



## ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA Repository Istituzionale

Il mondo delle misure: la metrologia e il nuovo SI

*Original*

Il mondo delle misure: la metrologia e il nuovo SI / Sega, Michela. - 6:(2020), pp. 162-174.

*Availability:*

This version is available at: 11696/67030 since: 2021-02-17T10:53:14Z

*Publisher:*

Associazione SPAIS

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# SCUOLA PERMANENTE PER L'AGGIORNAMENTO DEGLI INSEGNANTI DI SCIENZE SPERIMENTALI



René Magritte - La Trahison des Images (1929)

## I modelli nelle Scienze

A cura di:

Michele A. Floriano e Marco Russo





**Contributi alla**

# **Scuola Permanente per l'Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze Sperimentali**

**XIII edizione: "I modelli nelle Scienze"**

**Hotel della Valle Agrigento**

**22 – 27 LUGLIO 2019**

Comitato scientifico-organizzatore:

Presidente: Michele A. Floriano

Anna Caronia  
Giorgio Cucciardi  
Giovanni Magliarditi  
Salvatore Stira

Delia Chillura Martino  
Claudio Fazio  
Marco Russo

infospais@gmail.com - [www.unipa.it/flor/spais.htm](http://www.unipa.it/flor/spais.htm)

Quaderni di Ricerca in Didattica, numero speciale 6

Editor in Chief: Claudio Fazio – University of Palermo, Italy  
Editorial Director: Benedetto di Paola - University of Palermo, Italy

ISBN: 978-88-941026-5-9

First edition, 21<sup>th</sup> February 2020, © SPAIS, Palermo

# *Indice*

*Prefazione*

Michele A. Floriano e Anna Caronia

*I modelli nelle Scienze*

1

Fabio Caradonna

*Le linee cellulari V79 e Caco-2: due modelli per studi in vitro di epi-mutagenesi*

4

Antonino Cerruto

*Problemi sulle competenze risolti con la calcolatrice grafica*

13

Franco Colombo

*Dall'osservazione alla previsione. Che cosa sono e come funzionano i modelli meteorologici*

37

Filomena De Leo

*La biodiversità microbica di ambienti estremi come risorsa per l'esplorazione di nuove potenzialità biotecnologiche*

44

Tiziana Di Salvo

*L'Event Horizon Telescope e la prima "foto" di un Buco Nero*

54

Antonella di Vincenzo, Michele A. Floriano

*Un modello realistico per visualizzazioni dinamiche in didattica della chimica*

73

Enrico Giannetto

*Teorie fisiche: sintassi logica e matematica, modelli e semantica teorica, pragmatica sperimentale*

83

Giovanni Magliarditi

*Nuove frontiere dell'insegnamento delle scienze. Modelli didattici ed esperienze vissute*

90

Michele Migliore

*Modelli computazionali dei meccanismi alla base delle funzioni cognitive*

106

Elisabetta Oddo

*Organismi modello in biologia vegetale: esempi per la ricerca e la didattica*

117

Salvatore Patanè

*Dai semiconduttori alle celle solari fotovoltaiche: tecnologie e prospettive*

127

Enrico Prenesti

*Il concetto di modello e il suo uso nelle scienze*

149

Michela Sega

*Il mondo delle misure: la metrologia e il nuovo SI*

162

Roberto Zingales

*La Tabella Periodica. Il dito e la luna*

175

# **Il mondo delle misure: la metrologia e il nuovo SI**

**Michela Segà**

Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM)

E-mail: [m.sega@inrim.it](mailto:m.sega@inrim.it)

**Riassunto.** Il 20 maggio 2019 è entrato in vigore il nuovo Sistema Internazionale delle unità di misura (SI). Il nuovo SI continua a mantenere le stesse sette unità di base, ma si assiste ad un cambiamento totale di paradigma. Tutte le unità, infatti, sono ora legate ciascuna a una costante fondamentale della natura, che le rende quindi universali e immutabili nello spazio e nel tempo. Nel presente contributo, vengono illustrati alcuni cenni storici sulla nascita del SI e sulla sua evoluzione, oltre ai concetti alla base del nuovo SI. Vengono inoltre affrontati i temi generali della metrologia, la scienza della misurazione e delle sue applicazioni, incluso il suo contributo verso misure armonizzate e di qualità sia su scala nazionale sia internazionale, con alcuni esempi del ruolo della ricerca metrologica, anche a supporto delle sfide sociali in settori come l'ambiente o la salute.

**Abstract.** On 20<sup>th</sup> May 2019 the new International System of Units (SI) came into effect. The new SI maintains the same seven base units, however with a radical paradigm shift. Each unit is now linked to a fundamental constant of nature, hence being universal and unchangeable in space and time. In the present work, some historical notes on the birth of the SI and its evolution are given. Moreover, it deals with the general concepts of metrology, the science of measurement and its applications, including its contribution to harmonised measurements both at national and international level, with some examples of the role of the metrological research also to support the societal challenges in sectors like health and environment.

## **1. Introduzione**

Il 2019 rappresenta un anno di cambiamento nel mondo delle misure: dal 20 maggio, data della firma della Convenzione del Metro e in cui si celebra la Giornata Mondiale della Metrologia, è entrato in vigore il nuovo Sistema Internazionale delle unità di misura (SI). Il nuovo SI continua a mantenere le stesse sette unità di base (m, s, kg, K, mol, A, cd) ma, contrariamente al passato, si assiste ad un cambiamento totale di paradigma. Tutte le unità, infatti, sono ora legate ciascuna a una costante fondamentale della natura, che le rende quindi universali e immutabili nello spazio e nel tempo, oltre a superare i limiti del sistema precedente che prevedeva costanti, esperimenti ideali, proprietà materiali e prototipi. Il presente lavoro illustra alcuni cenni storici sulla nascita del SI e sulla sua evoluzione, oltre ai concetti alla base del nuovo SI. Vengono inoltre affrontati i principi generali della metrologia, che, in quanto scienza della misurazione e delle sue applicazioni, è per sua natura una disciplina trasversale che comprende gli aspetti sia teorici sia pratici della misurazione, qualunque siano il campo di applicazione e l'incertezza di misura. Si forniscono cenni sulle organizzazioni metrologiche internazionali, volte a garantire l'armonizzazione e l'equivalenza delle misure su scala mondiale, e sul ruolo degli Istituti Metrologici Nazionali, elemento di raccordo tra la nazione e il contesto globale.

## **2. La necessità di riferimenti comuni**

### *2.1 L'esigenza di misurare*

L'uomo ha sempre sentito l'esigenza di misurare: poter disporre di modi e metodi per misurare lo scorrere del tempo e le grandezze materiali come la distanza, o la lunghezza e il peso di un oggetto hanno accompagnato l'umanità fin dalla preistoria. Per lungo tempo, l'uomo è stato al centro di tutte le cose e questo aspetto ha condizionato anche le misurazioni. Questa è la ragione per cui in molte civiltà le misure dimensionali sono state effettuate per confronto con alcune parti del corpo, come il pollice, il palmo, la spanna, il piede, il braccio e così via. L'esigenza di misurare le grandezze fisiche utilizzate nella vita di tutti i giorni e il loro impiego in contrattazioni e transazioni anche di tipo commerciale, hanno portato alla necessità di poter disporre di misure accurate, ma anche di riferimenti comuni. Per molti secoli questo aspetto si è però limitato ad avere riferimenti comuni e condivisi solo all'interno di specifiche comunità.

### *2.2 Verso un sistema universale di unità di misura*

Quanto fosse sentita l'esigenza di avere unità di misura eque e uguali per tutti diventò inequivocabilmente chiaro allo scoppio della Rivoluzione Francese nel 1789. Ciascun Paese adottava unità di misura diverse e spesso anche uno stesso



tipo di misura aveva unità diverse a seconda degli impieghi. Questo fatto costituiva un enorme ostacolo, in particolare agli scambi di tipo commerciale. L'Assemblea Nazionale incaricò l'*Académie des Sciences* di studiare una soluzione ed essa nominò una Commissione della quale il matematico e astronomo italiano Giuseppe Luigi Lagrange fu chiamato a far parte. Il nuovo sistema di misura avrebbe dovuto essere universale e quindi possedere alcuni requisiti, quali essere uniforme, legare tra di loro le unità, l'unità di misura doveva essere naturale e invariabile per poter essere accettata da tutti i popoli e alla portata di tutti, non di competenza esclusiva di pochi. Il metodo sperimentale elaborato da Galileo Galilei, venne eletto a modello per condurre le misurazioni necessarie per istituire i nuovi riferimenti. La scelta iniziale di costruire un pendolo campione sfruttandone l'isocronismo e realizzando un campione che battesse il secondo da utilizzare sia per le misure di lunghezza sia per quelle di tempo, viene presto abbandonata: il periodo di oscillazione, infatti, risultò non essere costante ma condizionato dalle anomalie della gravità terrestre. La Terra venne scelta quindi come riferimento, proponendo di utilizzare dei sottomultipli delle dimensioni della Terra per realizzare un campione di lunghezza e condurre sperimentalmente la misura di una porzione di un meridiano campione o un parallelo campione (l'equatore). Per ragioni pratiche, viene abbandonata l'idea di misurare l'equatore e viene deciso di ripetere, sfruttando le potenzialità offerte dalle nuove tecniche di misura, l'esperimento di Eratostene per la misura del meridiano terrestre. Si stabilì quindi che l'unità di lunghezza, cui fu dato il nome di metro, sarebbe stata la decimilionesima parte del quarto di un meridiano terrestre. Per questioni logiche e logistiche, la scelta cadde sul meridiano che passa per Parigi, con la decisione di misurarne un arco che andava da Dunkerque a Barcellona, riprendendo con tecniche moderne quello che era stato il tentativo fatto da Eratostene 2000 anni prima. Vennero quindi incaricati due autorevoli scienziati astronomi, Jean-Baptiste Delambre e Pierre François André Mechain che, nel giugno del 1792, partirono uno verso nord e l'altro verso sud, rispettivamente. Il loro lavoro fu a dir poco eroico, dovendo far fronte a enormi difficoltà, non solo di tipo organizzativo e misuristico, ma anche politico. Si trattava infatti di eminenti scienziati che viaggiavano per un'Europa sconvolta dalle guerre, tra la diffidenza generale, muniti del lasciapassare di un re che nel frattempo era stato ghigliottinato. Mechain venne addirittura arrestato in Spagna. Ma portarono a termine la loro missione concludendo i lavori nel 1798. I risultati furono sottoposti all'esame di una commissione internazionale e il 22 giugno 1799 due campioni materiali di platino che rappresentavano il metro e il kilogrammo (i cosiddetti metro e kilogrammo degli Archivi), vennero depositati presso gli

Archivi della Repubblica di Parigi, andando a costituire i primi passi verso l'attuale SI [1].

### *2.3 La Convenzione del Metro*

Nel 1867, La Conferenza Internazionale di Geodesia, riunitasi a Berlino, decretò sull'importanza di adottare il Sistema Metrico come un sistema di pesi e misure unico per l'Europa, raccomandando la costruzione di un nuovo prototipo del metro e la creazione di una commissione internazionale, decisione vista con favore non solo dalla comunità scientifica francese, ma anche da quelle russa e britannica. Il 1 settembre 1869, un decreto dell'Imperatore Napoleone III propose l'istituzione di una commissione scientifica internazionale per promuovere l'uso delle misure metriche e per costruire un prototipo internazionale del metro, dando così un ruolo fondamentale alla Francia. Il 16 novembre 1869 il governo francese inviò gli inviti a partecipare ai lavori della commissione. La Commissione Internazionale del Metro venne istituita a Parigi nel 1870. I suoi lavori vennero condotti con la partecipazione di circa 30 Paesi, inclusi dieci del continente americano e portarono alla realizzazione del nuovo metro prototipo e, in seguito, alla firma della Convenzione del Metro (*Convention du Mètre*) [1]. La Convenzione del Metro venne firmata a Parigi, il 20 maggio 1875, dai rappresentanti di diciassette nazioni, tra cui l'Italia. È un vero e proprio trattato diplomatico internazionale che istituì l'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure (BIPM), organizzazione intergovernativa che opera sotto l'autorità della Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM) e la supervisione del Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM). La Convenzione del Metro ha costituito una struttura organizzativa permanente dei governi degli stati membri per agire di comune accordo su tutte le questioni legate alle unità di misura. Attualmente conta 60 Stati Membri e 42 Associati.

## **3. Il Sistema Internazionale delle unità di misura**

### *3.1 Il SI e la sua evoluzione*

La creazione del sistema metrico decimale durante la rivoluzione Francese è stato il primo passo verso il Sistema Internazionale SI. Lo scienziato tedesco Johann Friedrich Carl Gauss, nel 1832, si fece promotore dell'applicazione di tale sistema, integrato dal secondo definito in astronomia, come sistema coerente di unità di misura per le scienze fisiche. Gli sviluppi futuri delle scienze fisiche e sperimentali si basarono largamente su questo sistema.

Dopo la firma della Convenzione del Metro nel 1875 che aveva creato il BIPM e istituito la CGPM e il CIPM, iniziarono i lavori per realizzare i nuovi prototipi del metro e del chilogrammo, che vennero formalmente approvati nel corso della

prima CGPM nel 1889. Insieme al secondo astronomico, assunto come unità di tempo, queste unità andarono a costituire il sistema MKS. Nel 1901, il fisico italiano Giovanni Giorgi mostrò che era possibile combinare le unità del Sistema MKS con le unità elettriche per ottenere un Sistema basato su quattro unità, una delle quali di natura elettrica come l'ampere o l'ohm. La proposta di Giorgi venne profondamente esaminata e discussa a livello internazionale, fino a portare al sistema MKSA, che includeva l'ampere come quarta unità, approvato dal CIPM nel 1946. In seguito a una consultazione internazionale condotta dal BIPM, la 10<sup>a</sup> CGPM, nel 1954, approvò l'ulteriore introduzione del kelvin e della candela come unità fondamentali per la temperatura termodinamica e l'intensità luminosa rispettivamente. Durante l'11<sup>a</sup> CGPM (1960), a tale Sistema venne dato il nome di Sistema Internazionale delle Unità, abbreviato in SI. Vennero anche stabilite delle regole per l'uso di prefissi, di unità derivate e supplementari. Nel 1960 venne anche riformulata la definizione del metro, basata sulla lunghezza d'onda di una particolare transizione del <sup>86</sup>Kr. I successivi progressi della tecnologia, ne consentirono una nuova formulazione nel 1983 nel corso della 17<sup>a</sup> CGPM, che lega il metro alla distanza che la luce percorre nel vuoto in un intervallo di tempo specificato. Considerata l'importanza di una definizione precisa dell'unità di tempo nei settori tecnologici, durante la 13<sup>a</sup> CGPM (1967-1968) venne introdotta una nuova definizione del secondo, riferita alla transizione iperfine dell'atomo di <sup>133</sup>Cs. Durante la 14<sup>a</sup> CGPM (1971) venne introdotta una nuova unità fondamentale per le misure chimiche, la mole, unità della grandezza quantità di sostanza, portando il SI alla struttura con sette unità fondamentali, che mantiene tuttora. La tabella 1 riporta le definizioni delle unità del SI in vigore fino al 19 maggio 2019.

### *3.2 L'attuale SI*

Il SI era precedentemente definito in termini di sette unità di base, scelte per ragioni storiche, e considerate, per definizione, come indipendenti dal punto di vista dimensionale. Dalla sua introduzione, sono stati compiuti progressi straordinari nella tecnica e nella conoscenza scientifica. Tali progressi, uniti alla disomogeneità delle definizioni precedenti, hanno portato alla consapevolezza dell'importanza di legare le unità del SI a grandezze invarianti, come le costanti fondamentali della natura e le proprietà degli atomi. Sulla base delle conoscenze attuali e degli esperimenti condotti per determinare i valori di tali costanti fondamentali in modo coerente e con la massima accuratezza ottenibile, il 16 novembre 2018, durante la 26<sup>a</sup> CGPM, gli stati membri del BIPM votarono, all'unanimità, la revisione del SI, che avrebbe implicato una nuova definizione delle unità di misura kilogrammo, ampere, kelvin e mole. In seguito a tale

decisione, a partire dal 20 maggio 2019, tutte le unità di misura del SI sono definite in termini di costanti naturali, assicurando la futura stabilità del SI e aprendo la strada all'impiego di nuove tecnologie, incluse le tecnologie quantistiche, per la realizzazione delle definizioni. La figura 1 riporta il logo dell'attuale SI, indicando la corrispondenza tra le unità e la costante di pertinenza. Le definizioni attualmente in vigore delle unità di misura del SI sono riportate in tabella 1. Informazioni più dettagliate sul SI si possono reperire nella brochure del BIPM "The International System of Units". La nona edizione, quella corrente, è stata pubblicata nel 2019 ed è scaricabile dal sito web del BIPM [2].



**Figura 1.** Logo del SI (Creative Commons License CC BY-ND 4.0) [3]

**Tabella 1.** Definizioni delle unità SI.

<b>Grandezza</b>	<b>Unità SI</b>	<b>Precedente definizione dell'unità SI</b>	<b>Definizione in vigore dell'unità SI</b>
<b>Intervallo di tempo (<i>t</i>)</b>	<b>secondo (s)</b>	Il secondo è l'intervallo di tempo che contiene 9192631770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.	Il secondo è definito dal valore numerico prefissato della frequenza del cesio $\Delta\nu_{Cs}$ (la frequenza della transizione iperfine dello stato fondamentale imperturbato dell'atomo di cesio 133), pari a 9192631770 quando espresso in Hz (che equivale a $s^{-1}$ ).
<b>Lunghezza (<i>l</i>)</b>	<b>metro (m)</b>	Il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di $1/299792458$ di secondo.	Il metro è definito dal valore numerico prefissato della velocità della luce nel vuoto $c$ , pari a 299792458, quando espresso in $m \cdot s^{-1}$ .
<b>Massa (<i>m</i>)</b>	<b>kilogrammo (kg)</b>	Il kilogrammo è l'unità di massa ed è eguale alla massa del prototipo internazionale.	Il kilogrammo è definito dal valore numerico prefissato della costante di Planck $h$ , pari a $6.62607015 \times 10^{-34}$ , quando espresso in $J \cdot s$ (che equivale a $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$ ).
<b>Intensità di corrente elettrica (<i>I</i>)</b>	<b>ampere (A)</b>	L'ampere è l'intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori paralleli, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile e posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro, nel vuoto, produrrebbe tra i due conduttori la forza di $2 \times 10^{-7}$ newton per ogni metro di lunghezza.	L'ampere è definito dal valore numerico prefissato della carica elementare $e$ , pari a $1.602176634 \times 10^{-19}$ , quando espresso in C (che equivale ad $A \cdot s$ ).
<b>Temperatura termodinamica (<i>T</i>)</b>	<b>kelvin (K)</b>	Il kelvin, unità di temperatura termodinamica, è la frazione $1/273.16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.	Il kelvin è definito dal valore numerico prefissato della costante di Boltzmann $k$ , pari a $1.380649 \times 10^{-23}$ $J \cdot K^{-1}$ (che equivale a $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$ ).
<b>Quantità di sostanza (<i>n</i>)</b>	<b>mole (mol)</b>	La mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0.012 kg di carbonio 12; il suo simbolo è "mol".	Una mole contiene esattamente $6.02214076 \times 10^{23}$ entità elementari. Questo numero corrisponde al valore numerico prefissato della costante di Avogadro $N_A$ , espresso in $mol^{-1}$ , ed è chiamato numero di Avogadro.
<b>Intensità luminosa (<i>I<sub>v</sub></i>)</b>	<b>candela (cd)</b>	La candela è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12}$ Hz e la cui intensità energetica in quella direzione è 1/683 watt allo steradiante.	La candela è definita dal valore numerico prefissato del coefficiente di visibilità della radiazione monocromatica con frequenza $540 \times 10^{12}$ Hz $K_{cd}$ , pari a 683, espresso in $lm \cdot W^{-1}$ , o in $cd \cdot sr \cdot W^{-1}$ (che equivale a $cd \cdot sr \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3$ ).

### 3.3 La costante di Avogadro

Misurare la costante di Avogadro con un'accuratezza mai conseguita nel passato, era fondamentale per la ridefinizione della mole e del kilogrammo. Ciò è stato possibile mediante il lavoro sperimentale condotto nell'ambito del progetto internazionale *International Avogadro Coordination* (IAC). L'IAC, iniziò formalmente come una collaborazione internazionale che si proponeva di determinare la costante di Avogadro  $N_A$  con un'incertezza relativa minore o uguale a  $2 \times 10^{-8}$  impiegando un cristallo di silicio (Si) arricchito isotopicamente. Venne scelto il Si perché può dare origine a grossi cristalli singoli, di purezza elevata e praticamente perfetti. L'IAC venne inizialmente condotto nel periodo 2004-2011 come una collaborazione tra i principali istituti metrologici nazionali e internazionali: BIPM, INRIM (Italia), IRMM (Laboratorio della Commissione Europea), NIST (USA), NMIA (Australia), NMIJ/AIST (Giappone), NPL (Regno Unito) e PTB (Germania). La collaborazione venne quindi rinnovata nel 2012 con la firma di un *Memorandum of Understanding* tra BIPM, INRIM, NMIA, NMIJ e PTB [4].

Nell'ambito del progetto, è stato determinato il numero di atomi di Si presenti in due sfere da 1 kg originate da un singolo cristallo di Si, altamente arricchito con l'isotopo  $^{28}\text{Si}$  che ne costituiva il 99.995 %. Questo nuovo approccio ha reso possibile il superamento del fattore precedentemente limitante legato alla determinazione della composizione isotopica di un cristallo di Si naturale. L'impiego di tecniche analitiche all'avanguardia, ha permesso di determinare la massa molare del materiale arricchito in  $^{28}\text{Si}$  con un'accuratezza senza precedenti. La composizione isotopica delle due sfere, la massa molare, la massa, il volume, la densità e il parametro reticolare vennero determinati con l'accuratezza necessaria; le loro superfici vennero caratterizzate chimicamente e fisicamente alla scala atomica [5]. Le concentrazioni delle impurezze e gli eventuali gradienti vennero anch'essi misurati accuratamente e tenuti in considerazione. La produzione delle due sfere, iniziò nel 2004 con l'arricchimento isotopico mediante centrifugazione del gas  $\text{SiF}_4$  (*Central Design Bureau of Machine Building*, San Pietroburgo, Russia). Il gas arricchito venne quindi convertito in  $\text{SiH}_4$  e la tecnica *chemical vapour deposition* venne utilizzata per far crescere un policristallo (*Institute of Chemistry of High-Purity Substances* dell'Accademia delle Scienze Russa). Nel 2007, una palla da 5 kg di  $^{28}\text{Si}$  venne fatta crescere presso il *Leibniz-Institut für Kristallzüchtung* (Germania). A partire da questa palla, vennero preparate due sfere di  $^{28}\text{Si}$ , denominate AVO28-S5 e AVO28-S8, e vennero lavorate fino ad ottenere due sfere pressochè perfette dall'*Australian Centre for Precision Optics* [4]. Una panoramica sulla revisione del SI e della

mole in particolare, con riassunto del lavoro sperimentale che è stato alla base della nuova definizione è reperibile in [6].

#### **4. La metrologia: una scienza trasversale**

La metrologia è la scienza della misurazione e delle sue applicazioni [7]. Essa è per sua natura una scienza trasversale: comprende infatti tutti gli aspetti teorici e pratici della misurazione, qualunque siano il campo di applicazione e l'incertezza di misura. La metrologia si suddivide entro tre gruppi di attività, intimamente connessi tra loro: la definizione delle unità di misura, la realizzazione pratica di tali unità e la riferibilità metrologica che ha il compito di collegare le misure che vengono condotte nella pratica ai campioni di riferimento. Queste attività a loro volta vengono utilizzate all'interno dei tre settori della metrologia: la metrologia scientifica o fondamentale, legata alla definizione e realizzazione delle unità di misura, la metrologia applicata o industriale, che si occupa dell'applicazione delle misurazioni alla manifattura e ad altri processi all'interno della società, la metrologia legale, che riguarda i requisiti di legge e normativi per i sistemi di misura e i metodi di misura.

Appare evidente che la metrologia, quindi, non è solo di interesse univoco degli scienziati e ricercatori, ma di importanza vitale anche nella vita quotidiana. Tutti noi infatti dipendiamo da una rete di servizi, forniture, comunicazioni che dipendono dalla metrologia per poter operare in modo efficiente e affidabile. L'equivalenza delle misure per il libero commercio, l'affidabilità dei risultati delle misurazioni che vengono impiegati per svariate decisioni in campo economico, ambientale, nella salute, l'accuratezza nelle misure di tempo che permettono le geolocalizzazioni, il volo degli aerei e le orbite dei satelliti, sono solo alcuni degli esempi dei campi di applicazione della metrologia. Tutte le forme di misurazioni fisiche e chimiche influenzano il mondo in cui viviamo. Per la necessità di avere accordi a livello internazionale su questioni che riguardano la metrologia è nata la Convenzione del Metro nel 1875 e ancora oggi rappresenta le basi per l'accordo internazionale in materia di unità di misura.

##### *4.1 Il contesto internazionale*

La CGPM, il CIPM e il BIPM sono le tre organizzazioni istituite per gestire il SI nell'ambito della Convenzione del Metro [1].

La CGPM è composta dai delegati dei governi degli stati membri e dagli osservatori degli associati. Si riunisce a Parigi, generalmente ogni quattro anni. Riceve i rapporti del CIPM sul lavoro svolto, discute e esamina gli accordi necessari ad assicurare la disseminazione e il miglioramento del SI; promuove e avalla i risultati di nuove determinazioni nella metrologia fondamentale e varie

risoluzioni scientifiche di portata internazionale, prende le decisioni relative all'organizzazione e sviluppo del BIPM. La 26<sup>a</sup> GCPM si è tenuta a Versailles dal 13 al 16 novembre 2018.

Il BIPM ha il mandato di fornire le basi per un Sistema di misura unico e coerente a livello mondiale, metrologicamente riferibile al SI. Questo compito viene svolto attraverso diverse forme, dalla disseminazione diretta delle unità al coordinamento di confronti internazionali che coinvolgono i campioni nazionali delle unità di misura.

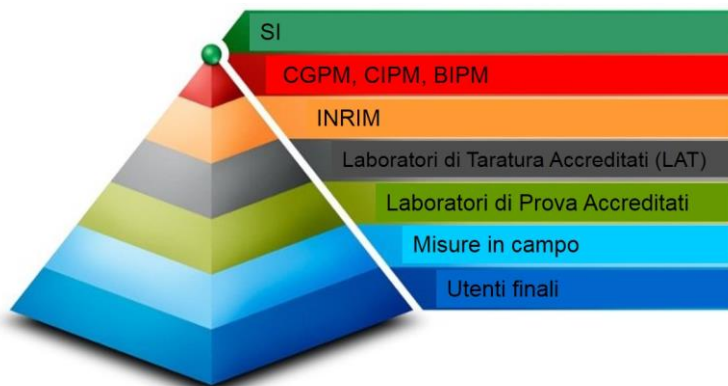
Il CIPM ha come compito principale quello di promuovere l'uniformità a livello mondiale delle unità di misura, sia mediante azioni dirette sia inviando delle proposte di risoluzioni alla CGPM. Il CIPM è composto da diciotto membri di nazionalità diverse. Nella sua struttura attuale, il CIPM ha un membro italiano, la Dr.ssa Maria Luisa Rastello, Direttore Scientifico dell'INRIM e Presidente del Comitato Consultivo di Fotometria e Radiometria (CCPR). Il CIPM si riunisce ogni anno, anche in due sessioni per anno, e discute i rapporti presentati dai suoi Comitati Consultivi. I Comitati Consultivi sono stati istituiti dal CIPM; il presidente di ciascun Comitato viene incaricato dal CIPM e generalmente è un membro del CIPM stesso. I vari Comitati riuniscono esperti da tutto il mondo nel loro settore specifico di attività, in qualità di consulenti su aspetti scientifici e tecnici. Tra i compiti dei Comitati Consultivi si annoverano l'analisi approfondita degli sviluppi scientifici che influenzano direttamente la metrologia, la preparazione di raccomandazioni da sottoporre al CIPM, l'identificazione e l'organizzazione di confronti chiave di misura, la consulenza al CIPM sulle attività scientifiche da condurre nei laboratori del BIPM. Si riuniscono a intervalli regolari.

#### *4.2 La metrologia in Italia*

La struttura metrologica italiana è oggetto di una specifica legge, la legge n. 273 dell'11 agosto 1991 che ha istituito il Sistema Nazionale di Taratura (SNT). Il SNT vede al vertice della piramide metrologica nazionale gli Istituti Metrologici Primari (IMP), seguiti, al livello immediatamente inferiore, dai Centri Accreditati come laboratori di taratura (Centri LAT) da ACCREDIA, l'Ente Nazionale di Accreditamento [8]. Attualmente in Italia esistono due IMP: l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM) e l'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (ENEA-INMRI). L'INRIM, sito a Torino, è nato nel 2006 dalla fusione dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN) e dell'Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IMGC-CNR), e si occupa della metrologia scientifica e industriale delle



varie grandezze [9], eccetto le radiazioni ionizzanti che sono di competenza dell'ENEA-INMRI. La metrologia legale, invece, è di competenza degli uffici centrali metrici. Dal punto di vista della metrologia internazionale, dal momento che formalmente ogni Paese può avere un solo Istituto Metrologico Nazionale (NMI), l'INRIM è l'NMI italiano, mentre l'ENEA-INMRI è un Istituto Designato (DI). Un istituto metrologico nazionale ha come compito istituzionale quello di realizzare, mantenere e sviluppare i campioni di riferimento nazionali delle sette unità di base del Sistema Internazionale. Attraverso tali campioni garantisce l'affidabilità delle misure a livello nazionale e la loro comparabilità a livello internazionale, agendo da elemento di raccordo tra la metrologia internazionale e il Paese. In questo contesto, rappresenta il proprio Paese negli organismi metrologici internazionali ed europei, partecipa ai confronti internazionali di misura che coinvolgono i campioni di riferimento nazionali e i metodi di misura. In questo modo, garantisce la comparabilità dei campioni a livello internazionale, così come l'equivalenza dei certificati di taratura e misura, in conformità all'Accordo di Mutuo Riconoscimento (CIPM MRA). La figura 2 rappresenta schematicamente il ruolo dell'INRIM nella piramide metrologica italiana per le grandezze di sua pertinenza.



**Figura 2.** La piramide metrologica italiana per la metrologia scientifica e industriale

## **5. Le nuove sfide della metrologia**

Come è già stato sottolineato, la metrologia è uno strumento fondamentale per le attività di ricerca e sviluppo scientifici ma anche per l'innovazione tecnologica. Essa supporta la competitività industriale ma anche lo sviluppo di nuovi prodotti e processi. Il libero commercio e la normazione dipendono fortemente da misurazioni e campioni accettati a livello globale, e il CIPM MRA e la riferibilità

al SI sono due capisaldi per la comparabilità delle misure. I rapidi avanzamenti della tecnologia, rendono necessarie misure sempre più precise, accurate e affidabili. In questo contesto, la metrologia può e deve continuare a dare il suo supporto nelle attività di ricerca e sviluppo. Alcuni tra i prodotti più significativi sono, ad esempio, nuovi metodi e tecnologie di misura e caratterizzazione, lo sviluppo di materiali di riferimento e di campioni, di protocolli di taratura e documenti normativi. Prodotti di questo tipo, rendono possibile un'innovazione tecnologica e industriale efficace nella produzione di materiali innovativi, nel controllo di processi e prodotti, nel miglioramento delle efficienze e delle prestazioni, anche riducendo i costi associati alle misurazioni. Anche le cosiddette "sfide sociali", come la sostenibilità energetica, ambientale e la salute dei cittadini richiedono lo sviluppo di tecnologie di misura nuove e affidabili, nelle quali la riferibilità metrologica dei risultati riveste un ruolo fondamentale.

### *5.1 Salute*

La sanità è indubbiamente una delle sfide principali ed è tra le priorità nazionali e internazionali sia dal punto di vista politico sia da quello socio-economico. Tra i punti chiave si possono annoverare l'assistenza sanitaria personalizzata, anche dovuta all'invecchiamento della popolazione con conseguente aumento delle malattie croniche, e l'elevato costo delle operazioni di screening, di diagnosi e delle terapie. In questo contesto, la metrologia può dare il suo contributo sotto diversi aspetti, tra cui: la produzione di campioni di misura e materiali di riferimento, lo sviluppo di corretti percorsi di riferibilità metrologica, la redazione di metodi e protocolli di riferimento, il miglioramento delle incertezze di misura, permettendo di migliorare la qualità e la comparabilità dei risultati sia connessi alle attività diagnostiche sia alla somministrazione di terapie.

### *5.2 Ambiente*

È fondamentale che le politiche globali volte alla riduzione degli effetti antropici sui cambiamenti climatici e alla introduzione di misure di contenimento appropriate poggino su basi scientifiche e su validi modelli predittivi, accompagnati da misurazioni di validità e comparabilità riconosciute a livello internazionale. In questo contesto, il ruolo della metrologia è essenziale. La metrologia sta già dando un notevole contributo alla realizzazione di campioni di misura e materiali di riferimento certificati, allo sviluppo di metodi e di protocolli di taratura e misura appropriati, il tutto accompagnato da un'accurata valutazione dell'incertezza di misura. Risulta però necessario sviluppare ulteriormente le capacità di misura in modo da consolidare, dove siano già presenti, o mettere in atto opportune collaborazioni per venire incontro a quelle che sono le esigenze

delle più importanti istituzioni internazionali, come la *World Meteorological Organization* (WMO), il *Global Climate Observing System* (GCOS), l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), che necessitano di disporre di elevati quantitativi di materiali di riferimento stabili e affidabili, in grado di garantire incertezze di misura tali da poter discriminare gli effettivi andamenti da quelle che sono le fluttuazioni stagionali o cicliche. Disporre di risultati di misura accurati e comparabili, è uno strumento chiave per i legislatori per intraprendere opportune misure di mitigazione e mettere a punto politiche volte alla salvaguardia e alla protezione dell'ambiente.

### 5.3 Energia

Il consumo energetico a livello globale è in costante aumento e, nonostante si stia assistendo ad un aumento delle energie prodotte da fonti rinnovabili, i combustibili fossili continuano ad essere una fonte energetica dominante. In un contesto così variegato, il supporto metrologico è necessario in svariate applicazioni: nelle attività di ricerca collegate all'ottimizzazione dell'utilizzo dei combustibili convenzionali, nella misura accurata dei parametri chimico-fisici e delle condizioni di misura sia negli impianti di produzione tradizionali sia in quelli di ultima generazione, ma anche della composizione e delle proprietà termofisiche e energetiche dei nuovi carburanti, alcuni dei quali vengono direttamente fatti confluire negli stessi oleodotti e metanodotti in cui vengono trasportati i combustibili fossili. La ricerca metrologica in questo settore può contribuire inoltre a promuovere l'innovazione, a ridurre l'impatto ambientale delle infrastrutture energetiche, a fornire dati a supporto circa l'affidabilità, la sicurezza e la sostenibilità delle fonti energetiche.

### Bibliografia

- [1] <https://www.bipm.org>.
- [2] <https://www.bipm.org/utils/common/pdf/si-brochure/SI-Brochure-9-EN.pdf>.
- [3] <https://www.bipm.org/en/si-download-area/graphics-files.html#>.
- [4] <https://www.bipm.org/en/bipm/mass/avogadro/>.
- [5] B. Andreas et al (2011). Counting the atoms in a  $^{28}\text{Si}$  crystal for a new kilogram definition. *Metrologia*, 48 S1
- [6] B. Güttler et al (2019). Amount of substance and the mole in the SI. *Metrologia*, 56 (4), 044002
- [7] JCGM 200 (2012) International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM 3rd edition) (JCGM 200:2008 with minor corrections)
- [8] <https://www.accredia.it>
- [9] <https://www.inrim.it>

**Quaderni di Ricerca in Didattica, numero speciale 6**

Atti della Scuola Permanente per l'Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze Sperimentali  
"I modelli nelle Scienze"  
Hotel della Valle Agrigento, 22-27 luglio 2019

ISBN: 978-88-941026-5-9