

## Il Sistema Internazionale di misura: un breve excursus storico

*Paolo Agnoli, Alfredo Esposito,  
maggio 2003*

### La misura

La misura è il processo con cui viene assegnato un numero ad una proprietà di qualcosa, qualsiasi cosa: è fondamentale nella scienza come nelle fabbriche, nella medicina come al supermercato, allo stadio e in tribunale per comunicare con gli altri e confrontare valutazioni dello stesso evento.

La metodologia della misura, come la intendiamo attualmente, si è sviluppata solo in un periodo relativamente recente. Una delle prime definizioni teoriche di misura la possiamo ritrovare proprio nell'[\*Enciclopedia\*](#) di Diderot e d'Alembert dove, alla voce "misurare", si può tra l'altro leggere: *il termine significa prendere una certa quantità ed esprimere i rapporti che tutte le altre quantità dello stesso genere hanno con la prima*. Tuttavia metodi primitivi di misurazione sono stati sin dall' antichità alla base della capacità dell'uomo di interagire e soprattutto di *incidere sul mondo circostante*. Nella lotta per sopravvivere gli uomini hanno potuto contare sulla *cultura* cioè sulla capacità di trarre informazioni dall'ambiente esterno, di comunicarle e di tramandarle da una generazione all'altra, svincolandosi dalla sola ereditarietà genetica.

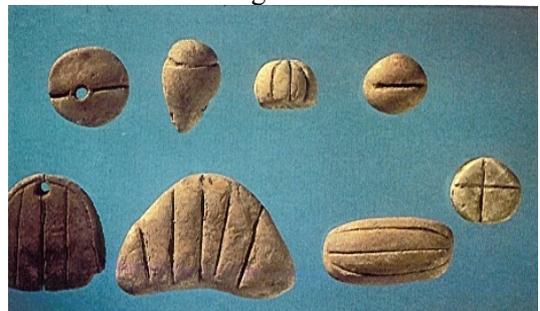
(La misura, oltre all'immediata importanza pratica, presenta quindi implicazioni fondamentali nei processi conoscitivi. Il processo attraverso cui si sono formati i concetti sulle misure è una componente importante dell'evoluzione della rappresentazione umana del mondo, della formazione dei sistemi di classificazione e dei concetti astratti).

Vediamo come nei secoli si è sviluppata la metodologia della misura e come si è arrivati a concepire un sistema di misura universale.

### Le prime unità di misura

Le unità di misura e i relativi campioni di cui oggi ognuno di noi dispone sono il frutto di un faticoso lavoro. Le attività di formalizzazione e standardizzazione del processo di misura hanno dovuto superare parecchi ostacoli. Tra i primi ci fu *la scelta di un numero adeguato di [grandezze fisiche](#) indipendenti* da assumere come *fondamentali* e dalle quali poter derivare tutte le altre cosiddette *grandezze derivate*.

Alla scelta di tali grandezze, decisive per la descrizione di un qualsivoglia fenomeno, ha fatto seguito la necessità di dover adottare un opportuno *sistema di unità di misura*, che ne permettesse la misurazione. L'ultimo problema, ma non meno importante, è stato quello di *istituire e costruire i campioni rappresentativi* delle unità di misura scelte, così da disporre di un riferimento attendibile, preciso e controllabile in ogni momento.



Gettoni del IV millennio a.C. per misurare diversi tipi di beni (animali, cibi, manufatti), provenienti da Uruk, attuale Iraq meridionale. Berlino, Vorderasiatisches Museum

Il righello di uno studente, il metro di una sarta o i pesi da 1 kg delle bilance a piatti sono tutti esempi di copie più o meno precise di alcuni dei suddetti campioni. E' palese l'importanza delle unità di misura e dei loro campioni anche al di fuori dell'ambito puramente scientifico, nelle attività quotidiane.



Bassorilievo metrologico greco.  
Oxford, Ashmolean Museum

Il processo storico che ha portato infine alla scelta di un sistema internazionale di misura è stato lungo e complesso, avendo dovuto intervenire sulle tradizioni plurisecolari delle diverse culture.

La prima importante tappa nello sviluppo dei concetti metrologici dell'uomo fu *antropomorfica*, in quanto si utilizzarono come principali unità di misura le parti del corpo umano: braccia, palmi, piedi, dita, unghie, etc...

(Per le lunghezze elevate -le distanze su scala geografica-

gli standard basati sull'anatomia umana non erano evidentemente sufficienti, ma il riferimento furono ancora le attività umane: per esempio stime basate sul tempo calcolato per uno spostamento, quali "un giorno di cammino" o "un'ora a piedi", insieme ad analoghe stime "equestri", quali "a un giorno di cavallo" o "a mezz'ora di piccolo galoppo").

Nel tempo, un lento processo di astrazione portò a definizioni che non dipendevano dalla specifica persona. Tuttavia, anche quando si arrivò a concepire le unità di misura come concetti astratti, *le differenze nel valore di queste unità, a seconda delle regioni o paesi interessati, persistettero a lungo.*



Cubito egiziano. Torino, Museo Egizio

Il processo di standardizzazione (peraltro non ancora concluso neanche oggi) ha avuto un andamento oscillante con fasi politicamente favorevoli seguite da ricadute localistiche. L'Impero Romano, con il suo bisogno di infrastrutture civili e militari per l'amministrazione del vastissimo territorio, ottenne una ragionevole uniformità nelle unità di misura, che però non sopravvisse alla sua caduta, alla frammentazione politica ed alle migrazioni dei popoli dall'Oriente recanti le proprie tradizioni e i propri riferimenti.

Un nuovo tentativo di uniformare le misure si ebbe in Inghilterra con la Magna Charta (1215) che introduceva anche un'importante politica metrologica: da allora in poi avrebbero dovuto esserci unità uniformi, riconosciute, riproducibili sulle quali sia gli acquirenti che i venditori avrebbero potuto fare affidamento. Ma truffe e raggiri ed una società basata più sulla forza che sulla legge vanificarono lo sforzo.

Un nuovo impulso alla definizione di unità *condivise* venne (secolo XIII) dalla nuova economia che legava le città marinare ed i centri della pianura padana di lavorazione della lana, attraverso Francia e Renania, alle Fiandre ed all'Inghilterra. Ma presto la drammatica realtà delle guerre di religione che insanguinarono l'Europa fece languire lo spirito di ricerca e di cooperazione.

Nel '600, a seguito della rivoluzione scientifica copernicana, sapere tecnico e scienza si unirono per capire e dominare la natura. Organizzazione e descrizione matematica dei dati osservati e ricerca delle leggi che descrivono e spiegano i fenomeni naturali furono le componenti fondamentali della nuova scienza; estendere l'osservazione e la misurazione al di là delle capacità dei sensi diventò un obiettivo primario.

Il *primo tentativo di sistema metrico universale* si deve a Gabriel Mouton, vicario a Lione, che nel 1670 propose che tutte le distanze venissero misurate attraverso un sistema decimale di unità basate sulle dimensioni della Terra stessa. Egli propose come unità di lunghezza l'arco di 1 minuto di un meridiano terrestre; in seguito lo stesso Mouton suggerirà di adottare come campione di lunghezza 1/10000 di tale arco.

## Il Settecento e la nascita del sistema metrico decimale

E' con l'avvento del metodo sperimentale da una parte e la spinta alla collaborazione internazionale dall'altra che viene per la prima volta sottolineata l'esigenza di disporre di unità di misura unificate in

sostituzione dell'enorme numero di unità in uso nei diversi paesi. Il problema fu tuttavia affrontato in maniera seria solo ai tempi della Rivoluzione Francese quando, nel 1790, l'Assemblea Nazionale avviò il primo tentativo di costruire un *sistema di unità di misura universale* incaricando del compito di fissare le unità di misura e i campioni delle grandezze fondamentali (allora, come vedremo subito, *lunghezza e massa*) una Commissione della quale fecero parte insigni scienziati. La Commissione, della quale facevano parte tra gli altri Borda, Laplace, Lagrange, Monge, Lavoisier e Condorcet, adottò il quarto di meridiano terrestre come base di un istituendo nuovo sistema metrico avviando nuovi lavori per la determinazione della lunghezza del meridiano e della massa di un volume d'acqua noto.

L'obiettivo di universalità *del tutto nuovo e rivoluzionario* alla base di tutti i lavori proposti dall'Assemblea Nazionale era tipico dello spirito illuminista. Ci si proponeva di fissare un nuovo prototipo che doveva essere scelto *nella Natura* e quindi accettabile in tutte le nazioni.

I sistemi di misura tradizionali risalenti ai tempi antichi erano il risultato dell'evoluzione di pratiche tradizionali usate in quelle società. Il sistema metrico, invece, fu creato *dal niente*, basato sui principi scientifici più certi disponibili all'epoca e con lo scopo di soddisfare le nuove esigenze del commercio e dell'industria. L'impegno civile caratterizzante l'Illuminismo, per cui la cultura filosofica doveva confrontarsi con i problemi concreti, indicando nel contempo le soluzioni più confacenti ai veri interessi



Incisione allegorica tratta da un libro del XVIII secolo: i *Lumi* scendono a illuminare la mente degli uomini

della società, fu certamente alla base di questo imponente sforzo. In questa prospettiva si evidenzia lo scopo eminentemente pratico della filosofia, cioè il suo impegno civile volto a diffondere nella società uno *spirito di precisione* indissolubilmente legato all'attività economica in base alla quale si sviluppa, e che costituisce la reale promotrice del progresso e della sempre maggiore diffusione *della civiltà, cioè per l'Illuminismo, della razionalità*.

E' in questa cornice storica che la Commissione ebbe il merito di dare a tutte le generazioni successive il primo sistema di misura scientifico. Il principio guida era quello di definire alcune unità base di misura secondo criteri universalmente accessibili e collegati alla Natura, oltre al bisogno di far derivare tutte le altre unità di misura necessarie utilizzando regole logiche.

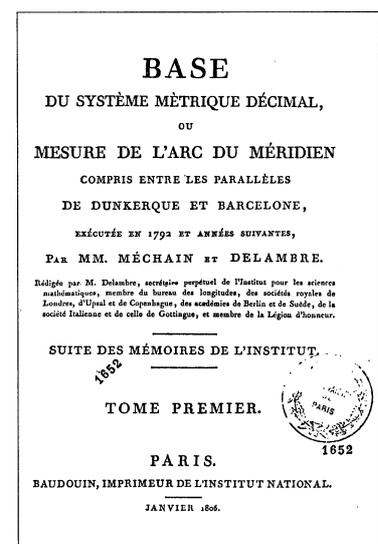
L'unità di base ritenuta più appropriata fu la lunghezza. In un rapporto, l'Accademia delle Scienze francese consigliava l'adozione di un'unità corrispondente a un decimilionesimo di distanza sulla superficie della Terra dal Polo Nord all'Equatore. A questa unità venne dato il nome di "metro".

L'unità della massa sarebbe stata rappresentata dalla massa d'acqua necessaria a riempire un volume corrispondente a quell'unità. L'idea di porre

un insieme costituito dal più piccolo numero possibile di unità di base come fondamento per la derivazione di tutte le altre unità di misura richieste dalla società, fa parte oggi del nostro moderno sistema di unità di misura. Nacque in questo modo (decreto del 7 aprile 1795) il **Sistema Metrico Decimale** (SMD), definendo per la prima volta in maniera ufficiale il **metro** come la frazione  $1/10^7$  dell'arco di meridiano terrestre dal polo all'equatore (il kilogrammo fu definito come la massa di un decimetro cubo di acqua distillata alla temperatura della sua massima densità,  $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

La costruzione dei modelli definitivi per la lunghezza e la massa venne completata nel giugno del 1799. Il 22 giugno 1799 i *prototipi del metro e del chilogrammo* furono presentati al Consiglio degli Anziani e dei Cinquecento. Giustamente Napoleone affermò, riferendosi al sistema metrico decimale: «*Les conquêtes passent, mais ces opérations restent*».

Il decreto che stabiliva le nuove misure di lunghezza e massa definiva anche una nuova unità monetaria: il franco. Unificazione di misure, unificazione di moneta, sistema decimale per entrambi.



Fu solo dopo molti anni che vennero adottate anche l'unità di tempo, il **secondo**, definito inizialmente come la frazione  $1/86400$  della durata del giorno solare medio<sup>1</sup> e l'unità di temperatura, il **grado Celsius**, definito come la centesima parte dell'intervallo compreso tra i punti di solidificazione (0 °C) e di ebollizione (100 °C) dell'acqua alla pressione di 1 atm.

Di per sé il sistema metrico non ha un particolare valore. Le misure primitive, come in generale tutte quelle esistenti fino agli inizi del capitalismo, significavano invece qualche cosa per chi le adoperava, esprimevano qualcosa di umano, legato alla persona umana o alle condizioni della sua vita e del suo lavoro. Dal punto di vista storico e sociale però il sistema metrico decimale segnò una tappa importantissima dell'umanità verso l'obiettivo di un linguaggio comune globale, per la comprensione, la comunicazione e la collaborazione reciproca.

### **L'Ottocento e il Novecento: il Sistema Internazionale**

Il SMD fu adottato nel 1816 da Belgio, Olanda e Lussemburgo e nel 1849 dalla Spagna. Variazioni nelle unità fondamentali furono proposte da Gauss (1832 - millimetro, milligrammo e secondo) e da Kelvin (1863 - metro, grammo, secondo). Nel 1863 fu adottato dalla Prussia, nel 1871 da Austria e Cecoslovacchia, poi in Ungheria (1874). Negli stati dell'Europa orientale e nei paesi baltici il metro arrivò con la conquista dell'indipendenza: Serbia (1863), Romania (1883), Bulgaria (1888), Polonia (1919), nell'Unione Sovietica nel 1918 con la Rivoluzione, in Jugoslavia ugualmente nel 1919, in Lituania e in Lettonia nel 1920. Ad eccezione della Cecoslovacchia, negli altri paesi l'introduzione del sistema metrico fu facilitata dal fatto che le vecchie misure abbandonate rappresentavano per le popolazioni il simbolo dell'occupazione straniera o del vecchio regime.

Lo stesso significato ebbe la riforma anche in altri paesi con situazioni e regimi totalmente diversi: come in Giappone, dove il metro entrò in vigore nel 1921, o in Cina, dove il sistema metrico venne adottato subito dopo la Rivoluzione, o ancora in India, dove la decisione fu presa, sia pure con qualche incertezza, dopo aver raggiunto l'indipendenza.

Una conferenza tenuta a Parigi (1875) dopo vari tentativi frustrati dalla guerra Franco-Tedesca, diede una forma organizzativa all'internazionalizzazione del SMD con una convenzione internazionale (Convenzione del Metro) e con la creazione, a spese di tutti i partecipanti, dell'*Ufficio Internazionale dei Pesi e Misure* (BIPM, Bureau International des Poids et Mesures) come organo scientifico permanente con sede a Parigi. La convenzione fu sottoscritta in un primo momento da Russia, Germania, Impero austro-ungarico, Belgio, Brasile, Argentina, Danimarca, Spagna, Stati Uniti, Francia, Italia, Perù, Svezia, Norvegia, Svizzera, Turchia e Venezuela. Furono contemporaneamente creati la *Conferenza Generale dei Pesi e Misure* (CGPM) e il *Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure* (CIPM).

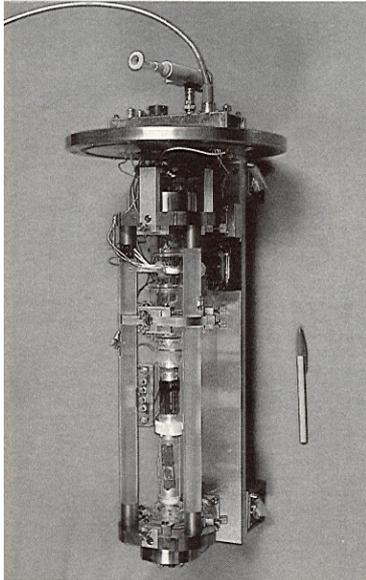
La necessità di disporre di campioni rigorosamente invariabili, riproducibili e universali aveva spinto gli studiosi di metrologia a ricercare tra le caratteristiche della Terra qualcosa che si prestasse allo scopo. Successivamente, essendosi scoperte variazioni di entità non trascurabile nelle caratteristiche di forma e di moto della Terra, fu la fisica atomica a suggerire per alcune delle grandezze fondamentali l'adozione di [campioni atomici di elevata precisione](#).

Dalla fine del XVIII secolo fino alla seconda metà del XX, il metro è stato sempre una particolare barra di metallo, conservata accuratamente e adeguatamente protetta in una località selezionata della Francia. L'ultima di queste barre di metallo, che rappresenta fisicamente il metro, è ancora oggi conservata in una cripta di Sèvres, poco lontano da Parigi. Altre copie, fatte con precisione e scrupolosamente protette di questo unico metro, sono conservate presso uffici e laboratori nazionali (analogamente sono state effettuate delle copie del chilogrammo, preservato anch'esso nella cripta di Sèvres). Gli sviluppi della fisica atomica permisero di elaborare metodi che erano di gran lunga più esatti della misurazione della distanza tra i due estremi di una barra di metallo: nel 1960 fu definito il [metro ottico](#) come un multiplo della lunghezza d'onda della luce emessa dall'atomo di krypton 86.

In quella occasione l'XI CGPM ribattezzò il sistema metrico con il nome di **Sistema Internazionale** (S.I.). Anche la definizione dell'unità di tempo, [il secondo](#), fu rivista. Nel 1967 la XIII Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure sostituì infatti con l'atomo di Cesio 133 tutti gli altri corpi celesti che precedentemente erano stati utilizzati come base dell'unità di tempo, legando la definizione di secondo ad una sua particolare transizione.

<sup>1</sup> media di tutti i valori che assume durante l'anno il giorno solare vero

Nel 1983 la XVII CGPM ridefinì ancora una volta il metro come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un ben definito intervallo di tempo. Fu la prima (parziale) realizzazione del progetto in passato proposto da vari fisici (Maxwell, Stoney, Planck, ...) che avevano suggerito di basare il sistema di unità su valori assegnati per convenzione ad alcune costanti fondamentali della fisica (la velocità della luce, la costante di Planck, la costante di Avogadro, ...) che riassumono le informazioni più profonde della nostra comprensione della realtà: l'invarianza della velocità della luce è stata adottata quale principio fondamentale assegnando ad essa il valore convenzionale  $c=299792458$  m/s. Il [metro](#) è ora di fatto un'unità derivata. Su questa linea di pensiero si colloca la proposta di definire tutte le unità fissando per ciascuna di esse un valore convenzionale per una costante fondamentale misurata con altissima precisione. In un simile sistema il secondo sarà definito da un fenomeno naturale (il periodo di una transizione atomica oppure della rotazione di una pulsar) mentre tutte le altre unità saranno derivate assegnando convenzionalmente il valore di alcune costanti fondamentali. (P.es. il chilogrammo potrebbe



Realizzazione del Metro campione secondo la adozione della XVII CGPM (si fa ricorso alla luce emessa da un laser a elio-neon stabilizzato allo iodio. Sèvres, BIPM)

essere ridefinito come un grande multiplo della massa del protone). L'attuazione di questo programma richiede tuttavia ancora molti anni in quanto una costante universale è utilizzabile ai fini metrologici solo se l'unico limite all'incertezza della sua misurazione è costituito dall'incertezza della realizzazione dell'unità che si intende ridefinire. C'è però da dire che, oltre i problemi tecnici, lo stesso concetto di "costante universale" può aprire una discussione di ordine teoretico. Secondo alcuni, infatti, la *costanza* delle costanti universali della natura sarebbe solo presunta, e si baserebbe soprattutto su una nostra *fede* nell'uniformità della natura stessa.

### Conclusioni

Per capire come sia stato possibile giungere a questi risultati va sottolineato che il processo di standardizzazione dei sistemi di misura è stato un aspetto, certo il più importante, di un *processo più*

*generale di normalizzazione delle comunicazioni* volto ad una vera e propria *razionalizzazione della società*.

Dalle più sofisticate unità di misura all'oggetto più insignificante, come il cacciavite cruciforme, fino ad arrivare alle tecniche più recenti di normalizzazione internazionale nella gestione delle imprese (che si tratti della certificazione di qualità o dell'ambiente), la normalizzazione tecnologica impregna la nostra vita quotidiana, gli oggetti che ci circondano, ma soprattutto il nostro modo di lavorare, di produrre, di viaggiare e di vivere nella società.

La ragione dell'uomo occidentale, le cui radici sono certo da ricercare in tempi ben più remoti, dal momento in cui si è affermata la società moderna si è però sempre più esplicita in occasione del lavoro che svolge, nel senso cioè che la razionalità si esprime pienamente nei tentativi che fa l'uomo per rendere sempre più produttivo il suo lavoro.

E' plausibile affermare che l'unificazione degli standard metrologici abbia iniziato ad avere successo in una fase storica in cui tale unificazione era ormai divenuta auspicabile e compatibile rispetto a quegli ideali di *universalità* e di *razionalità economica* che hanno così fortemente caratterizzato la nascita della società moderna. In altre parole è ipotizzabile che il processo di standardizzazione delle misure sia fortemente legato tanto allo spirito e ai valori del capitalismo moderno quanto alla sua storica affermazione nel mondo occidentale, che ci ha accompagnato fino al processo di globalizzazione economica in atto.

Questo ci rammenta quanto la Storia della Scienza debba non solo tener conto del contenuto puramente scientifico del problema che affronta, ma anche prestare attenzione agli aspetti filosofici, sociali, politici che ad esso sono legati e che permettono di coglierne tutta la complessità.

Per approfondimenti si possono consultare i seguenti volumi.

Alder K., *La misura di tutte le cose*, Milano, Rizzoli, 2002

Guedj D., *Il Meridiano*, Milano, Longanesi, 2001

Kula W., *Le misure e gli uomini dall'antichità ad oggi*, Bari, Laterza, 1987

Nata con il proposito dichiarato (Diderot) di "cambiare il modo di pensare", l'Encyclopédie fu un'opera monumentale pubblicata a Parigi tra il 1751 e il 1772. E', di fatto, un vero e proprio simbolo dell'Illuminismo, l'opera che più di ogni altra ne esprime il carattere e le intenzioni.

Le caratteristiche sono quelle di un grande progetto enciclopedico, con l'obiettivo di ordinare e classificare la totalità delle conoscenze, con un fine scientifico e contemporaneamente didattico.

La direzione dell'impresa venne affidata al filosofo Denis Diderot (curatore generale) e al matematico Jean-Baptiste d'Alembert (responsabile scientifico), ma molti e famosi furono i collaboratori, primo fra tutti Voltaire, ma anche Rousseau, Quesnay, Turgot e d'Hobach.

Nel Discorso preliminare all'opera d'Alembert descrive l'evoluzione del pensiero umano i cui passaggi fondamentali sono identificati in quei "pochi grandi geni le cui opere hanno contribuito a diffondere tra gli uomini la luce della ragione". In questo contestano dominano le figure di Bacone, Newton e Locke, a cui si affiancano tutti i maggiori ingegni scientifici, da Galilei a Huygens.

La realizzazione dell'opera fu fortemente contrastata dalle forze dell'Ancien régime (in un certo momento politico fu addirittura considerata illegale), ed il risultato fu raggiunto soprattutto per il convincimento ed il coraggio dei curatori, degli autori, e dell'editore parigino Le Breton. ([torna](#))

Una "grandezza fisica" può essere definita come una caratteristica misurabile di un sistema, completamente individuata dal risultato di una ben determinata operazione di misura. Il complesso delle operazioni da eseguire per effettuare una misura si chiama *operazione metrica*. Il nome metro deriva dal greco *metron*, latino *metrum* = misura (in senso generale, non specificatamente di lunghezza). ([torna](#))

Sotto certe condizioni le molecole emettono radiazione elettromagnetica a frequenze fisse. La radiazione appare come una linea visibile sullo spettro all'incirca a  $5 \times 10^{14}$  cicli per secondo (cps). Se si trova il metodo per contare tali cicli, è possibile creare un orologio atomico. Ciò non è stato fatto per la luce visibile perché le frequenze sono troppo alte, ma linee spettrali invisibili all'occhio nudo esistono per le onde radio a lunghezza d'onda corta -circa un centimetro - chiamate *microonde*. Per una lunghezza d'onda di 3 cm la frequenza è di circa  $10^{10}$  cps. Gli apparecchi per generare microonde e per contare i cicli divennero disponibili intorno al 1940 con lo sviluppo militare del radar e ciò aumentò le possibilità di controllo sulle oscillazioni ad alta frequenza. Tali oscillazioni, provocate dall'uomo e identiche a quelle delle onde radio corte, furono sintonizzate in modo da corrispondere a specifici cambiamenti di energia nelle molecole e negli atomi. Questi cambiamenti furono accuratamente misurati nei termini delle oscillazioni elettromagnetiche che emettevano o assorbivano. *Ogni oscillazione, che può essere mantenuta ad una frequenza uniforme, può servire come base per un orologio. Questo è vero sia nel caso in cui l'oscillazione sia quella di un pendolo o quella di una molecola che emette energia alla frequenza determinata dalla sua struttura*. Nei successivi e più efficaci apparecchi realizzati per misurare il tempo furono utilizzati fasci di atomi al posto di molecole. Un orologio atomico combina un orologio elettronico con un oscillatore atomico. La radiazione elettromagnetica viene prodotta quando un atomo o molecola cade da uno stato più elevato di energia ( $E_1$ ) ad uno stato più basso ( $E_2$ ).

Il migliore tra questi strumenti moderni si serve degli atomi di un comune isotopo di Cesio, noto come Cesio 133. Il Cesio 133 ha un nucleo composto da 54 protoni, 79 neutroni (particelle prive di carica), e 54 elettroni, il più esterno dei quali è solo nel suo orbitale. Nel 1955 è stato creato un oscillatore atomico ad altissima precisione al Laboratorio Nazionale di Fisica a Teddington in Inghilterra, usando un raggio d'atomi di cesio (nonostante tali orologi "da raggi di cesio" siano complessi in teoria, sono stati prodotti commercialmente da varie ditte in versioni altamente precise e leggere; la frequenza rimane stabile intorno a circa  $\pm 2$  parti in  $10^{12}$ , e la frequenza assoluta è corretta per circa  $\pm 5$  parti in  $10^{12}$ ). Un orologio moderno al cesio, accuratamente costruito e con un'adeguata manutenzione, può misurare il tempo con una stabilità tale che se dovesse essere utilizzato per un intero secolo, la deviazione rispetto all'ora precisa non sarebbe più grande di 3 millisecondi. Gli orologi più precisi si trovano nei laboratori nazionali; le loro incertezze sono stimate in alcune parti su  $10^{15}$ . ([torna](#))

Il secondo equivale alla durata di 9.192.631.770 periodi (o cicli) della radiazione che corrisponde alla transizione tra due livelli iperfini dell'atomo di Cesio 133. ([torna](#))

Def. 1960

Il metro è quella lunghezza che equivale a 1.650.763,73 lunghezze di onda nel vuoto della radiazione che corrisponde alla transizione tra i livelli  $2p_{10}$  e  $5d_5$  dell'atomo di krypton 86. ([torna](#))

Def. 1983

Il metro è il tragitto percorso dalla luce nella frazione  $1/299792458$  di secondo. ([torna](#))