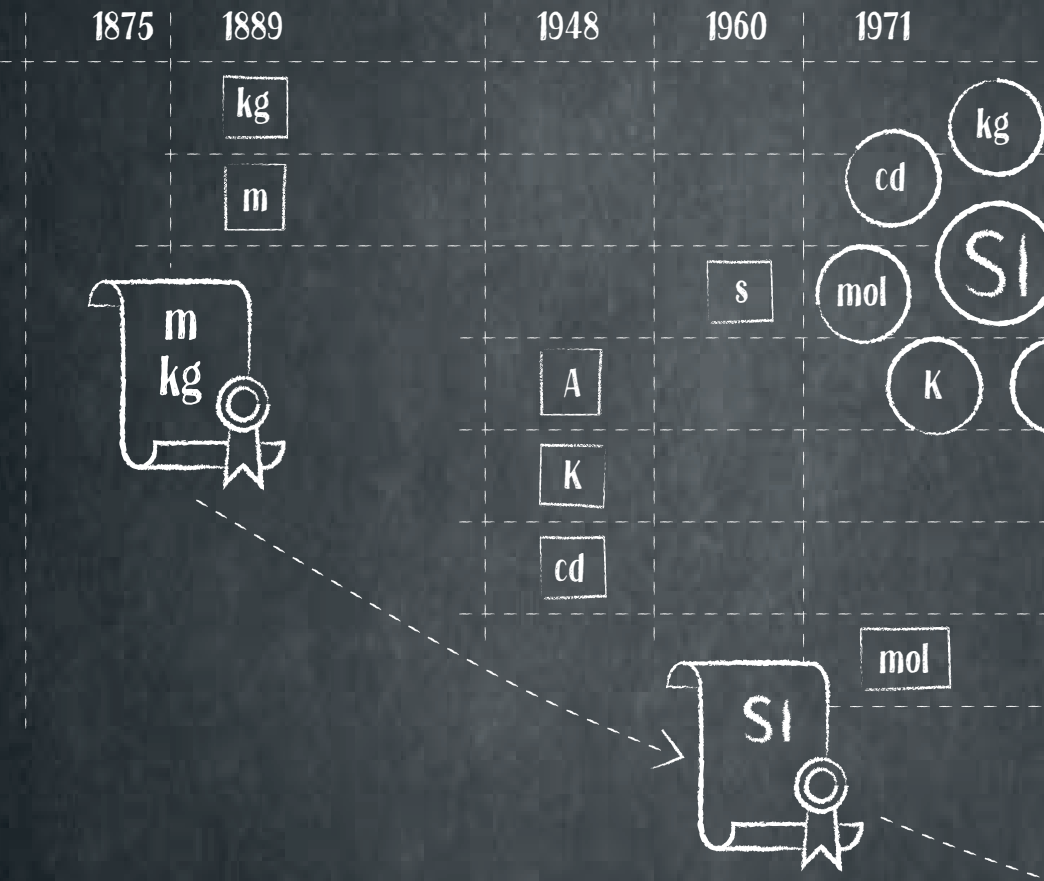
Affinché tutti i membri potessero fare riferimento al chilogrammo prototipo e al metro prototipo, ne sono state realizzate delle copie che in occasione della prima Conferenza generale dei pesi e delle misure del 1889 furono sorteggiate e attribuite agli Stati membri di allora. Anche la Svizzera, che fu tra i primi firmatari, ricevette il metro numero 2 e il chilogrammo numero 38.

Con la firma della Convenzione del Metro fu fondato il Bureau international des poids et mesures (Ufficio internazionale dei pesi e delle misure) (BIPM) come «custode delle unità di misura.»

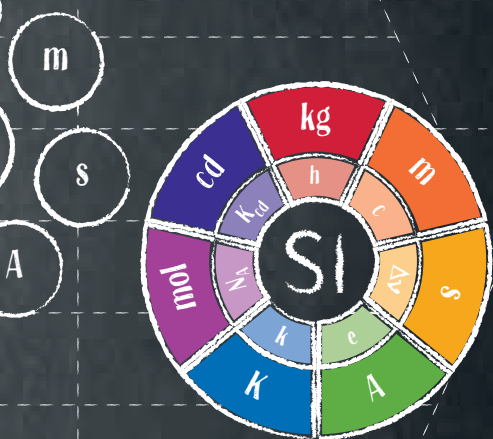
Ha sede a Sèvres presso Parigi e lavora sotto la supervisione del Comité international des poids et mesures (Comitato internazionale dei pesi e delle misure) (CIPM). Vari comitati tecnici del CIPM, ad esempio il Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (Comitato consultivo per la massa e le grandezze correlate) si occupano dell'ulteriore sviluppo delle unità di misura. L'organo supremo della Convenzione del Metro è la Conférence générale des poids et mesures (Conferenza generale dei pesi e delle misure). Nella Conferenza generale sono rappresentati tutti gli Stati membri. Di solito si svolge ogni quattro anni e decide tra le altre cose i cambiamenti del sistema di unità di misura.



Dalla Convenzione del Metro
al Sistema Internazionale di
unità di misura SI



2018



Per poter descrivere oggetti o fenomeni si ha bisogno di un linguaggio adeguato. Nelle scienze naturali si descrivono i fenomeni fondamentali della natura utilizzando la matematica e con un sistema di unità di misura. Oggi il sistema di unità più utilizzato al mondo è il Sistema Internazionale di unità di misura SI (le *Système international d'unités*). Si tratta di un insieme di regole, che definisce le unità di misura nelle scienze naturali e nella tecnologia in maniera coerente e soddisfa le esigenze del commercio e della società.

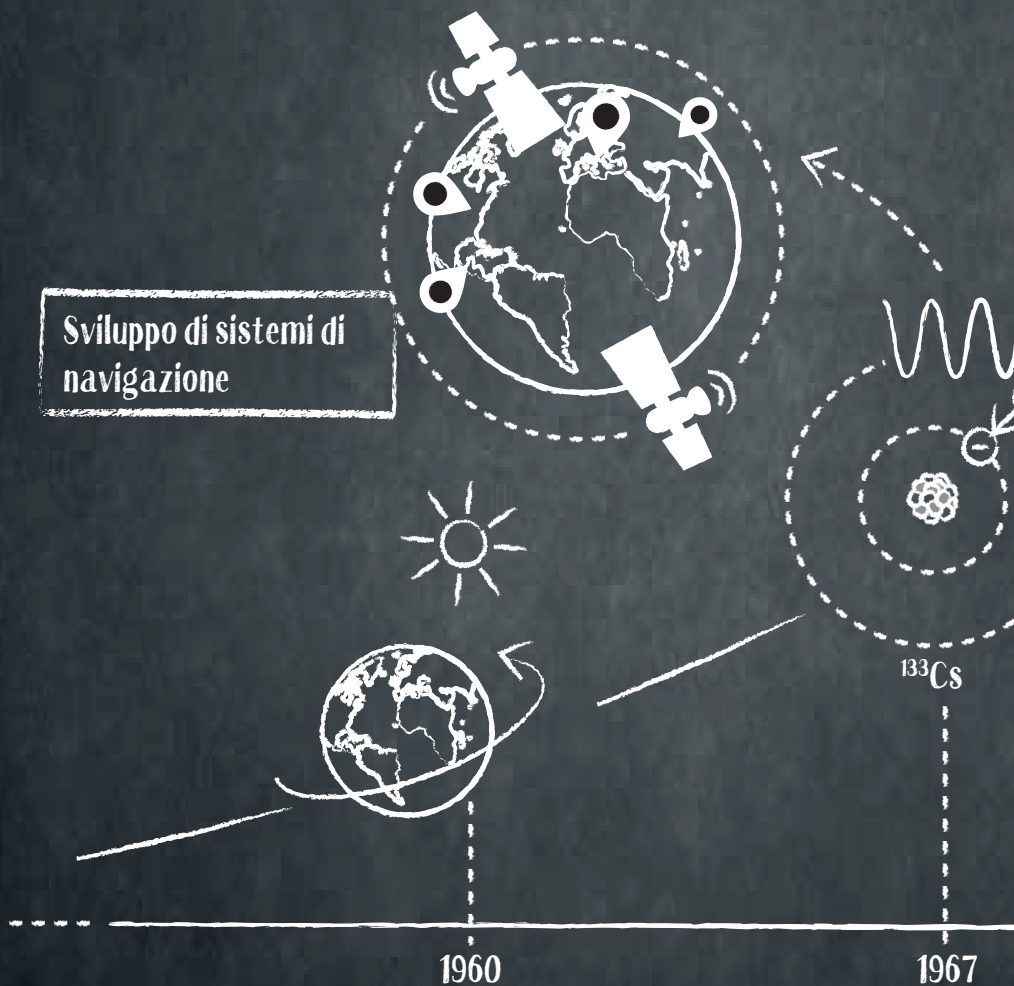
Il SI si basa sul sistema metrico ed è stato introdotto nel 1960. In quanto «figlio» della Convenzione del Metro (1875) ha sostituito diversi sistemi di unità di misura. Ciò rese superflue le conversioni complicate. Oggi il sistema SI è la base più vincolante a livello mondiale per le misurazioni. Il SI è stato originariamente definito con le cosiddette unità di base. Dal 1971 esse erano il secondo, il metro, il chilogrammo, l'ampere, il kelvin, la candela e la mole. Con il loro aiuto si sono potute derivare tutte le altre unità.

Le definizioni delle unità di base del SI hanno dovuto essere di tanto in tanto adeguate agli sviluppi della scienza e della tecnologia. Solo in tal modo si è potuto soddisfare le crescenti esigenze relative alla precisione delle misurazioni. La precisione è così migliorata di vari ordini di grandezza.

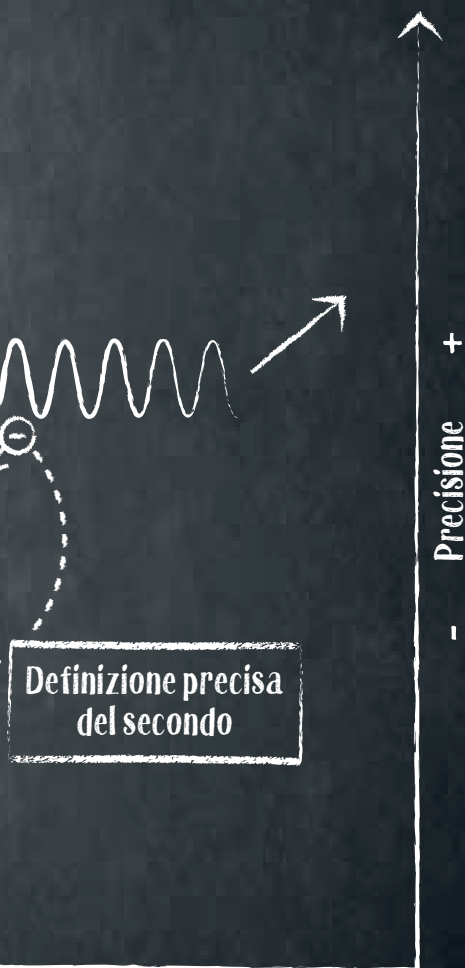
Adeguamento continuo del sistema di unità di misura

Il progresso tecnico-scientifico ha reso a più riprese possibile di realizzare un'unità con maggiore precisione. A sua volta ciò ha consentito misurazioni più accurate della grandezza fisica corrispondente a questa unità. Nessuna misurazione può essere più precisa dello standard utilizzato. In alcuni casi il progresso tecnico ha portato anche ad adeguamenti della definizione di un'unità.

Le unità di misura della lunghezza ad esempio sono state originariamente definite mediante campioni materiali, i cosiddetti artefatti. Il metro prototipo è stato infatti per molto tempo determinante per l'unità Metro. Sulla base di questa definizione si potevano determinare lunghezze con una precisione di dieci micron (dieci milionesimi di metro o un centesimo di millimetro).



Per la tecnologia e la produzione industriale, tuttavia, nel corso del tempo si è reso necessario essere in grado di misurare con precisione dimensioni ancora più piccole di pezzi. La ricerca di principi di misurazione più accurati ha finalmente portato a una definizione dell'unità Metro basata su una costante fisica naturale:



il metro è definito oggi dalla distanza percorsa nel vuoto dalla luce in un determinato intervallo di tempo. Mediante la realizzazione dell'unità Metro con speciali laser elio-neon altamente stabilizzati si possono misurare e produrre componenti, per esempio nell'industria dei semiconduttori, con tolleranze di pochi nanometri (miliardesimi di metro)

Migliori principi di misurazione rendono possibili anche nuove applicazioni tecniche. Da oltre 50 anni l'unità del tempo, il secondo, non è più determinata dalla rotazione della terra, ma da una transizione nell'atomo di cesio. Questo ha offerto l'opportunità di misurare il secondo con una precisione estremamente elevata. A sua volta ciò ha consentito lo sviluppo della tecnologia dei sistemi di navigazione come il GPS. Questa applicazione, che viene utilizzata nella vita quotidiana da ogni smartphone, richiede misure di tempo molto accurate. I sistemi di navigazione globali hanno bisogno, metaforicamente parlando, del battito di orologi atomici altamente precisi.

***«Migliori principi di
misurazione rendono
possibili nuove
applicazioni tecniche.»***

Allegato

Prefissi SI

Fattore	Nome	Simbolo
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ³⁰	quetta	Q
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ²⁷	ronna	R
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ²⁴	yotta	Y
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ²¹	zetta	Z
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁸	exa	E
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁵	peta	P
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ¹²	tera	T
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ⁹	giga	G
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ⁶	mega	M
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 = 10 ³	kilo	k
100 = 10 ²	etto	h
10 = 10 ¹	deca	da
0.1 = 10 ⁻¹	deci	d
0.01 = 10 ⁻²	centi	c
0.001 = 10 ⁻³	milli	m
0.000 001 = 10 ⁻⁶	micro	μ
0.000 000 001 = 10 ⁻⁹	nano	n
0.000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	pico	p
0.000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁵	femto	f
0.000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁸	atto	a
0.000 000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻²¹	zepto	z
0.000 000 000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻²⁴	yocto	y
0.000 000 000 000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻²⁷	ronto	r
0.000 000 000 000 000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻³⁰	quecto	q

Sottomultipli e multipli decimali

Siccome per scrivere i numeri superiori a 1000 risp. inferiori a 0.001 è necessario molto spazio e questo tipo di scrittura pregiudica inoltre la leggibilità di tali numeri, nel SI per i sottomultipli e i multipli decimali vengono introdotti prefissi speciali. Tali prefissi vengono scritti prima delle unità senza lasciare spazio. Non è però permesso cumulare i simboli dei prefissi. In caso di simboli composti in modo tale gli esponenti si riferiscono sempre all'intero simbolo. I prefissi SI non sono ammessi per le unità di angolo », ' e °, le unità di tempo min, h e d, le unità di superficie a e ha, e il carato metrico ct.

Esempi

12000 N = 12 · 103 N = 12 kN
0.000 05 s = 50 · 10⁻⁶ s = 50 µs
0.004 µm = 4 · 10⁻³ µm = 4 · 10⁻⁹ m = 4 nm
0.000 004 kg = 4 · 10⁻⁶ kg = 4 · 10⁻³ g = 4 mg

In merito al modo di scrivere i valori numerici di grandezze fisiche

	Esempio
Generalmente vale $A = \{A\} \cdot [A]$	
A: grandezza fisica, {A}: valore numerico, [A]: unità	$\lambda = 3.896 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ oppure $\lambda = 389.6 \text{ nm}$
Secondo la norma ISO 80 000-1 come separatore decimale si può utilizzare la virgola o il punto, a seconda delle abitudini nazionali o linguistiche.	3,896
Nell'ambito di un documento si deve sempre impiegare lo stesso carattere.	3.896
Per assicurare una migliore leggibilità, nel campo tecnico-scientifico i numeri a più cifre vengono suddivisi in gruppi di tre cifre.	4 867.219 1 anziché 4867.2191
Se non vi è chiarezza tra i moltiplicandi viene posto un simbolo della moltiplicazione (punto a mezza altezza) o una × (crocetta).	3.86 · 4.23 o 3.86 × 4.23
Le denominazioni supplementari di grandezze devono essere poste vicino alla grandezza e non vicino al simbolo dell'unità.	$U_{max} = 500 \text{ V}$ non $U = 500 \text{ V}_{max}$
Le grandezze fisiche vengono scritte in corsivo, le unità e le funzioni in caratteri normali (verticali).	$p(h) = p_0 \exp(-h/8000 \text{ m})$

Definizione delle unità importanti

Il Sistema Internazionale di unità di misura SI è il sistema di unità in cui

- la frequenza della transizione fra due livelli iperfini dello stato fondamentale nell'atomo di ^{133}Cs -Atom $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9192\,631\,770\text{ s}^{-1}$ beträgt,
- la velocità della luce nel vuoto $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$,
- la costante di Planck $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}\text{ J s}$ ($\text{J s} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$),
- la carica elementare $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19}\text{ C}$ ($\text{C} = \text{A s}$),
- la costante di Boltzmann, $k = 1.380\,649 \times 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$ ($\text{J K}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$),
- la costante di Avogadro $N_A = 6.022\,140\,76 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$,
- l'equivalente fotometrico di una radiazione monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12}\text{ Hz}$ $K_{\text{cd}} = 683\text{ lm W}^{-1}$,
in cui hertz, joule, coulomb, lumen e watt con i rispettivi simboli (Hz, J, C, lm e W) sono correlati ai misurandi secondo, metro, chilogrammo, ampere, kelvin, mole e candela con i corrispondenti simboli (s, m, kg, A, K, mol e cd) conformemente alle relazioni $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$, $\text{C} = \text{A s}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$, und $\text{W} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$.

Questa è la definizione stessa del Sistema Internazionale di unità di misura (SI). Ne risultano le definizioni per le unità di misura.

Chilogrammo

Il chilogrammo, simbolo kg, è l'unità SI di massa. Esso è definito tenendo fisso il valore numerico della costante di Planck, h , pari a $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ espressa in J s, unità uguale a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, in cui il metro e il secondo sono definiti in termini di c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Metro

Il metro, simbolo m, è l'unità SI di lunghezza. Esso è definito tenendo fisso il valore numerico della velocità della luce nel vuoto, c , pari a $299\,792\,458$ espressa in m s^{-1} , in cui il secondo è definito in termini di $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Secondo

Il secondo, simbolo s, è l'unità SI di tempo. Esso è definito considerando fisso il valore numerico $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ della frequenza della transizione iperfine dello stato fondamentale imperturbato dell'atomo di cesio ^{133}Cs e pari a $9192\,631\,770$ espressa in Hz, unità uguale a s^{-1} .

Ampere

L'ampere, simbolo A, è l'unità SI della corrente elettrica. Esso è definito tenendo fisso il valore numerico della carica elementare, e , pari a $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ espressa in C, unità uguale a A s, in cui il secondo è definito in termini di $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Kelvin

Il kelvin, simbolo K, è l'unità SI di temperatura termodinamica. Esso è definito tenendo fisso il valore numerico della costante di Boltzmann, k , pari a $1.380\,649 \times 10^{-23}$ espressa in J K^{-1} , unità uguale a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, in cui il chilogrammo, il metro e il secondo sono definiti in termini di h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Mole

La mole, simbolo mol, è l'unità SI della quantità di sostanza. Una mole contiene esattamente $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ entità elementari. Questo numero, denominato «numero di Avogadro», corrisponde al valore numerico fissato della costante di Avogadro, N_A , espresso in mol^{-1} .

Candela

La candela, simbolo cd, è l'unità SI di intensità luminosa in una determinata direzione. Essa è definita mantenendo fisso il valore numerico dell'efficienza luminosa di una radiazione elettromagnetica monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$, K_{cd} , pari a 683 espressa in lm W^{-1} , unità uguale a cd sr W^{-1} o $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, in cui il chilogrammo, il metro e il secondo sono definiti in termini di h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Colofone

Editore

Istituto federale di metrologia METAS

Lindenweg 50, 3003 Bern-Wabern, Schweiz, Tel. +41 58 387 01 11, www.metas.ch

Lingue

L'opuscolo «Le nostre unità di misura. Il Sistema Internazionale di unità di misura (SI)» è pubblicato in tedesco, francese e italiano.

Edizione

maggio 2019

Nota

Questo opuscolo è stato compilato con grande cura. Tuttavia, non ci assumiamo alcuna responsabilità per la correttezza, la completezza e l'attualità dei contenuti.

Riproduzione

consentita con indicazione della fonte, inviare per cortesia un esemplare della riproduzione.

