

CNR - Istituto di Biometeorologia

L'unificazione metrologica

**le vicende non concluse
di un complesso percorso storico e geografico**



a cura di
Fabrizio Benincasa



Consiglio Nazionale delle Ricerche

CNR – Istituto di Biometeorologia

L'unificazione metrologica
le vicende non concluse
di un complesso percorso storico e geografico

a cura di
Fabrizio Benincasa

2013

Responsabile di redazione
Matteo De Vincenzi
CNR – IBIMET Sede di Sassari
Traversa la Crucca 3 07100 Li Punti Sassari
Tel. 079 2841508, Fax 079 2841598
e-mail m.devincenzi@ibimet.cnr.it

Studio delle immagini e dei grafici,
elaborazione grafica e fotografica
di Gianni Fasano CNR – IBIMET Sede di Firenze
Tel. 055 310181, Fax 055 310411
e-mail g.fasano@ibimet.cnr.it

Per l'insieme iconografico gli autori restano a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare o per le eventuali involontarie omissioni.

ISBN: 978-88-95597-16-4
Anno: 2013

INDICE

PREFAZIONE	VII
CAPITOLO PRIMO	1
STORIA DEI SISTEMI DI MISURA: UN PROBLEMA TECNICO E SOCIALE	
1.1 Cosa significa misurare?	3
1.2 Metrologia storica: nascita ed evoluzione delle tre unità fondamentali.	5
1.2.1 Spazio.	
1.2.1.1 Lunghezza.	
1.2.1.2 Superficie e Volume.	
1.2.2 Peso.	
1.2.3 Tempo.	
1.3 Aspetto sociale delle misure, il loro rapporto con gli uomini.	27
1.4 Altre culture.	29
1.4.1 Il Vicino Oriente.	
1.4.2 Il Mondo islamico.	
1.4.3 Il Subcontinente indiano.	
1.4.4 L'America centro-meridionale.	
1.5 Note.	33
1.6 Bibliografia e siti Internet.	43
CAPITOLO SECONDO	45
L'ORDINE NATO DAL CAOS: L'UNIFICAZIONE METROLOGICA, UNA CONQUISTA TANTO DIFFICILE QUANTO NECESSARIA	
2.1 Tentativi di unificazione precedenti alla rivoluzione francese.	47
2.2 Introduzione al sistema metrico decimale.	56
2.3 La divisione del tempo nel mondo in fusi orari.	64
2.4 Problemi di adozione del sistema metrico decimale in Francia.	69
2.5 Difficoltà incontrate nell'attuazione del sistema metrico decimale fuori della Francia.	71
2.5.1 L'Italia.	
2.5.2 Il Regno Unito.	
2.5.3 Il resto d'Europa.	
2.5.4 Al di fuori dall'Europa.	
2.6 Note.	83
2.7 Bibliografia e siti Internet.	94

CAPITOLO TERZO		97
NASCITA E SVILUPPO DEL SISTEMA INTERNAZIONALE		
3.1	Sviluppo e perfezionamento del sistema metrico decimale.	99
3.2	Il Sistema Internazionale (SI).	101
	3.2.1 Campioni fondamentali del Sistema Internazionale.	
	3.2.2 Grandezze derivate.	
3.3	Considerazioni sul Sistema Internazionale.	113
	3.3.1 Norme di scrittura.	
	3.3.2 Pregi e difetti.	
	3.3.3 Gli sviluppi del Sistema Internazionale.	
	3.3.4 Il futuro della metrologia.	
3.4	Note.	123
3.5	Appendici.	133
	3.5.1 Glossario delle sigle citate.	
	3.5.2 Momenti topici del percorso storico-geografico dell'Unificazione Metrologica.	
3.6	Bibliografia e siti Internet.	145
CAPITOLO QUARTO		147
IL SISTEMA LEGALE DELLE UNITÀ DI MISURA		
4.1	L'organizzazione internazionale della metrologia e lo sviluppo della metrologia legale.	149
4.2	La metrologia legale nella normativa comunitaria.	156
4.3	La metrologia legale nell'ordinamento italiano.	159
	4.3.1 Il sistema delle unità di misure nel Regno d'Italia.	
	4.3.2 Le unità di misura legali nell'Italia repubblicana.	
4.4	Metrologia scientifica e legale: un binomio indissolubile.	170
4.5	Note.	172
4.6	Bibliografia e siti Internet.	179

Prefazione

È legittimo pensare che tutte le culture, fin dalle loro origini, prima ancora di codificare simbolicamente i numeri abbiano imparato a contare e misurare. Un bastone particolarmente liscio e dritto poteva costituire una unità di misura per realizzare un edificio: l'ingresso largo un *bastone* e alto due, il corridoio lungo dieci *bastoni* e la sala, circolare, di diametro venti *bastoni*. Il bastone veniva riportato più volte in sequenza al suolo e si determinava così la misura; il dato era poi *memorizzato* incidendo delle tacche su un pezzo di legno o di osso. Ciò consentiva al *costruttore* di riprodurre l'edificio, se ben riuscito, in un altro contesto.

Molti possono essere gli esempi di costruzioni che hanno in sé una unità di misura che si ripete, con i suoi multipli, nelle diverse parti dell'edificio. Raramente questa unità si riscontra in altri edifici simili, ciò consente di affermare che nelle società più primitive ogni *costruttore* aveva la sua unità di misura, il suo *bastone*.

Quando però si è passati dalla libera e autonoma costruzione a costruzioni su commissione, quindi alle società più organizzate con una specializzazione dei diversi soggetti, si son dovute codificare e uniformare le unità di misura. Il committente chiedeva che venisse realizzato un ingresso di una data larghezza e altezza, un corridoio lungo una certa misura e la sala, circolare, doveva avere un ben preciso diametro. Il *libero arbitrio metrologico* non era più accettabile. Questo passaggio può essere visto come un primo abbozzo di unificazione metrologica che, in qualche modo, si riscontra all'interno di ogni civiltà, ma che solo in pochi casi si è diffuso alle civiltà contigue, nello spazio e nel tempo, soppiantando o integrando i sistemi metrologici preesistenti.

Gli esempi che a promuovere l'unificazione metrologica non sia stata la cultura ci vengono dalla Grecia Classica e dall'Islam: civiltà che hanno posto le basi della conoscenza, filosofica prima e scientifica poi, ma incapaci di quel pragmatismo necessario a stabilire regole pratiche, utili nel lavoro quotidiano e nel commercio.

Ai Greci interessava la speculazione filosofica che ha portato, in alcuni casi, a scappatoie nella interpretazione dei fenomeni fino a ritenere inutile, perché superata dalla logica, la loro misura. Un esempio per tutti. Aristotele (Stagira, 384 a.C. o 383 a.C. – Calcide, 322 a.C.) elabora la nozione di *causa finale*, per cui negli organismi e nella materia è insito l'istinto di ricercare i propri fini. Egli ammette altre cause: la *causa materiale* e la *causa effettiva*, che forniscono il supporto materiale e fanno operare le cose, ma le considera entrambe inferiori alla *causa finale*: è nella natura dell'uccello volare nell'aria, del pesce nuotare nell'acqua.

Questo è il fine degli uccelli e dei pesci [*]: e più non domandare. Che i Greci considerassero poco nobile le misure è dimostrato dal fatto che il dio di queste era Hermes (in greco antico *Ἑρμῆς*) che fra le altre cose (messaggero degli dèi, protettori degli atleti ecc.) era anche dio del commercio, dell'astuzia e protettore di ladri e bugiardi.

È difficile valutare l'apporto originale degli studiosi islamici, che assorbono la cultura greca e la riproposero sia pure non pedissequamente. In ogni caso la scienza islamica, come quella medievale, fu penalizzata dall'eccessivo rispetto per le opere greche e in particolare per quelle di Platone e di Aristotele.

È con l'avvento degli Abbasidi, che da Baghdad governarono il mondo islamico fra l'VIII e il XIII secolo, che fra il 754 e l'861 si ebbe un breve periodo in cui la scienza fu favorita. Vi fu poi un lungo periodo di decadenza in cui gli scienziati si trovarono in situazioni sempre più precarie e costretti ad emigrare in Persia, in Asia Centrale, in Spagna.

Il fallimento del tentativo di conciliare la scienza con la religione (subìto anche dai cristiani) fu per i mussulmani la causa principale della decadenza dell'Islam che in pochi secoli divenne culturalmente improduttivo [*].

In generale si può osservare che, almeno fino al XVI - XVII secolo, un sistema metrologico si è diffuso e affermato, in contesti diversi da quello di origine, quando è stato elaborato da civiltà longeve, militarmente forti e imperialiste. Così circa 4000 anni fa, a partire dall'Egitto e dalla Mesopotamia, la metrologia inizia un percorso unificativo che, con i Romani, attraversa il Mediterraneo, percorre la Penisola italiana e si diffonde in tutta Europa e nel Vicino Oriente. Con il crollo dell'impero romano e con il suo *spezzettamento* ogni piccolo stato, in funzione delle necessità locali, si costruisce un proprio sistema metrologico, distruggendo quell'abbozzo di unificazione che i Latini erano riusciti a stabilire.

Il Medioevo, con le città-stato, radicalizza la disgregazione metrologica, rendendo sempre più caotici i rapporti commerciali, creando, anche con questo, pretesti per scontri bellici.

È con il tardo Medioevo, con l'aggregazione di piccoli nazioni in stati federati se non addirittura in stati unitari, che, almeno all'interno di questi raggruppamenti, fu indispensabile procedere all'unificazione metrologica, nonostante le forti opposizioni delle diverse comunità costrette ad abbandonare le loro tradizioni.

Nel XVII - XVIII secolo, con il colonialismo e con gli scambi commerciali fra continenti (Europa, Indie, Americhe) si iniziò a stabilire convenzioni comuni sulle unità di misura. A ciò si aggiunga che, in questo periodo, iniziano anche le

[*] J. D. Bernal (1969) – *Storia della Scienza*, Editori Riuniti, Roma.

grandi scoperte scientifiche e la *misurazione* viene posta alla base del metodo di analisi della natura. In questo contesto solo l'unificazione metrologica poteva rendere comprensibili e confrontabili i risultati ottenuti dagli scienziati nei vari paesi.

Promotori di questa azione unificatrice furono, nel XVIII - XIX secolo, Stati Uniti d'America, Regno Unito e, principalmente, Francia, la quale, per motivi storico-politici, per abolire tutto ciò che ricordava l'*ancien régime* era particolarmente sensibile a questo tema.

Nel XIX secolo si ottiene un primo grande risultato: l'accettazione, da parte delle principali nazioni, del Sistema Metrico Decimale, ponendo così in posizione marginale sia i sistemi *fantasiosi*, come quelli antropomorfi (vedi figura), sia quelli più strutturati, come il vigesimale e il sessagesimale.



A proposito di sistemi fantasiosi.

Jakob Köbel (Heidelberg 1460 - Oppenheim 1533) nel suo libro *Geometrey* definisce l'unità di misura della lunghezza:

Sedici uomini, grandi e piccoli, arrivano a una fiera dalla chiesa e mettono i piedi in una riga; un sedicesimo della lunghezza totale definisce il piede locale.

(31-1-2013) da http://mathdl.maa.org/images/upload_library/46/Plimpton-Smith/8045Kobel2.tif

Il successivo risultato, fondamentale, si ha nella seconda metà del XX secolo con l'introduzione del Sistema Internazionale, che definisce le unità di misura da porre alla base del Sistema Metrico Decimale. All'inizio l'SI è appannaggio della sola fisica, allargandosi poi sia ad altre discipline (chimica, biologia, ambiente, ecc.) sia alla tecnologia e al commercio, la mera definizione delle unità di misura non è più sufficiente: servono leggi che governino l'uso di queste grandezze definendo doveri e diritti dei produttori e degli utilizzatori dei beni, degli strumenti e degli apparati; nasce pertanto la Metrologia Legale. Si delineano allora due grandi filoni della Metrologia:

- quello della metrologia scientifica: la scienza del misurare viene applicata al sapere e al conoscere scientifico, avvalendosi dei progressi della scienza (vedi figura);
- quello della metrologia legale: la scienza della misura viene utilizzata dalle Autorità per garantire le quantità attraverso strumenti normativi, disciplinari e coattivi.

When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in your thoughts advanced to the state of Science.

William Thompson, Lord Kelvin (Belfast 1824 - Largs 1907) in

Electrical Units of Measurement (vol. I) dice:

Quando puoi misurare ciò di cui stai parlando, ed esprimerlo in numeri, tu conosci qualcosa di esso; ma quando non puoi misurarlo, quando non puoi esprimerlo in numeri, la tua conoscenza è scarsa e insoddisfacente.

Può essere l'inizio della conoscenza, ma, nei tuoi pensieri, sei avanzato poco sulla via della scienza.

Arriviamo così ai giorni nostri.

L'SI è un sistema acquisito dalla quasi totalità delle nazioni, sia pure non integralmente applicato, la Metrologia Legale impone rigidi vincoli nell'uso di grandezze, fondamentali e derivate, non SI e stabilisce le sanzioni per chi non segue le regole indicate.

Nonostante tutto ciò vi sono ancora ampie *falle* che rendono l'unificazione metrologica un sistema non ancora storicamente e geograficamente stabilizzato. Su questo c'è ancora molto da lavorare.

Fabrizio Benincasa

CAPITOLO PRIMO

STORIA DEI SISTEMI DI MISURA: UN PROBLEMA TECNICO E SOCIALE

Donatella Carboni, Matteo De Vincenzi

*Una fides, pondus, mensura, moneta, fit una,
Et flatus illaesus totius orbis erit*

Una sola fede, un solo peso, una sola misura, una sola moneta,
e il mondo diventerà una sola cosa in armonia

Renerus Budelius, *De Monetis* (1591)

Benché il Capitolo sia frutto comune tra gli Autori, il Curatore del volume, stante l'indivisibilità dei contributi, vuole precisare che gli aspetti storico-umanistici sono stati elaborati da Donatella Carboni mentre quelli storico-fisici sono di Matteo De Vincenzi. A giudizio del Curatore e degli esperti a cui, per consulenza, egli ha sottoposto il Capitolo i due contributi sono da ritenersi di uguale ampiezza e dello stesso spessore scientifico.

1.1 Cosa significa misurare?

Fin dagli albori della preistoria l'uomo ha sentito l'esigenza di confrontarsi con il mondo circostante, tale confronto è avvenuto tramite un'osservazione attenta della natura al fine di poter recepire di volta in volta le informazioni utili agli scopi prefissati. Dunque classificare, contare e successivamente anche misurare, sono *operazioni* quasi spontanee nella vita quotidiana dell'uomo in ogni tempo, dalla preistoria ad oggi.

Ora, tutti sappiamo che cosa significhi misurare in quanto lo facciamo quotidianamente, ma dare una definizione univoca di tale termine non è affatto semplice.

Nel tempo si sono succedute varie definizioni, alcune molto precise (forse troppo) altre meno. Tra tutte ne prendiamo in considerazione due, molto lontane nel tempo:

- Euclide (III secolo a. C.)¹: *misurare una grandezza (misurando) significa esprimere con un numero (misura) il rapporto di questa grandezza a una grandezza della stessa specie scelta come unità di misura.*
- Diderot e D'Alembert² (*Encyclopédie*, seconda metà del 700, figura 1.1): *nella sua accezione matematica il termine significa prendere una certa quantità ed esprimere i rapporti che tutte le altre quantità dello stesso genere hanno con la prima.*

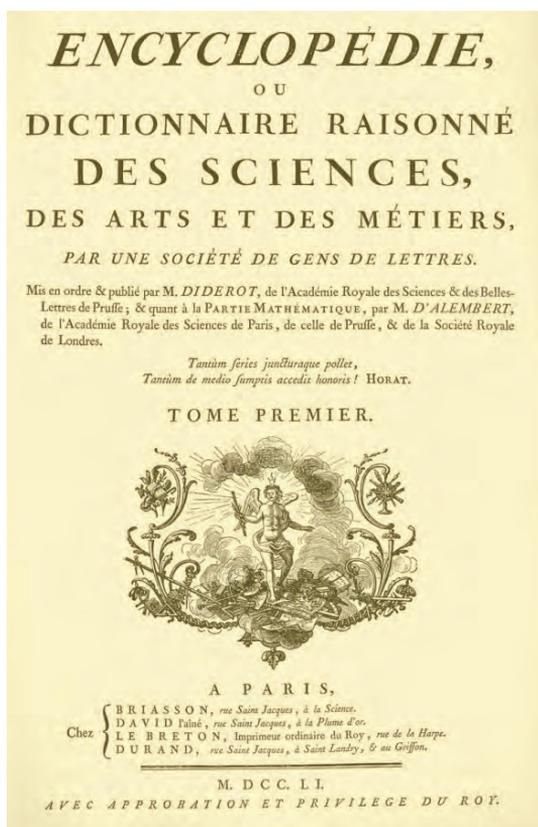


Figura 1.1 – Frontespizio del primo tomo (1751) dell'*Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (L'Enciclopedia o Dizionario ragionato delle scienze, delle arti e dei mestieri). È una vasta opera, pubblicata nel XVIII secolo, in cui Denis Diderot e Jean Baptiste Le Rond d'Alembert coordinarono un consistente gruppo di intellettuali, il primo per la parte umanistica, il secondo per quella matematica. L'*Encyclopédie* rappresenta un importante punto di arrivo di un lungo percorso teso a creare un compendio universale del sapere, nonché il prototipo, di larga diffusione, delle moderne enciclopedie. Da [101].

Entrambi questi enunciati non definiscono operativamente la misura, infatti per fare il rapporto fra grandezze bisogna averle già espresse in forma numerica cioè, in qualche modo, averle già misurate. Una definizione di misura che non confligge con la sua realtà operativa è quella data nel 1903 da B. Russell³ nel libro *I principi della matematica* [16]. La definizione di Russell è un po' troppo generale per gli scopi di questo lavoro, per il quale possiamo utilizzare le precedenti definizioni.

È anche necessario distinguere tra *misurazione* e *classificazione*. Infatti nel processo conoscitivo con cui l'uomo si avvicina alla natura abbiamo vari passaggi che precedono la misurazione vera e propria, tra cui:

- *Classificazione*: osservando un fenomeno o un oggetto se ne rileva la caratteristica utile ai fini della conoscenza che l'uomo vuole averne (colore, grandezza, peso ecc.). Esempi anche complessi di classificazione si trovano nelle discipline biologiche, antropologiche, ecc.
- *Ordinamento*: si costruiscono delle relazioni tra le qualità degli oggetti osservati e si assegna ad ognuna il posto in una scala. Ne è un chiaro esempio la scala della durezza di Mohs⁴: ognuno dei dieci elementi della scala è classificato in base alla sua durezza rispetto agli altri materiali, cioè ogni minerale sarà preceduto da un minerale che può essere scalfito da lui e seguito da uno che invece è in grado di scalfirlo. Dunque in questo modo possono essere fatti confronti tra i vari materiali ma non è possibile assegnare loro valori numerici se non ordinali.

Nella nota 4, sopra indicata, vengono citate altre due scale, un tempo diffuse ma oramai poco utilizzate, in cui non si rilevano quantitativamente i fenomeni ma si ordinano per classi qualitative, in relazione agli effetti sull'ambiente: la scala Beaufort per la velocità del vento e la scala Mercalli per i terremoti.

Nel processo conoscitivo una scala può essere sufficiente a seconda della necessità pratica per cui si utilizza: per sapere quale tra due bibite è più fresca ci basterà toccarle entrambe e porle in una relazione, se invece dobbiamo conoscere la temperatura di un corpo, a prescindere da quella di altri, dovremo procedere a una misurazione diretta di questa grandezza.

Un altro motivo per cui le definizioni sopra citate non possono essere esaustive e che esse si riferiscono soltanto alle misure dirette, e perdono di significato nelle misure indirette.

- Le misure dirette sono quelle ottenute mediante un'osservazione diretta, attraverso l'utilizzo di uno strumento di misura. La forma più semplice di misura diretta è quella per confronto; con questa metodologia le misure si ottengono confrontando la grandezza che si vuole misurare, con un'altra, omogenea, scelta come campione (per misurare la lunghezza di un oggetto posso confrontare questo con un'asta metrica). *Misurare una grandezza significa trovare un numero che dica quante volte tale grandezza è più grande o più piccola del campione* [3, pag. 6].
- Le misure indirette sono quelle ottenute tramite un calcolo eseguito con i valori di grandezze misurabili direttamente (voglio sapere la velocità media con cui un'automobile ha percorso una strada: misuro direttamente la lunghezza della strada e il tempo impiegato per percorrerla poi calcolo, misuro indirettamente, la velocità facendo il rapporto fra lunghezza e tempo).

Oggi quando effettuiamo una qualsiasi operazione che comporti l'uso di unità di misura, diamo per scontato che le nostre misure siano le stesse di quelle della persona con la quale stiamo interloquendo, in realtà questo fatto è una conquista abbastanza recente

dell'uomo, che è stata raggiunta con molte difficoltà. Infatti essendo la misurazione un'operazione legata a fini pratici è normale che ogni civiltà utilizzi criteri propri per misurare. Nello spazio e nel corso del tempo questo fatto ha creato una confusione enorme che si è ripercossa anche nei rapporti sociali, non solo tra nazioni ma addirittura tra le diverse città di una stessa nazione o tra i membri di una stessa comunità. Con l'espandersi dei rapporti sociali, del commercio e di un'apertura a un'economia sempre meno particolare e sempre più aperta al confronto con il mondo, una situazione così caotica non poteva più essere sopportabile. All'unificazione di tutte le unità di misura si è arrivati solo durante la Rivoluzione Francese (1789), quando finalmente si sono stabilite le unità di misura e i campioni che dovevano essere adottati in tutto il mondo, anche se la loro imposizione fu complessa, protratta nel tempo e differenziata nelle diverse località.

Un discorso simile potrebbe essere applicato a varie grandezze ma per semplicità limitiamoci alle prime tre unità fondamentali⁵:

- Spazio
- Peso (Massa)⁶
- Tempo

Esse sono da considerarsi fondamentali perché strettamente legate alla vita quotidiana dell'uomo, alle sue esigenze, ai suoi bisogni primari e alle sue attività pratiche che si identificavano principalmente nel rapporto con la terra e in forme rudimentali di scambi commerciali. Per questo motivo sono queste tre grandezze quelle che per prime l'uomo ha sentito il bisogno di conoscere, di misurare e quindi di poter utilizzare. Sempre per lo stesso motivo anche nell'introduzione del sistema metrico decimale, esse sono state considerate principali e l'idea di base è stata quella di far discendere tutte le altre grandezze da queste tre e da una quarta, l'ampere, che fu presa in considerazione, in tempi molto più recenti, con la scoperta dei fenomeni elettrici.

1.2 Metrologia storica: nascita ed evoluzione delle tre unità fondamentali.

Quando si parla di *metrologia*⁷ *storica*, ci si riferisce a una disciplina che si occupa della nascita e dell'evoluzione degli antichi sistemi⁸ di misura. Questa disciplina, nella sua evoluzione, può essere considerata come *ausiliaria* alla storia: essa è in grado di fornirci una serie di indicazioni di tipo sociale sulle varie civiltà a motivo del fatto che i diversi sistemi di misura, premetrici, non avevano un carattere convenzionale ma significativo, ovvero esprimevano qualcosa legato all'uomo o al suo lavoro. In altre parole possiamo dire che dietro ogni sistema di misura si cela molto della cultura di un popolo, anzi il fatto che un popolo abbia o meno un sistema di misure è un criterio per comprenderne il grado di civiltà raggiunto. Può aiutarci a chiarire questo punto il caso dell'Africa. In questo Continente è tutt'ora in corso un processo di *africanizzazione* che tende a mutare l'immagine antistorica di un Africa barbara che ha raggiunto la civiltà solo per merito dei conquistatori europei. Uno dei punti su cui si basa questa revisione è il fatto che, anche quel continente ha avuto, nelle diverse regioni, propri sistemi di misura. I pesi statuetta, supportati tra l'altro dai reperti archeologici, sono visti dagli storici filo-africani come parte di un sistema di pesi e misure coerente e autoctono; mentre gli storici di tendenza anti-africana vorrebbero vederli come importati da altri paesi, per dimostrare l'inferiorità dei popoli africani [11].



Figura 1.2 – Il Dio egizio Anubi utilizza la bilancia per valutare la bontà dell’uomo che ha di fronte; se l’uomo, in vita, è stato buono il suo cuore (a sinistra) risulterà più leggero della piuma (a destra) posta nell’altro piatto della bilancia e potrà passare nell’aldilà (Aaru). In caso contrario il cuore verrà divorato dal demone Ammit e il defunto sarà quindi condannato a passare l’eternità nel regno degli inferi (Duat). Particolare del Papiro dello scriba Ani: XVII dinastia dei Faraoni (British Museum, Londra). Da [102].

Ciò fa capire l’importanza che la metrologia storica può assumere negli studi storico-sociali.

Come tutte le discipline di tipo storico anche essa si deve avvalere delle fonti e tra queste sicuramente importanti sono sia le rappresentazioni iconografiche (si vedano ad esempio le rappresentazioni della bilancia⁹, figura 1.2), sia i campioni materiali delle unità di misura, che si sono conservati fino ai giorni nostri.

Essi purtroppo non sono tanti, sia a causa del tempo e del materiale deperibile con cui venivano costruiti, sia perché tutte le volte che nella storia si è tentato di imporre un sistema di misure unitario e coerente si è dato l’obbligo di distruggere i campioni di misura precedenti.

In un certo senso sarebbe possibile considerare come fonti anche alcuni oggetti realizzati dall’uomo. Mettendo in relazione le dimensioni di questi oggetti (dai semplici utensili, ai tessuti, ai mattoni e persino agli edifici, ecc.) si può notare se tra loro vi sono delle proporzioni che li rendono multipli o sottomultipli, in questo caso è facile capire se vi sia stato uno standard di misura.

Un’altra fonte è costituita dai manuali, in particolare quelli redatti dai mercanti: annotare le misure usate nei diversi paesi con i quali commerciavano era per loro di vitale importanza, dal momento che le misure nei vari paesi erano diverse e tenerle a mente era praticamente impossibile. È chiaro che in questo caso si parla comunque di fonti relativamente tarde. Oltre ai manuali ci sono altre fonti manoscritte che meritano di essere citate, tra queste: le documentazioni inerenti l’introduzione del sistema metrico decimale (si

pretendeva una sorta di resoconto di tutte le misure precedentemente usate in quel paese), i documenti contabili delle grandi proprietà feudali ed ecclesiastiche e infine gli atti giudiziari per gli abusi metrologici contenenti, ad esempio, le lagnanze dei contadini. In realtà l'affidabilità di questi ultimi documenti è un po' discussa, anche se il loro carattere di massa, le descrizioni meticolose degli abusi subiti e il fatto che spesso i tribunali dovettero dar loro ragione, possono essere indicatori di veridicità [11].

Chiarita la valenza storica della metrologia, si può procedere all'analisi dell'evoluzione storico-geografica delle tre grandezze fondamentali: spazio, massa e tempo, le quali hanno avuto una storia così complessa e una diffusione spaziale così diversa, da richiedere una trattazione separata per ciascuna di esse.

L'attività del misurare è strettamente legata a quella del contare che nasce dai problemi pratici che gli uomini incontrarono nella vita quotidiana, come ad esempio gli scambi di merci o di cibo. Solitamente per contare si confrontavano direttamente i due gruppi di oggetti che si dovevano scambiare, ma questo non sempre era possibile. Perciò si cercò di creare un metodo di confronto indiretto. Tale metodo prevedeva che due gruppi di oggetti venissero confrontati tra loro attraverso un altro insieme di oggetti che fungesse da intermediario, esso poteva essere costituito da sassolini, gettoni, tacche ecc. È durante il Paleolitico che l'uomo comincia a sviluppare i primi sistemi di annotazione, che precedono l'invenzione della scrittura, si tratta per lo più di semplici tacche e incisioni presenti in frammenti ossei che potevano avere le più svariate funzioni, come indicare il numero di persone presenti ad una cerimonia, annotazioni di caccia ecc. Uno di questi frammenti ossei, rinvenuto in Cecoslovacchia, risale a circa 30 000 anni fa; si tratta di un osso di lupo sul quale sono presenti cinquantacinque tacche, raggruppate per cinque, ciò fa supporre che la numerazione fosse nota all'*Homo sapiens* in epoca remota [2]. Non dobbiamo stupirci poiché l'attività del contare iniziò molto prima che venissero inventati i numeri come simboli grafici; è possibile contare anche senza conoscere i numeri ad esempio con le dita. Inizialmente l'uomo per contare si serviva di particolari contatori: se aveva bisogno di contare le pecore inseriva in un contenitore di argilla tanti pezzi di argilla per quante pecore aveva. Nel tempo si rese conto che non era necessario avere dei contatori fisici, ma bastava segnare dei simboli su una tavoletta d'argilla. Fu un passo importante per l'uomo, quando egli imparò a riconoscere in gruppi di oggetti diversi una qualità astratta che avevano in comune: il numero. Il contare, precedendolo, sta alla base del misurare:

Misurare una grandezza fisica significa associare ad essa un numero che riferito ad un ben precisato campione, cioè a una ben precisata unità di misura, ne fornisca il relativo rapporto, ovvero il valore [1, pag. 5].

1.2.1 Spazio.

L'uomo misura di tutte le cose... (Protagora, V secolo a.C.)¹⁰. Questa frase è veramente esemplificativa della nascita delle misure lineari, ovviamente il filosofo greco non si riferiva a questo bensì ad una filosofia di tipo antropocentrico, comunque la frase può essere d'aiuto per comprendere la nascita delle prime unità di misura lineari. Anche se sembra che l'uomo abbia avuto consapevolezza prima del concetto di tempo e poi di quello di spazio, le misure di lunghezza sono state perfezionate per prime. A riprova di ciò ci possiamo basare semplicemente sul lessico quando associamo al tempo dei concetti spaziali come *tempo breve, tempo lungo*, ecc.

1.2.1.1 Lunghezza.

La scelta delle unità di misura lineari è stata involontaria, quasi spontanea, legata alle necessità pratiche che l'uomo si trovava ad affrontare quotidianamente. Era necessario un sistema di misura semplice e che fosse sempre a disposizione, per questo motivo all'uomo è venuto facile misurare gli oggetti confrontandoli con parti del suo corpo (misure antropometriche, figura 1.3).

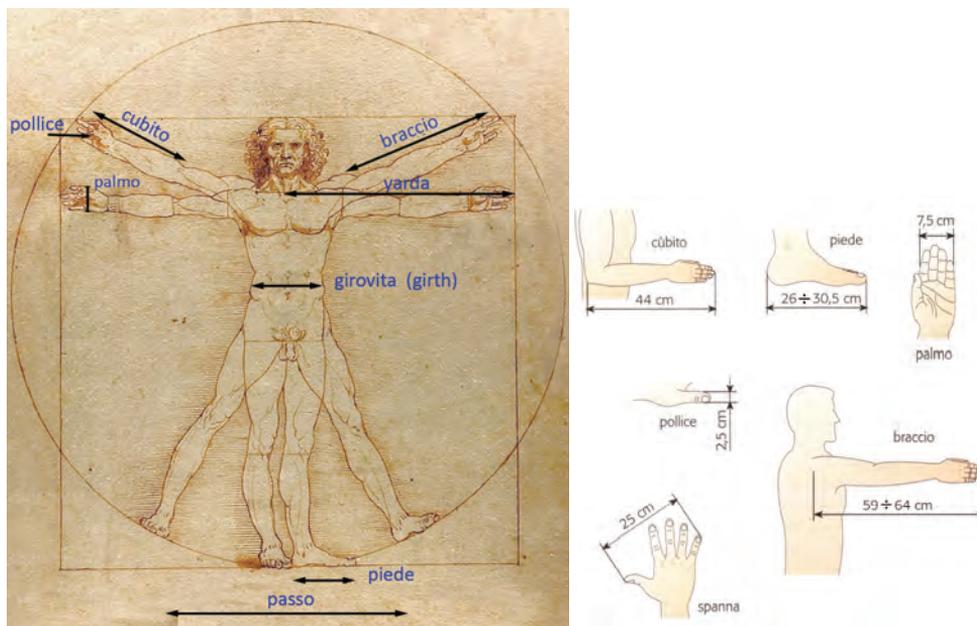


Figura 1.3 – Varie sono le misure riferite al corpo umano, purtroppo diverse nel tempo e nello spazio. A sinistra elaborazione dell'*Uomo vitruviano*¹¹ di Leonardo da Vinci¹² (*Le proporzioni del corpo umano secondo Vitruvio*, Venezia, Gallerie dell'Accademia, Gabinetto dei disegni e stampe, su concessione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali).

Il sistema era molto semplice da utilizzare, in particolare per quanto riguarda oggetti relativamente piccoli e quindi facilmente confrontabili con le parti del corpo. Inizialmente non si sentiva l'esigenza di un sistema di misura coerente formato da un'unità con i suoi multipli e sottomultipli, ma più semplicemente ogni cosa si confrontava con la parte del corpo più adatta a misurarla: il dito, il palmo, il piede, il braccio, le braccia tese, il passo, ecc. Come è immaginabile questo fu un fattore di caos non indifferente, con l'andare del tempo, infatti, nei sistemi migliori, come ad esempio quello dei romani, si cercò di uniformare queste misure usando un'unità e riportando le altre misure a quella, come multipli o sottomultipli (per esempio nel sistema romano: quattro dita formavano un palmo e quattro palmi un piede), in questo modo si riuscì ad ottenere sistemi più coerenti e ordinati, da considerarsi specchio della cultura metrologica popolare. Solitamente in questa ricerca verso sistemi più coerenti fu scelto come unità il piede, in quanto esso era una parte che poteva essere utilizzata sia per la misura del moto (attraverso il passo), sia per le misure materiali,

nelle quali aveva sostituito il cubito (avambraccio, figura 1.3). In questo modo fu possibile esprimere con un'unità e con i suoi multipli e sottomultipli misure che prima erano ottenute attraverso due sistemi diversi. I casi in cui tale semplificazione non sia stata possibile sono rari [1, 3, 7].

In origine queste misure erano lontane da qualsiasi forma di astrazione, il che le rendeva molto diverse da quelle odierne¹³. Ciò significa che inizialmente esse nascono come soggettive; una persona, per misurare, usava come riferimento il proprio corpo ottenendo così risultati diversi da ogni altro. Nelle civiltà primitive non si trattava di un grave problema: non c'era bisogno di grande precisione nelle misurazioni. Con l'evolversi delle civiltà, con l'intensificarsi dei rapporti sociali e commerciali queste differenze non erano più sopportabili, per questo si passò da un sistema di misure concreto a uno astratto: in altre parole *dal dito mio o tuo al dito in generale* [11 pag. 24].

Nonostante possa sembrare caotico, il sistema antropometrico, una volta perfezionato e consolidato, ha assolto bene il suo compito aiutando l'uomo sia nei bisogni di prima necessità sia nelle opere immortali come le piramidi o gli edifici gotici e romanici.

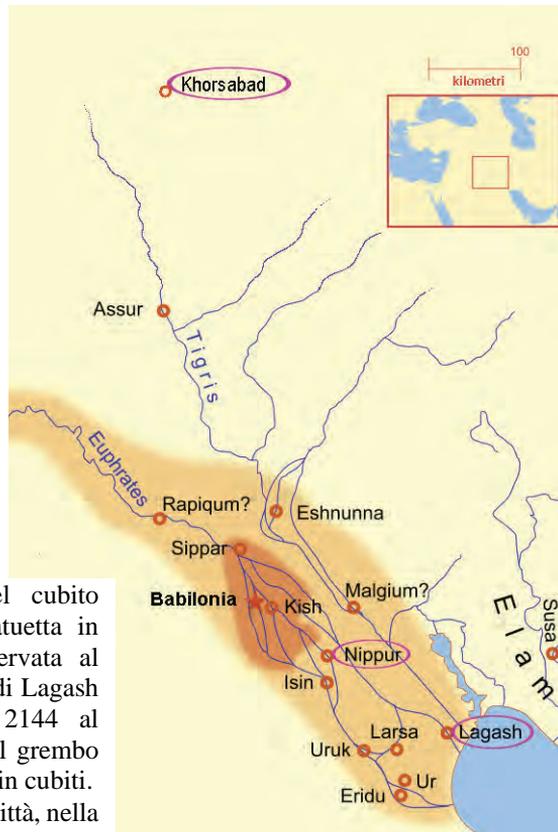


Figura 1.4 – La lunghezza del cubito sumerico è testimoniata dalla statuetta in diorite (roccia magmatica), conservata al Louvre, che rappresenta Gudea re di Lagash (Mesopotamia meridionale) dal 2144 al 2124 a.C. Il sovrano è seduto e sul grembo ha la pianta di un edificio misurata in cubiti. Di fatto il cubito variava di città in città, nella stessa regione: 51,86 cm a Nippur, 39,5 cm a Khorsabad, ecc. Foto di Marie-Lan Nguyen, 2011; da [103].

Il sistema di misure antropometriche fu utilizzato in periodi diversi nelle varie civiltà. Tra le prime civiltà nelle quali si sentì l'esigenza di avere un sistema pratico e coerente abbiamo i sumeri, i babilonesi e gli egizi. Presso i sumeri, ad esempio, il sistema delle unità di lunghezza era basato sul cubito sumerico (figura 1.4) equivalente a 49,5 cm; mentre invece gli egizi si servivano del cubito reale (52,3 cm), codificato nel 2600 a. C. in una barra di marmo di tale lunghezza. Il cubito era suddiviso in 7 palmi o in 28 dita. Multipli del cubito erano la canna (100 cubiti), l'iteru fluviale (5000 cubiti) e l'iteru cartografico (20 000 cubiti).

Fondamentale, per la metrologia, fu il contributo della civiltà Greca. I greci, erano molto più attenti a problemi di tipo teorico piuttosto che pratico, per questo motivo a riguardo degli strumenti di misura non risultano costruzioni significative, anche se essi furono comunque ottimi misuratori. Ciò è dovuto al fatto che i greci disprezzavano i lavori manuali in quanto attività da schiavi. Questo non deve però far pensare che tale civiltà non si occupasse di questioni pratiche, basti pensare ad Archimede¹⁴ (III secolo a. C.) il quale pose le basi di un primitivo metodo sperimentale che trovò il suo compimento, circa 20 secoli più tardi, con Galileo Galilei¹⁵.

L'interesse maggiore degli studiosi greci era però rivolto all'astronomia e alla misura del tempo, la matematica era comunque uno degli aspetti fondamentali dell'istruzione, essa si divideva in aritmetica e geometria¹⁶.

L'importanza della Grecia nell'ambito delle misurazioni è dovuta a una mentalità che sembra precedere il metodo scientifico vero e proprio, una mentalità tipica di uomini come Archimede o Tolomeo¹⁷, i quali avevano come unico interesse quello di osservare la natura ed esprimerne i risultati attraverso i numeri. Proprio in Grecia si ebbe la prima misurazione di un meridiano terrestre ad opera di Eratostene¹⁸ (III secolo a. C.) che stabilì una lunghezza di 252 000 stadi (pari a 39 690 000 m), molto simile a quella stabilita circa 21 secoli più tardi (40 000 000 m).

Nell'*agorà* di Atene sono stati ritrovati i campioni utilizzati nelle varie *polis*. La situazione che si osserva è piuttosto confusa, le unità di misura variavano a seconda delle città stato e dei periodi storici nei quali venivano utilizzate. Per questo motivo le differenze in una stessa unità di misura erano abbastanza significative: la lunghezza del piede variava da 25 a 37 cm, la misura più attestata è il *piede olimpico* di circa 31 cm, lunghezza che fa pensare a un piede calzato [1, 3, 14].

Le unità di misura usate dai greci furono riprese dai romani. Ci troviamo di fronte a una civiltà sicuramente più pratica e meno interessata a problemi di tipo teorico, le attività principali erano l'agricoltura e il commercio e non bisogna dimenticare che i romani furono molto attivi nella costruzione delle infrastrutture come strade e acquedotti, perciò essi furono in grado di costruire nuovi e più precisi strumenti di misura.

Misurare nel modo più corretto possibile era importante anche per la distribuzione delle terre, non a caso durante l'impero venne istituita una vera e propria scuola dove, tra le altre materie, si studiava la geometria; la scuola aveva due indirizzi: *agrimensores* e *finitores* per i terreni di campagna, e *mensores aedificiorum* per la città.

Essi si occupavano di misurare le terre e di stabilire i confini, si trattava di un compito fondamentale, dal momento che alla divisione delle terre, detta centuriazione, si accompagnava il riconoscimento di un nuovo statuto giuridico delle persone che ci vivevano. Bisogna precisare che la distribuzione delle terre era una mansione che non competeva agli *agrimensores*, ai quali spettava soltanto quello di misurarle e stabilire i confini, compito che

dovevano svolgere con la massima precisione, infatti, in caso di frode, erano passibili di giudizio. Un famoso strumento usato, da questi antichi geometri era la groma (Figura 1.5A).

Essa era utilizzata per tracciare sul terreno allineamenti semplici e ortogonali necessari per la costruzione di città, di strade e per la centuriazione dei terreni (Figura 1.5B). Era costituita da un'asta di legno che si conficcava nel terreno. Alla sua sommità presentava due aste tra loro ortogonali, alle estremità di queste venivano appesi quattro fili terminanti con dei piombi, da cui partire per tracciare delle linee rette, ortogonali e parallele.

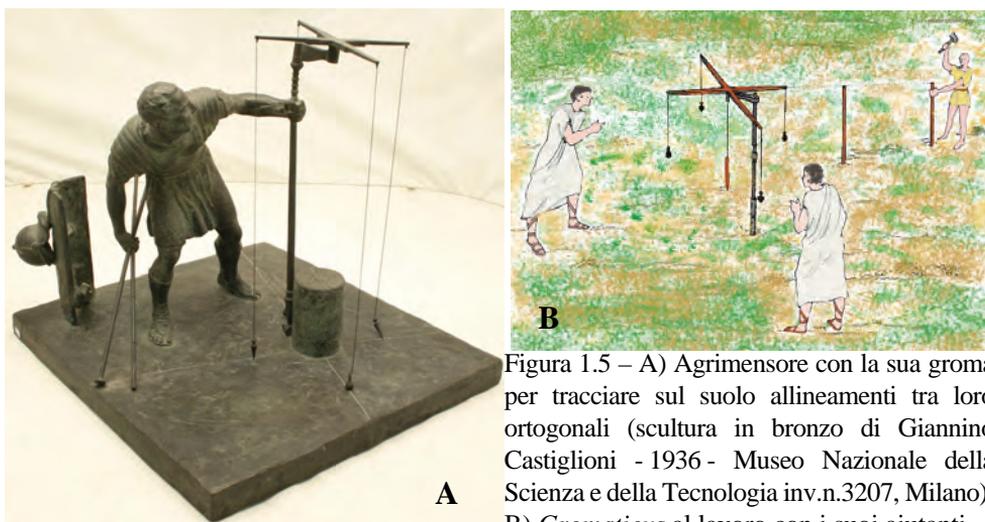


Figura 1.5 – A) Agrimensore con la sua groma per tracciare sul suolo allineamenti tra loro ortogonali (scultura in bronzo di Giannino Castiglioni - 1936 - Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia inv.n.3207, Milano). B) *Gromaticus* al lavoro con i suoi aiutanti.

I romani erano in grado di realizzare carte corografiche (diverse dalle carte geografiche nella scala, nella struttura e anche perché, essendo più ricche di particolari, erano più simili all'opera di un pittore). Certo gli errori erano numerosi poiché mancavano gli strumenti adatti a misurare le lunghezze. Molto più precise erano le carte topografiche, proprio grazie alla suddivisione del terreno fatta dai geometri. La geografia e la cartografia divennero molto importanti per i romani durante il periodo di Augusto¹⁹; il principe era interessato a rappresentare lo spazio che i romani occupavano nel mondo. La più grande opera cartografica fatta dai romani fu commissionata da Cesare²⁰ nel 44 a. C. e fu un lavoro che si protrasse per vent'anni, si tratta della *Carta d'Agrippa*²¹. Le misurazioni vennero affidate ai quattro migliori scienziati del tempo: Nicodemo per l'Asia, Didimo per l'Occidente, Teodoro per il settentrione e Policeto per il mezzogiorno [9].

Vediamo quali erano le misure di lunghezza per i romani, e come esse erano organizzate in un sistema coerente di multipli e sottomultipli [1, 3, 9]:

Sottomultipli.

- *Digitus* (16 in un piede)
- *Uncia* (12 in un piede)
- *Palmus* (4 in un piede)
- *Palmus maior* (nasce nel tardo impero, misura 12 dita ovvero 12/16 di piede)

Unità.

- *Pes* (1 piede = 29,65 cm)

Multipli.

- *Palimpes* (un piede più un palmo)
- *Cubitus* (lunghezza dell'avambraccio, ottenuta misurando la distanza tra il gomito e la punta del dito medio; 1 piede + 2 palmi)
- *Gradus* (2 piedi + 2 palmi)
- *Passus* (5 piedi, corrispondeva al passo di un legionario in marcia, dunque una lunghezza formato dalla sequenza sinistra-destra-sinistra, circa 1,5 m)
- *Pertica* (10 piedi)
- *Actus* (120 piedi)
- *Stadium* (625 piedi)
- *Miliarius* (1000 passi ovvero 5000 piedi)
- *Leuga* (7500 piedi)

Il grande merito dell'impero romano fu quello di garantire, per tutta la sua durata, una certa uniformità nell'ambito delle misure nei territori appartenenti all'impero. I romani riuscirono infatti ad imporre i loro criteri e le loro unità, ma, sebbene latenti, le unità tradizionali dei popoli conquistati continuarono ad esistere; non a caso dopo il crollo dell'impero, anche dal punto di vista metrologico, si verificò una situazione di enorme confusione [7].

Un caso particolare è costituito dai paesi anglossassoni. A partire dal 43 d. C. tali popoli vissero per 4 secoli sotto il dominio romano, quindi insieme alla lingua, al diritto e alla cultura appresero anche il sistema di misure romano e iniziarono ad utilizzarlo. Questo non significa che furono abbandonate le vecchie unità; è sufficiente ricordarne una ottenuta anch'essa dal corpo ma da una parte non utilizzata altrove: la Iarda o *Girth* ottenuta dal girovita (figura 1.3); ciò testimonia un sistema di misure diverso, non basato sul piede o sul cubito. Con l'andare del tempo la Iarda venne adeguata, si dice alla lunghezza del braccio di



re Enrico I²² (XI-XII secolo) (figura 1.6), e successivamente fu resa un multiplo del piede romano, per poterla adattare al sistema. I popoli delle Isole Britanniche hanno sempre difeso fermamente i propri sistemi di misura, riconoscendo in loro qualcosa di sacro; ecco perché hanno cercato di preservarli anche sotto il rigido dominio romano. Effettivamente molto di quel sistema di misura si è mantenuto, ma altrettanto numerosa è quella parte di cultura britannica che è andata perduta, soprattutto a causa del cristianesimo che ha sempre avuto un forte interesse a distruggere ciò che apparteneva ad una cultura pagana [1, 11].

Figura 1.6 – Ritratto immaginario di Enrico I (anno 1620, autore sconosciuto). *National Portrait Gallery*, Londra. Da [104].

Sorprendente per la sua originalità è invece il sistema di misure utilizzato nell'antica Cina, che non ebbe precedenti né successori in nessun altro luogo. I cinesi tentarono di unificare tutte le misure partendo da una frequenza sonora, essi utilizzavano una sorta di campana senza battaglia, la campana o vaso Chung, VIII secolo a. C. (figura 1.7), con la quale accordavano una canna di flauto affinché emettesse la nota *Huang-chung* che era la nota emessa dalle campane se battute in una determinata posizione. In tal modo si davano al flauto delle dimensioni che erano di 90 fen²³. Inoltre con questo stesso metodo ottenevano anche unità di misura di capacità e peso, infatti il flauto accordato conteneva 1200 fen che corrispondevano ad un certo peso.



Figura 1.7 – A sinistra la campana Chung (elaborazione da [105]), al centro il flauto accordato sulla nota Huang-chung con il quale si stabiliva l'unità di misura di lunghezza, riportata a destra. Da questa, infine, si generavano i multipli e i sottomultipli e i campioni per l'uso corrente. *Shaanxi History Museum, Xi'an, Cina.*

Ciò che di tutto questo è veramente sorprendente è il fatto che essi cercarono di legare tutte le misure a un fenomeno fisico, come la frequenza sonora di una nota; ottenendo un sistema molto coerente che purtroppo non avrà alcun seguito in Occidente [3, 7, 14].

Si è citata la Cina non perché con la sua storia, nell'ambito delle misure, abbia contribuito a porre le basi di un sistema metrologico universale, ma perché in questo sistema, chiamato Sistema Internazionale (che verrà ampiamente descritto nel Capitolo Terzo), dopo

circa 28 secoli, si è cercato di legare tutti i campioni metrologici alla frequenza (sia pure non sonora) elettromagnetica di una oscillazione atomica.

Questa digressione ci consente anche di dire che l'unificazione metrologica è una strada che parte dagli egizi e arriva ai giorni nostri, praticamente in tutto il mondo. Alla realizzazione di questa strada hanno contribuito per i primi i latini, con le loro espansioni territoriali, e poi, alternandosi nel tempo: italiani, francesi, inglesi con una netta predominanza dei francesi.

In questo intervallo di tempo il contributo delle altre popolazioni europee e non è stato marginale, se non addirittura trascurabile. Ciò non toglie che, in particolare verso la fine di questo lungo percorso, con la formalizzazione del Sistema Metrico Decimale (XIX secolo), in momenti diversi, quasi tutte le nazioni hanno aderito a questo Sistema di misure. L'evoluzione del Sistema Metrico Decimale (detto anche Sistema Francese) ha portato poi, nella seconda metà del XX secolo, al Sistema Internazionale (abbreviato in SI) il quale è inserito praticamente nella legislazione di tutti gli stati, anche se ancora non tutte le sue prescrizioni sono eseguite esattamente.

Quanto sopra, in qualche modo, giustifica l'ampia descrizione delle attività di certe popolazioni e l'assenza di citazione di altre.

1.2.1.2 Superficie e Volume.

Le misure di superficie sono una derivazione delle misure di lunghezza, ovvero di distanza. Come già detto la geometria nasce proprio dall'esigenza di misurare le superfici dei terreni e degli edifici.

Analogamente la misura dei volumi, che esprimono lo spazio occupato dai corpi, sono ancora una derivazione delle misure di lunghezza. A queste misure si sono dedicati i geometri di tutte le civiltà in ogni parte del mondo.

Anche i nomi dei multipli e sottomultipli delle unità di misura, per superfici e volumi, derivano dai nomi delle unità di lunghezza, anche se non sempre c'è una corrispondenza precisa. Nel mondo romano l'unità di superficie è l'*actus quadratus*, mentre l'unità di lunghezza è il *pes* (di cui l'*actus* è un multiplo).

Sottomultipli.

- *Pes quadratus* (14 400 in un atto quadrato)
- *Scripulum* (144 in un atto quadrato)
- *Actus minimus* (30 in un atto quadrato)
- *Clima* (4 in un atto quadrato)

Unità.

- *Actus quadratus* (1 atto quadrato = circa 1265 m²)

Multipli.

- *Iugerum* (2 atti quadrati)
- *Heredium* (4 atti quadrati)
- *Centuria* (400 atti quadrati)
- *Saltus* (1600 atti quadrati)

Queste unità richiedono però superfici e volumi riconducibili a forme geometriche semplici, dai contorni netti e regolari: la superficie di una arena o il volume di una piramide. In altre parole per i geometri non era un problema l'estensione di un campo, mentre lo era la sua irregolarità: confini incerti e frastagliati, massi affioranti, pendenze e contropendenze, ecc.

Ecco allora che, per quanto riguarda i terreni agricoli, in Europa, dal Medioevo all'unificazione metrologica, sono attestati due tipi di misurazione: una in base al tempo di lavoro umano, l'altra secondo la quantità di sementi utilizzata nella semina.

La prima è sicuramente diffusa in tutta Europa e fu comunque molto duratura dato che ancora oggi può capitare di sentire qualcuno parlare dell'estensione di un campo in giornate di lavoro²⁴. Questo riflette il rapporto uomo-terra individuando, tra le varie proprietà della terra, quella più importante: il lavoro impiegato dall'uomo per renderla produttiva. In realtà non ci troviamo di fronte ad un sistema univoco, a causa delle molte variabili (il tipo di terreno, la sua durezza, la sua percorribilità ecc.), in grado di stabilire l'estensione del terreno in termini temporali.

Anche la *misurazione per semina*, in particolare del frumento, è molto diffusa in Europa e fuori. In India il cereale di base è il riso ma il criterio di misurazione è sempre lo stesso; anche se probabilmente è più recente rispetto alla tradizione europea che, con tutta probabilità, risale al tempo dell'impero romano. In questo caso la caratteristica della terra presa in considerazione è la fertilità, che in qualche modo lega la quantità di semi distribuiti sull'unità di superficie alla produzione di questa. Tra i due sistemi il secondo era sicuramente più utile all'uomo dal punto di vista economico: due terreni, di uguale superficie ma con caratteristiche fisiche diverse, a parità di quantità di semi impiegata, non necessariamente avevano la stessa capacità produttiva.

Nel 1795 la repubblica francese stabilisce che *l'ara*²⁵ è *l'unità di misura, repubblicana, di superficie per i terreni, uguale a un quadrato di dieci metri di lato*²⁶; sottomultiplo dell'ara è la centiara (1 ca = 0,01 a = 1 m²), multiplo dell'ara è l'ettaro (1 ha = 100 a = 10 000 m²). Il successo di queste unità francesi è dimostrato dal fatto che sono ancora internazionalmente accettate. Sorte diversa ha avuto l'unità di misura di superfici agricole inglese, *acro* (= 4046,86 m²), che è stata abolita dall'Inghilterra dal 30/09/1995.

Come già detto anche le misure di volume dei corpi solidi riconducibili a forme geometriche regolari e semplici, derivano dalle misure di lunghezza. I geometri greci conoscevano bene le regole per calcolare i volumi di figure quali parallelepipedi, piramidi, coni, ecc. a partire dalla misura di lunghezza degli spigoli, dalle altezze, dai raggi, ecc.; ovviamente, passando attraverso un calcolo, non si trattava di una misura diretta del volume. Per le forme irregolari, di corpi solidi, si utilizzava il sistema escogitato da Archimede: riempire con acqua, fino al bordo, un contenitore, immergervi l'oggetto e misurare il volume dell'acqua trascinata. In un certo modo si passa dalla misura del volume di corpi solidi e quello di corpi liquidi. Per questi ultimi, non avendo forma propria, più coerentemente si parla del volume del recipiente che li contiene completamente. Nascono allora recipienti, di varie dimensioni e forme, di riferimento per i quali si stabiliscono le unità di misura di capacità. Questi stessi contenitori divennero veri e propri strumenti di misura e di controllo, e furono utilizzati anche per la misura delle granaglie e dei semi, in alternativa al peso, come vedremo nel paragrafo successivo.

1.2.2 Peso.

La misura del peso è molto remota nella storia dell'uomo. Nell'antichità il peso di un corpo, evidenziato dalla forza necessaria per sollevarlo, era inteso come massa del corpo, ovvero come quantità di materia in esso presente, una distinzione fra i due concetti si ebbe soltanto nel XVII secolo ad opera di G. B. Balliani²⁷. La necessità di pesare era imposta dal commercio che richiedeva di quantificare le merci che si compravano o vendevano e che non potevano essere semplicemente contate. La bilancia è forse il primo strumento di misura realizzato dall'uomo; a riprova che sia conosciuta fin dall'antichità possiamo osservare che da sempre, varie popolazioni l'hanno assunta come simbolo di giustizia (figure 1.2 e 1.8) e per il fatto che fosse già compresa nei segni dello zodiaco.



Figura 1.8 – Una delle tante personificazioni della Giustizia munita di bilancia e spada.

La statua scolpita da Francesco Ferrucci detto del Tadda (Fiesole, 1497 – 1585) e dal figlio Romolo (1544 – 1621), è realizzata in porfido e si trova a Firenze, in piazza Santa Trinita, sopra una colonna di granito orientale alta 11,17 metri (foto di Gianni Fasano).

La bilancia, *doppia lancia*, misurava la massa e non il peso, così come la stadera (figura 1.9). Con la distinzione del concetto di massa da quello di peso i fisici dell'epoca dovettero escogitare strumenti idonei a misurare i pesi, a tal fine fu realizzato il dinamometro (figura 1.10). Per non stravolgere troppo le cose questi strumenti furono tarati, alle nostre quote e latitudini, in modo che una massa che nella bilancia risultava di 1 kg (che fu chiamato kilogrammo-massa), risultasse sul dinamometro di 1 kg (che fu chiamato kilogrammo-peso). Se qualcuno avesse portato bilancia, dinamometro e oggetto da valutare, sulla cima di un

monte, per l'effetto della quota più elevata e conseguente riduzione della gravità terrestre, avrebbe misurato ancora la stessa massa ma un peso inferiore. Analogamente si sarebbero registrate misure di peso diverse passando dalle latitudini dell'Europa centrale ai poli o all'equatore; mentre la massa sarebbe risultata sempre la stessa in tutti i casi.

La scelta delle due unità con lo stesso nome *kilogrammo* (le indicazioni massa e peso venivano regolarmente omesse) e i valori numerici identici (nelle condizioni prima specificate) hanno fatto sì che la maggior parte delle persone abbia continuato a considerare massa e peso come sinonimi. Oggi, come vedremo, il chilogrammo è l'unità di misura della massa e il newton è l'unità di misura della forza (e il peso è una particolare forma di forza), e 1 unità di massa (1 kg) non esprime più 1 unità di peso ma, alle nostre latitudini e alle nostre quote, esprime 9,806 unità di peso (newton).



Figura 1.9 – Misuratori di massa. A sinistra la Bilancia: quando il peso incognito è uguale al peso dei campioni nell'altro piatto, le due lance, al centro dell'immagine, sono allineate. A destra la Stadera.



Figura 1.10 – Dinamometro: misuratore di forza di trazione e di forza-peso. Da [106].

In realtà l'esistenza millenaria della bilancia, e la sua importanza simbolica, non sono specchio dell'utilizzo che se ne è fatto nella società. Infatti essa veniva utilizzata quasi esclusivamente dai mercanti, sia perché strumento costoso sia perché facilmente falsificabile: i primi materiali usati come pesi di riferimento, da mettere sul piatto della bilancia opposta a quello della mercanzia, furono sassi o semi di piante per le misure molto piccole. Ovviamente, non esistendo un campione di misura di peso universalmente riconosciuto, era facile ingannare usando pesi di tipo diverso. Già nella Bibbia vi sono dei passi che ci permettono di comprendere quanto fosse importante avere delle misure di peso giuste:

- *Non commettete ingiustizie nel giudicare, come pure nelle misure di lunghezza, peso e capacità. Usate bilance giuste, fate pesi giusti...* (Levitico 19, 35-36)
- *Non avere nel tuo sacchetto due pesi, l'uno grande e l'altro piccolo. Non avere in casa due misure²⁸, una più grande e una più piccola. Tieni pesi esatti e giusti come pure misure esatte e giuste, affinché tu abbia lunga vita nella terra che il Signore Iddio tuo sta per darti. Poiché chiunque fa tali cose e chiunque pratica la frode è in abominio davanti al Signore Iddio tuo.*²⁹ (Deuteronomio, 25, 13-16)

Da questi precetti sembra che il compito della legge fosse quello di regolare, non di creare, come se le misure di peso esistessero già. Infatti un altro passo della Bibbia sembra confermarlo attribuendogli addirittura origine divina: *Stadera giusta e bilancia son del Signore, e tutti i pesi in uso appartengono a lui.* (Proverbi 16, 11).

L'inosservanza, pressoché regolare, dei precetti biblici creava numerosi scontri nei mercati e pertanto la bilancia era poco usata: si era soliti comprare la merce al pezzo oppure, nei casi in cui si dovevano misurare liquidi o merci come le granaglie, si valutava il loro volume tramite una misura di capacità. È interessante notare che il campione di misura più

antico, escludendo quelli di lunghezza e di tempo, non fu di peso ma di capacità (figura 1.11).



Figura 1.11 – Vaso d'argento di Entemena (circa 2 500 a. C.) re di Lagash (Mesopotamia meridionale) che conteneva 10 sila, circa 5 litri, come è testimoniato dall'iscrizione incisa sulla sua superficie [1]. Museo del Louvre, Parigi.
Foto di Jastrow, 2006 da [107].

In realtà in tutto il mondo esistevano degli standard di peso, essi erano strettamente correlati alla vita quotidiana e più precisamente alla fonte di sostentamento principale. In questo senso possiamo suddividere il mondo in tre parti:

- Riso per le civiltà orientali
- Mais per le civiltà del sud America
- Grano per le civiltà del Mediterraneo e per quelle europee

Dunque l'unità campione di peso si otteneva attraverso un numero prefissato di semi di uno di questi cereali, a seconda della civiltà in questione, e poi si creava un sistema di multipli e sottomultipli; ad esempio i babilonesi ottennero la loro unità di peso utilizzando grano e piselli.

L'utilizzo di misure di capacità, facilmente alterabili, creò nei mercati non poche tensioni sociali.

Nel costruire un contenitore, per usarlo come unità di misura, bisognava curare diversi aspetti: forma, spessore dei bordi, deformazioni causate dal tempo o prodotte intenzionalmente. Quindi c'era, alla base, un duplice problema di produzione: non era facile, per i falegnami o per i fabbri, costruire dei contenitori che avessero dimensioni estremamente precise, era costoso utilizzare materiali non soggetti a usura o a manipolazioni. Prescindendo da questi problemi tecnici si possono trovare numerosi esempi di frode nelle molte petizioni dei contadini, con le quali essi si lamentavano di venire ingannati dai feudatari ai quali dovevano pagare i tributi. Tra gli inganni più comuni c'era ovviamente quello di utilizzare unità di misura più grandi o comunque modificate per poter accogliere al loro interno più materia. Si trattava però di frodi facilmente identificabili, per questo presto si fece ricorso a metodi più subdoli, infatti la quantità di materia che un contenitore poteva accogliere dipendeva anche dal modo in cui esso veniva riempito. Ad esempio più energia si metteva nel versare il grano nella misura più questo si comprimeva lasciando spazio ad altro grano. Una maggiore energia si otteneva versando il grano dall'alto, perciò le petizioni contadine lamentavano che i signori obbligavano a versare il grano *dalla spalla*³⁰.

Un altro metodo per ottenere più grano era quello di inclinare la misura e di scuoterla nel mentre si versava e anche questa non era azione di poco conto. *Nel Vangelo di Luca leggiamo che Dio rimette all'uomo per le sue azioni una misura pigiata e scossa, ciò significa che la rimette con abbondanza, più di quello che sarebbe dovuto.* [11, pag. 50].

Erano nati dei veri e propri trucchi per cercare di scuotere il recipiente mentre si versava la merce, quindi erano molti quelli che misuravano il grano in luoghi dove vi erano movimenti del pavimento, come nei mulini i quali venivano messi in funzione proprio mentre il contadino versava il grano. Ancora più curiosa appare l'usanza di molti compratori, i quali assumevano addirittura una persona che con vari pretesti, muovendosi o muovendo i piedi, cercava di scuotere la misura [4]. Ma forse il problema più grande fu quello del colmo. Ovviamente il signore pretendeva che le sue misure fossero colmate al massimo (quindi in un recipiente si poteva versare più materia possibile fino a quando questa non strabordasse) e naturalmente i contadini si opponevano. La misura del colmo era fortemente legata anche alle dimensioni del recipiente, in particolare al rapporto fra il diametro e l'altezza; una misura più bassa e larga poteva contenere un colmo maggiore, mentre invece in una alta e stretta la materia tendeva subito a cadere una volta superati i bordi. Ovviamente chi, come i signori, doveva ricevere un pagamento in natura, aveva tutto l'interesse affinché la misura diventasse bassa e larga, mentre nei mercati i commercianti, che avevano l'obbligo di misurare il colmo

ai compratori, cercavano sempre di utilizzare misure più alte e strette. In questo modo due misure uguali dal punto di vista della loro capacità, potevano contenere quantità molto diverse [11].

Per risolvere il problema si introdussero le misure *a raso*, anche se, pur vietando il colmo, in molti mercati era ammesso il *colletto*; si tratta di una piccola aggiunta sensibilmente inferiore al colmo. Ma anche la scolmatura fu fonte di polemiche poiché a seconda della forma della rasiera, e di come veniva utilizzata, si poteva scolmare più del dovuto. In conseguenza di ciò, in molte parti d'Europa, si diffuse una rasiera di dimensioni stabilite che doveva essere usata in un determinato modo:

Per scolmare il grano si usi una rasiera appositamente confezionata a questo scopo [...] scolmando il grano bisogna tenere la rasiera ben dritta per non sciupare il grano e neppure pigiarlo. E poiché le rasiere mal confezionate possono provocare grande pregiudizio e inganno, si stabilisce con il presente editto che nessuno usi altre rasiere se non quelle sulle quali è chiaramente impresso il marchio e che ad ogni misura sia contrassegnata una rasiera aggiunta... (Editto prussiano del 1796 tratto da [11]).

In realtà la misura a colmo o a raso dipendeva molto spesso dal valore e dall'importanza della materia misurata, quindi un cereale più pregiato, nei mercati, veniva spesso misurato a raso mentre uno meno pregiato veniva misurato a colmo; addirittura per due cereali di differente valore spesso venivano usate unità diverse. Non si tratta di una prerogativa esclusiva dei cereali ma di una consuetudine ben radicata nella storia delle misure: un'unità di misura, pur mantenendo lo stesso nome, era più o meno grande a seconda del valore del materiale misurato. Inoltre poiché il valore dei cereali poteva variare anche in base alle annate, era possibile incontrare misure diverse a seconda dell'andamento del raccolto (figura 1.12). L'usanza della misura a colmo era molto radicata nella nostra società, tanto da scomparire soltanto con l'avvento della riforma metrica e neanche troppo facilmente. Quello del colmo è un problema estremamente complesso, sul quale non è facile decidere da che parte stare, nel senso che quando si deve comprare si è favorevoli ad esso, mentre se si deve vendere o versare un tributo, non si può che essere contrari.



Figura 1.12 – Misura di volume per granaglie. A sinistra: *boisseau*, utilizzato in Francia, pari a circa 10 litri, variabile da zona a zona (Museo Agricolo di Botans-Francia). A destra: stajo lombardo circa 25 litri, 1 stajo = 2 mine = 4 quartari; misure diverse in zone diverse (su autorizzazione del Museo della Civiltà Contadina *Ciòca e berlòca* Cavenago d'Adda - Lodi).

Una altra usanza era quella di pressare il grano, in modo da farne entrare nella misura il più possibile. Questa era considerata una prassi non solo immorale ma addirittura vietata, come ci dimostrano i vari libri giudiziari rurali [11].

Proprio a causa di tutte queste problematiche si cominciò a smettere di misurare il grano con misure di capacità, e si cominciò a pesarlo con la bilancia, pratica imposta non dalle leggi ma dalla consuetudine dei mercanti.

Non si deve pensare che la misurazione dei cereali a peso fosse una soluzione alle frodi, infatti l'ingegno umano, quando si tratta di guadagnare qualcosa ingannando gli altri, è sorprendente. Innanzi tutto le bilance appaiono poco sicure poiché con il tempo si usurano facilmente, in particolare a causa dell'umidità. Pesare inoltre era considerato molto più complicato che misurare attraverso la capacità, non tutti erano in grado di farlo correttamente, in particolare i contadini erano diffidenti poiché la maggior parte di loro non capiva bene il processo di pesatura. A ciò si aggiunga che le classi più povere non potendo permettersi il possesso di una bilancia dovevano affidarsi a quelle dei signori o dei mercanti, bilance che nella maggioranza dei casi erano *truccate*.

Dal punto di vista degli inganni, nella pesatura, essi erano ancora più subdoli e difficili da identificare rispetto a quelli perpetrati nelle misure di capacità: si poteva ad esempio inumidire il cereale³¹ affinché avesse un peso maggiore, oppure non lo si ripuliva bene dalla terra o addirittura vi si aggiungevano sabbia e detriti [4].

Tra tutte le misure, la lotta per la correttezza nelle misure di peso fu molto dura perché era sicuramente la misura più usata nel commercio.

Il peso fu legato per molto tempo a un altro elemento fondamentale nella società, ovvero il denaro. Infatti il valore delle monete è dipeso, a lungo, dalla quantità di metallo con cui erano realizzate, il famoso *valore reale*. È intuibile che anche in questo campo ci siano state frodi di ogni genere e conseguenti metodi per porvi rimedio. Fra tutte le frodi relative al peso delle monete ne ricordiamo due:

- La *tosatura* che consisteva nel limare la moneta per recuperare l'oro, rendendola però più leggera e quindi di minore valore reale.
- La realizzazione di monete di *lega cattiva*, cioè monete in cui il metallo prezioso era in lega a un metallo di scarso valore introdotto solo per aumentarne il peso. Da qui derivava l'usanza di dare un morso alla moneta per provarne l'autenticità: se nella moneta rimaneva il segno dei denti essa era di *buona lega*, in quanto l'oro molto puro (l'oro fino) è un metallo duttile e malleabile.

Ciò che è interessante sottolineare, alla fine di questo paragrafo, è che l'esigenza di unificazione nelle misure di peso fu molto forte proprio perché connessa a fattori fondamentali nella vita dell'uomo, fattori legati alla sua stessa sopravvivenza.

1.2.3 Tempo.

La nozione di tempo ci è tanto familiare, mentre tanto difficile ne è la definizione. Se nessuno me lo chiede so che cosa è il tempo ma se qualcuno me lo chiede non lo so più. Il passato non esiste più, il futuro non esiste ancora, il presente tramonta nel passato, Agostino d'Ippona³² (IV sec d.C.).

Sul tempo si è sempre detto tanto, filosofi e scienziati si sono impegnati nella sfida di definire questo elemento così importante nella nostra vita e nel farlo hanno avuto non poche difficoltà. La difficoltà nel definire il tempo è dovuta al fatto che esso, contrariamente

al peso o alle distanze, è un'entità astratta che non può essere sottoposta ai nostri sensi, ma che siamo in grado di identificare soltanto in base ai cambiamenti che produce sia in noi stessi che nel mondo. Nella storia i filosofi hanno considerato il tempo come concetto primitivo dell'esperienza legato alla percezione del *divenire*, mentre gli scienziati hanno cercato di dare del tempo una definizione pratica, non legata a concetti filosofici. In ogni caso, sia per gli uni che per gli altri darne una definizione e poi misurarlo non è stato facile.

Quando parliamo di tempo è necessario fare una distinzione poiché ci troviamo di fronte a tre concetti diversi (escludendo ovviamente il tempo meteorologico): il tempo inteso come giorno dell'anno, che ci informa su quando si è verificato un evento, il tempo che ci permette di capire quale è il momento del giorno nel quale si verifica un evento e infine il tempo inteso come intervallo tra due eventi. Attraverso l'osservazione del primo si sono creati i calendari³³, attraverso il secondo gli orologi³⁴ e attraverso il terzo i cronometri³⁵.

L'uomo si cimentò in un confronto con il tempo già dalla preistoria (anche se le prime civiltà a operare uno studio razionale del tempo furono babilonesi e caldei nella Mesopotamia, da cui poi quel sapere si spostò nelle coste settentrionali dell'Africa e venne ripreso dagli egizi), per poter programmare lavori vitali come la semina e trovò un grande strumento di valutazione nell'osservazione del cielo, proprio per la regolarità con cui i moti celesti si ripetevano.

La prima unità di misura universalmente scelta fu il giorno. Mentre invece fu arbitraria la scelta del momento nel quale far iniziare la giornata, per esempio calar del sole per ebrei e cinesi, sorgere del sole per egiziani, mezzogiorno per gli arabi.

La successione dei dì e delle notti ritma la vita della Terra e regola il lavoro umano. Il giorno, ovvero l'insieme di ore di luce e di buio, contigue, è senza alcun dubbio l'unità naturale e universale della misura [1, pag. 19]. Questa divisione in giorni fu in qualche modo naturale mentre misure più piccole del giorno appaiono puramente convenzionali.

La divisione del giorno in ventiquattro parti (non si trattava ancora di ore che avevano la stessa durata) viene attestata dagli egizi ma si suppone avesse origini babilonesi: il sistema di numeri di questa civiltà era basato su multipli e sottomultipli del numero dodici. Si tratta di un numero molto importante nella storia che fu utilizzato nel commercio (ancora oggi per alcune merci parliamo di dozzine ad esempio per le uova) e nella geometria (l'angolo giro misura 360° che è multiplo di dodici). L'utilizzo del numero dodici come base del sistema orario è tutt'ora vigente, esso oltre alla divisione del giorno in ventiquattro ore (dodici durante il dì e dodici durante la notte agli equinozi), ha permesso l'uso di ore di 60 minuti, minuti di 60 primi e primi di 60 secondi. Il periodo di tempo immediatamente superiore al giorno è la settimana (Genesi: Dio creò il mondo in sei giorni, al settimo si riposò), nonostante sia utilizzata da millenni, è fra tutti il più convenzionale non avendo alcun aggancio al mondo fisico.

Per stabilire il mese di 28-31 giorni, nei diversi calendari costruiti nel tempo, una grande alleata fu la Luna. L'uomo si rese conto che la Luna cambiava aspetto e poi ritornava come era in base a cicli sempre regolari, iniziò così a prendere coscienza del ciclo lunare³⁶. Ma, oltre alla Luna, si rese conto che altri gruppi di astri compivano dei cicli e perciò si servì anche di quelli per misurare il tempo, questo poiché l'uomo primitivo aveva del tempo una concezione ciclica³⁷.

In base all'astro che si osservava si creava un diverso calendario, esistono calendari lunari, basati sul ciclo della Luna; calendari solari, basati sul Sole e calendari luni-solari che tentano di unire i due sistemi. In ogni caso il ciclico ritorno delle stagioni consentì di stabilire la durata dell'anno sempre come multiplo approssimato del dodici (dodici mesi di trenta giorni e quindi un anno di trecentosessanta giorni). Anche per quanto riguarda la misurazione

del tempo, in particolare per quanto concerne i calendari non ci fu alcuna omogeneità, ogni civiltà ne aveva uno suo con durata e inizio diversi. Essendo la misurazione del tempo legata alla sfera degli astri e quindi facilmente collegabile con la sfera religiosa, a occuparsi dei calendari erano quasi sempre le caste sacerdotali. I calendari erano, infatti, costruiti in base alle festività religiose e agli eventi importanti in una determinata civiltà. Sarebbe molto interessante tracciare una storia dei calendari usati nelle varie civiltà, ma sarebbero davvero tanti per cui in questo contesto ci limitiamo al calendario romano³⁸ dal quale discende il calendario che noi oggi conosciamo.

Anche a Roma il controllo del tempo era in mano ai sacerdoti e i romani ne erano talmente affascinati da personificarlo³⁹.

Come tutti i popoli dell'antichità anche i romani avevano un calendario basato sulle fasi della luna, esso contava complessivamente 10 mesi di 29-30 giorni ciascuno.

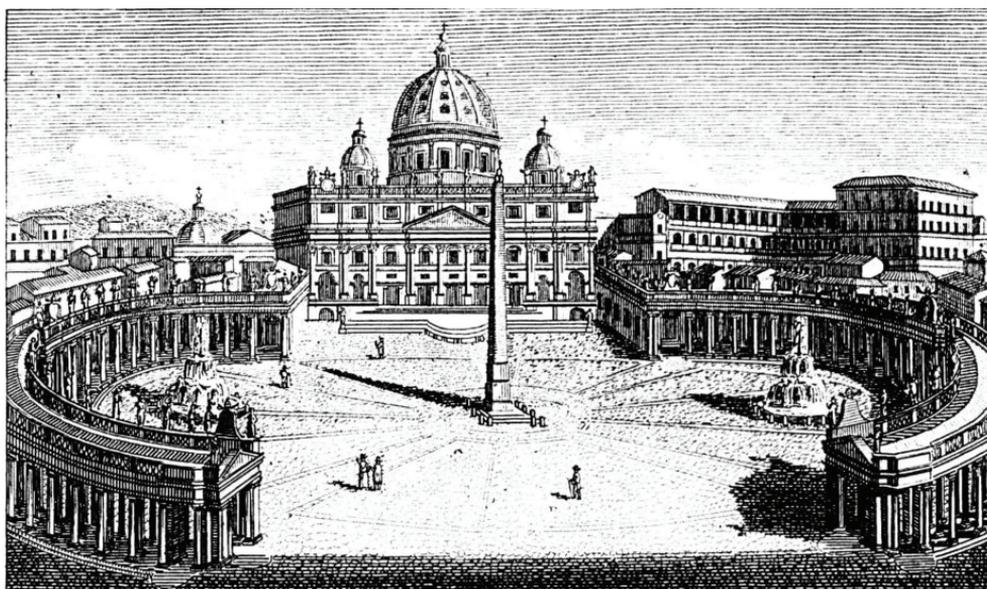
L'inizio dell'anno era stabilito al primo di marzo, poiché era il giorno in cui si aprivano le campagne belliche (il nome marzo deriva da *Mars*, Marte, dio della guerra). Questo calendario fu modificato dal re Numa Pompilio (Cures, 754 a.C. – 673 a.C.), il quale aggiunse due mesi, *Januarius* e *Febrarius*. L'anno si compose così di dodici mesi, quattro di 31 giorni, sette di 29 e solo uno (*Febrarius*) di 28 per un totale di 355 giorni, ma era ancora troppo lontano dal corso solare. Successivamente i pontefici⁴⁰ decisero di intercalare ogni due anni un mese di 22-23 giorni, il mese *Mercedonius* (mercenario). Ma alcuni pontefici abusarono del loro potere di allungare e accorciare l'anno, in pratica essi controllavano il tempo e ciò li portò a compiere degli abusi che causarono non pochi problemi⁴¹, ad esempio anticipare le scadenze dei pagamenti degli interessi rovinando così parecchi uomini d'affari.

Per porre fine agli abusi, nel 46 a. C., Giulio Cesare con l'ausilio dell'astronomo greco Sosigene diede vita al Calendario Giuliano. Esso si componeva di undici mesi di trenta-trentuno giorni e uno di ventotto (febbraio), al quale ogni quattro anni si aggiungeva un giorno in più (anno bisestile). Si ottenne così un calendario di 365 giorni e 6 ore⁴². Per cercare di rimediare ai disordini che si erano creati precedentemente nei calendari, Cesare decise che solo per quell'anno venissero aggiunti altri due mesi di 33-34 giorni; creando un anno eccezionalmente lungo, formato da 455 giorni. Non a caso esso venne chiamato *anno della confusione*. Nonostante la riforma giuliana la questione non si risolse, infatti i pontefici negli anni successivi, interpretarono male la regola creando ulteriore confusione. Anche Augusto (Roma, 63 a.C. – Nola, 14 d.C.) tentò di risolvere la questione con una nuova riforma, portando il primo marzo a iniziare con qualche minuto di ritardo. Nel 1582 lo sfasamento tra anno solare e anno civile era di ben dieci giorni. Per aggiustare le cose Papa Gregorio XIII (Bologna, 1502 – Roma, 1585) operò una nuova riforma stabilendo che quell'anno si passasse direttamente dal quattro di ottobre al quindici e l'anno bisestile doveva essere uno ogni quattro e gli anni centenari dovevano essere considerati bisestili solo se le prime due cifre erano divisibili per quattro. Il Calendario Gregoriano fu adottato subito da tutti i paesi cattolici (Francia, Spagna, Italia e Portogallo).

Come già detto un altro aspetto della misura del tempo è la stima del momento del giorno, questo si misura con gli orologi. Il primo orologio della storia si basa sull'astronomia, era l'orologio solare fisso. L'invenzione si basa sulla semplice osservazione che l'ombra proiettata sul terreno da un palo verticale cambiava di posizione a seconda dei diversi momenti della giornata. I primi a costruire uno strumento di questo tipo, vero e proprio orologio solare, furono gli egizi. Il picchetto che proiettava l'ombra, gnomone⁴³, era posto perpendicolarmente a un quadrante, in pietra, diviso in dodici settori che rappresentavano le dodici ore diurne (fig. 1.13).



Figura 1.13 – A lato: gnomone di meridiana su parete verticale (chiesa di Santa Maria a Piè di Chienti, Macerata). Sotto Basilica di San Pietro in Vaticano, l’obelisco di granito, egizio, costituisce lo gnomone della meridiana tracciata sulla piazza (1830 Incisione su rame di F. Palmucci da [5]).



Marco Varrone afferma che il primo orologio collocato a Roma in un luogo pubblico fu quello fatto sistemare su una colonna presso i Rostri durante la prima guerra punica dal console Mario Valerio Messalla dopo la presa di Catania in Sicilia; questo orologio fu trasportato da Catania nell'anno 491 di Roma (263 a.C.). In questo orologio, non avendo il quadrante disegnato sulla latitudine di Roma, le linee non corrispondevano precisamente alle ore [17]; tuttavia esso rimase la massima autorità per novantanove anni, finché Quinto Marcio Filippo, che fu censore insieme a Lucio Paolo, nel 164 a.C. fece installare, accanto a questo antico, un nuovo orologio tracciato con maggiore precisione. La costruzione di tali strumenti ebbe nella capitale una fioritura impressionante, tanto che essi vennero disposti nelle piazze, nelle case private e nei templi.

L’orologio solare restò l’unico modo di misurare il tempo, almeno fino al XIV secolo, ma per la sua scarsa precisione la durata delle ore oscillava in base alla durata del giorno nelle diverse stagioni [9].

Il primo strumento per la misurazione del tempo intercorrente tra gli eventi senza basarsi su criteri astronomici fu la clessidra⁴⁴ (figura 1.14), molto probabilmente anch’essa proveniva dall’Egitto dove i contadini la utilizzavano per misurare la durata del tempo di irrigazione dei campi dal canale comune. A Roma venne introdotta allo scopo di misurare il

tempo concesso a ciascun oratore in tribunale (lo svuotamento di un contenitore corrispondeva a 12 minuti), ma fu utilizzata anche per controllare il lavoro degli schiavi e il tempo della guardia notturna dei soldati. Il principio era molto semplice: si imitava lo scorrere del tempo facendo scorrere attraverso un foro una quantità nota di acqua o sabbia, essa era utile per misurare intervalli di tempo relativamente brevi ma diventava troppo ingombrante, e quindi non pratica, per intervalli di tempo lunghi. Ripetitività e precisione, in particolare in intervalli di tempo brevi, non erano buone, la temperatura influiva sul suo funzionamento e il foro di passaggio dal contenitore superiore a quello inferiore, in particolare con la sabbia, subiva alterazioni.



Figura 1.14 – Clessidra (a sabbia) e particolare dello svuotamento del contenitore superiore.

Il primo orologio meccanico fu realizzato tra il 1270 e il 1280 sul modello dello *svegliatore monastico* (figura 1.15). Questo era lo strumento con cui i frati dividevano le loro giornate: in pratica una sorta di campana che suonava automaticamente e ad ore prestabilite⁴⁵, ovvero le sette ore canoniche, senza però dare indicazioni di orario.

Negli anni appena precedenti al 1300 si misero in pratica vari tentativi per creare degli orologi meccanici. Per rendere più regolare la vita delle comunità, dopo l'anno mille, si cominciarono a realizzare grandi apparati orologiari sulle torri campanarie. I primi a dotarsene furono, tra il 1250 e il 1300, le principali chiese di Francia, Inghilterra e Italia⁴⁶ (figura 1.16). I prototipi erano in grado di scandire solo le ore, per misurare gli intervalli di tempo più brevi la gente si serviva di metodi alternativi, come può essere il tempo necessario per recitare un certo numero di preghiere; non ci stupirà che nel 1300 nelle ricette per cucinare un uovo si consigliava di bollirlo per il tempo necessario a recitare un miserere [1, 7, 14].



Figura 1.15 – Svegliarino (o svegliatore) monastico, riproduzione di orologio del secolo XV con bilancere circolare (Realizzazione in metallo di Pieraugusto Grisoli – 1992, Pozzaglio - Cremona, Collezione privata).



Figura 1.16 – La basilica di Sant'Eustorgio di Milano è stata la prima a dotarsi di orologio pubblico (1306).

Un passo importante nella misurazione del tempo venne compiuto grazie a Galileo Galilei il quale, nel 1583, scoprì la legge fondamentale del pendolo. Si racconta che Galileo, nella cattedrale di Pisa, misurando con il battito del suo polso il periodo di oscillazione di una lampada, riuscì a scoprire detta legge, secondo la quale, per piccole oscillazioni, il periodo è indipendente dall'ampiezza delle oscillazioni stesse⁴⁷, ma dipende dalla lunghezza del pendolo.

Non fu però Galileo ad applicare il pendolo agli orologi (anche se l'idea è da attribuire a lui) ma Christian Huygens⁴⁸ che nel 1673 realizzò il primo orologio a pendolo con una incertezza sulla misura del tempo inferiore a 10 secondi al giorno.

In quel tempo era ben comprovato teoricamente e sperimentalmente che un pendolo (approssimabile al pendolo semplice) lungo circa un metro (lo ritroveremo in seguito) compie un'oscillazione fra i due punti estremi (semiperiodo) in un secondo. Numerose furono le proposte affinché l'unità di misura della lunghezza venisse presa proprio dal pendolo-secondo, ma l'Accademia delle Scienze francese, in piena rivoluzione, scelse un altro criterio per definire il metro. Esso venne definito come la decimilionesima parte del quarto di meridiano terrestre, in particolare quello dal Polo Boreale all'Equatore passante per Parigi. L'esclusione della proposta di legare il metro al secondo, probabilmente, fu dovuta al fatto che si stavano cercando delle unità di misura che fossero indipendenti una dall'altra e che fossero prese dalla natura, ma ciò creò molti conflitti con la Gran Bretagna e l'America che la considerarono un'imposizione francese.

1.3 Aspetto sociale delle misure, il loro rapporto con gli uomini.

L'importanza delle unità di misura è oggi un concetto assodato, che però ha molto faticato a imporsi nel corso della storia; anche perché alle misure e alle unità si legavano i rapporti sociali.

Secondo lo storico ebreo Giuseppe Flavio⁴⁹ (I secolo d. C.) l'origine delle misure risale a Caino che sarebbe stato il primo topografo e urbanista della storia. A Caino, fra le varie colpe, si attribuisce anche quella di *aver messo fine alla pace in cui l'uomo aveva vissuto fino ad allora inventando i pesi e le misure* [13]. *Le misure sono una conseguenza del peccato originale dell'uomo, una invenzione umana destinata a un mondo estraneo al Paradiso, dove regnano miseria e sospetto e dove il lavoro e il commercio sono attività necessarie per sopravvivere. Le misure sono qualcosa di più che una creazione della società: concorrono a creare la società stessa. Infatti, proprio perché esse sono il risultato di anni di confronto e discussione sul modo corretto di regolare il commercio, il loro uso continuativo rafforza i nostri vincoli sociali e definisce la nostra etica commerciale* [4, pag. 512-513].

Dalla Bibbia sappiamo che l'idea di censire il popolo di Dio fu suggerita al re David dal diavolo (Samuele2 24,1) quindi non solo misurare ma anche contare era ritenuto per molti peccato. Ma gli esempi negativi non si fermano a Caino e David: misurare in alcune civiltà era addirittura considerato nocivo per la salute⁵⁰. Tuttavia se era diffusa l'idea che il misurare fosse nocivo per la salute, in casi particolari l'operazione poteva invece esserle di giovamento⁵¹. Questa ambiguità nel rapporto dell'uomo con le misure è legata all'ambivalenza con cui la loro nascita e il loro utilizzo è trattato nelle varie fonti: se per la tradizione biblica le misure sono un male⁵² poiché nascono da Caino, in altre culture esse nascono da figure positive⁵³.

Se osserviamo più da vicino il folklore contadino possiamo renderci conto di come le classi più povere si trovino sempre a dover fare i conti con personalità più potenti che, manipolando le misure, cercano di ingannarle. Contro questi comportamenti, i contadini, non avendo nella maggioranza dei casi tribunali ai quali appellarsi, mettevano i frodatori nelle mani del diavolo stesso. Tra le figure poste nelle mani del diavolo vi erano, ad esempio, i mugnai. Le contese nascevano poiché i mugnai prelevavano il così detto misurino, ovvero levavano dalla farina una parte per donarla al signore che gli aveva concesso il mulino. Ovviamente il mugnaio non si limitava a prendere questa parte ma prelevava anche un guadagno per se stesso, aumentando la capacità del misurino. Essendo i mugnai persone potenti, e per lo più supportate dai signori, ai contadini non restava altro che sognare giustizia mettendoli nelle mani del diavolo.

Un'altra figura che i contadini guardavano con diffidenza era quella del geometra. Esso poteva misurare con l'inganno ma anche quando misurava correttamente non portava comunque nulla di buono. Ad esempio se dimostrava, anche correttamente, che il contadino aveva un terreno più grande di quanto si pensasse questo o perdeva una parte di terra o vedeva aumentare i suoi obblighi feudali. In realtà la legge puniva la frode sulle misure ricorrendo per lo più a pene materiali, all'espulsione dalla città (per i recidivi) ma anche, in qualche caso estremo, a punizioni corporali. La lista delle categorie professionali accusabili di frode nelle misure potrebbe estendersi ancora a lungo⁵⁴, ma ciò che conta veramente è comprendere che anche nei tempi antichi la misura non era una convenzione, aveva un rapporto molto stretto con l'uomo in quanto era legata alle cose per lui vitali: la terra, il cibo ecc., e non poteva in alcun modo essere trattata con superficialità.

Fin ora è stato messo in evidenza il rapporto che le classi più disagiate avevano con le misure, ma c'è anche un altro aspetto fondamentale che ci permette di comprendere la straordinaria importanza del sistema di misura: il suo rapporto con il Potere⁵⁵.

Avere il diritto di stabilire le unità di misura era uno dei tanti privilegi del Potere e questo fu, nella storia, causa di molte tensioni sociali e di rivalità fra stati. È facile immaginarsi il caos che si produsse in una società così particolareggiata come quella feudale, dove ognuno (Re, signore, Chiesa) era sovrano nel suo ambito e quindi aveva il diritto di usare delle proprie unità di misura. La stessa situazione di rivalità e di caos si produsse anche nelle città più importanti: l'aspetto metrologico era un privilegio e in quanto tale ogni città aveva ragione di difenderlo, anche perché possedere un proprio sistema di misura era, per una città, un simbolo visibile della propria potenza. In conseguenza di ciò ogni città conquistata era costretta ad accettare il sistema in vigore nella città vincitrice⁵⁶.

Se le misure erano così importanti si capisce che bisognava sempre tenerle sotto controllo, nel senso che si doveva sempre essere consapevoli a quanto corrispondeva fisicamente quella determinata unità di misura, ecco perché si ricorreva ai *campioni*. Essi dovevano costituire un riferimento immutabile per la verifica e la taratura degli strumenti di misura. Ciò poneva un ulteriore problema: chi doveva controllare i campioni e come.

Le autorità incaricate di verificare l'esattezza dei campioni dovevano inoltre scontrarsi sia con la loro naturale deperibilità, sia con le modifiche imposte intenzionalmente da coloro che da quella determinata unità avevano qualcosa da guadagnare. Nel tempo si escogitarono vari modi per dare qualche garanzia di immutabilità dei campioni; innanzi tutto ci si affidò al controllo sociale che poneva come punto principale la notorietà dei campioni; l'intera comunità doveva conoscerli e aveva il diritto di poterne disporre a proprio piacimento, per questo essi venivano esposti nei luoghi pubblici, come piazze, municipi ecc. (figure 1.17 e 1.18), ben tutelati da furti e manomissioni. La tutela dei campioni fu un compito piuttosto arduo: ci si provò fissandoli alle pareti dei municipi o realizzandoli con materiali preziosi e decorandoli⁵⁷ in modo che non fosse facile falsificarli [11].



Figura 1.17 – Confronto fra vecchi e nuovi campioni metrici: il doppio braccio toscano (circa 1,24 m) e il metro. Pistoia portico del Palazzo degli Anziani (sede del Comune). Da [108].

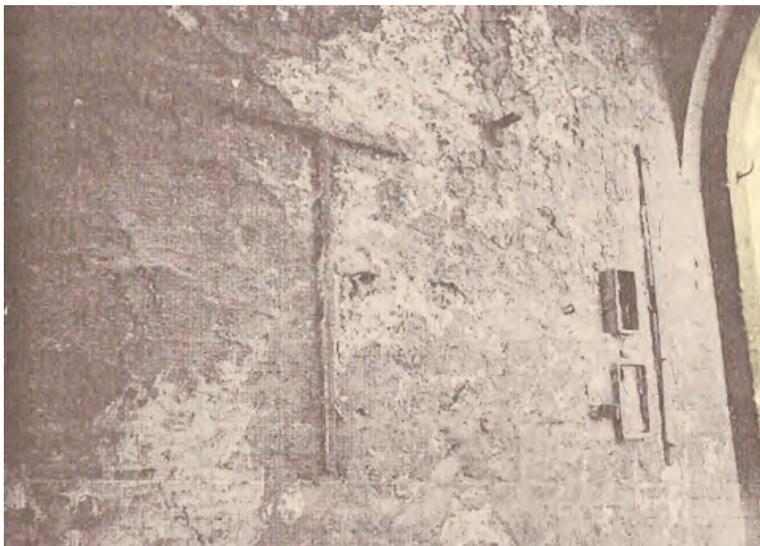


Figura 1.18 – Questi campioni metrici, anteriori alla Rivoluzione francese, provengono da Laon (Piccardia, Nord della Francia); tuttora mortasati nel muro sottostante la volta del municipio, sono tra le ultime unità di misura dell'*Ancien Régime* ancora *in situ*. Da sinistra a destra: la «T» misurava la dimensione dei barili, i rettangoli sono matrici per la misurazione dei mattoni (sopra) e delle tegole (sotto) e, la «I» è una *guna*⁵⁸ (circa 1,19 m), unità di misura dei tessuti. (da [4] pag. 199).

Nonostante tutti questi accorgimenti, la parte più forte riusciva comunque a disporre dei campioni a proprio piacimento. La corretta conservazione dei campioni era fondamentale anche poiché le misure che appartenevano alla popolazione erano continuamente soggette a modificazioni, ecco perché il compito della tutela doveva essere affidato alle istituzioni più importanti. In un primo momento fu l'autorità religiosa a prendersene cura, conservandoli nei vari luoghi di culto, con la nascita dello Stato moderno furono invece le autorità pubbliche ad occuparsi della conservazione dei campioni. Ai tempi d'oggi benché i sistemi di sicurezza siano progrediti moltissimo, il concetto stesso di campione fisico, da conservarsi in una teca, è stato superato. L'odierna metrologia cerca di legare le unità di misura non più a campioni presi dalla natura nella quale vive l'uomo, concetto caro ai metrologi francesi del XVIII secolo, ma a grandezze fisiche spazio-temporali indipendenti come le frequenze elettromagnetiche emesse dagli atomi.

1.4 Altre culture.

In questo ultimo paragrafo vogliamo dare dei brevi cenni su alcune civiltà, non citate in altre parti del volume, che pur avendo elaborato un proprio sistema metrologico, coerente e funzionale, non hanno contribuito al processo di unificazione con i sistemi di misura adottati dagli altri popoli con i quali, in qualche modo, si rapportavano.

1.4.1 Il Vicino Oriente.*

Le misure di lunghezza furono standardizzate poiché venivano dalla natura e nella maggior parte dei casi, come abbiamo visto altrove, erano antropomorfe ed espresse, nei testi di matematica paleobabilonese, in termini sessagesimali o come multipli della pertica-nindan⁵⁹.

Il sistema dei pesi, prima di Ciro⁶⁰ il Grande (VI secolo a. C.), può essere considerato uno standard babilonese, sessagesimale, basato sulla dracma (4,09 g), con i suoi multipli: siclo (= 2 dracme), mina (= 60 sicli), talento (= 60 mine).

Circostanze locali, insieme alla difficoltà di mantenere uno standard uniforme, portarono ad alcune modifiche in certe aree e periodi. A Ugarit, ad esempio, si utilizzò per le transazioni una mina equivalente a 50 sicli. In linea di massima fu l'unità base a subire mutamenti, più raramente il sistema di multipli.

Dario⁶¹ (VI-V secolo a.C.) dotò il suo impero di un sistema monetario e ponderale unificato, nel quale corresse le diminuzioni e gli incrementi di peso arbitrari dei periodi assiro e neobabilonese. Alcuni elementi sembrano indicare che prima di tale riforma il sistema ponderale proprio dei Persiani fosse su base decimale piuttosto che sessagesimale. Nel sistema achemenide riformato una nuova unità, esclusivamente persiana, entrò nell'uso comune accanto a quelle babilonesi. Tutte queste misure, espresse da pesi in pietra di forma piramidale, erano unità standard che l'amministrazione persiana considerava obbligatorie non solo per la Persia, ma anche per le satrapie⁶², almeno per quanto riguardava il pagamento delle tasse reali; tuttavia, in Egitto, Babilonia e altri Paesi furono conservati anche i sistemi di misura locali.

* Il paragrafo, anche con piccole modifiche all'interno del testo, è stato elaborato da un lavoro di Liliana Camarda pubblicato in [6]; i corsivi sono degli Autori del Capitolo.

1.4.2 Il Mondo islamico.*

I pesi e le misure in uso nel mondo islamico presentavano una notevole varietà a causa della sopravvivenza, sia pure in diversa misura, dei sistemi diffusi in quel vastissimo territorio prima dell'espansione musulmana del VII e VIII secolo. Per lo studio dei pesi islamici si deve far ricorso ai dati forniti dalle fonti letterarie, all'analisi dei reperti archeologici (soprattutto dei pesi in vetro che servivano da campione) e alle informazioni contenute in fonti europee, quali le guide dei mercanti.

Anche qui le misure fondamentali di lunghezza erano definite in relazione alle diverse parti del corpo umano.

I nomi dei pesi e delle misure di capacità ne indicano l'origine: raṭl, il peso più corrente, è una forma aramaica dal greco litron; qintār (100 raṭl) nasce dal latino centenarius; qafīz è il nome persiano di una misura di capacità; il mudd corrispondeva in Iraq a circa 1,05 litri, in Siria a 3,67 litri, in Egitto a 2,51 litri. La diversità dei pesi e delle misure designati dallo stesso termine è un fenomeno comune a tutti i Paesi musulmani. Quasi ogni distretto aveva il suo sistema e, in alcuni Paesi, i pesi e le misure della capitale erano differenti da quelli delle campagne. Inoltre, pesi differenti erano usati, con lo stesso appellativo, per diverse derrate: ad esempio, in molte province la carne era pesata con un raṭl che non era lo stesso per le altre merci.

Nonostante le reciproche influenze, si nota comunque il persistere di una marcata differenza fra i sistemi ponderali dei Paesi arabi e di quelli persiani, eredità del passato

rispettivamente bizantino e sasanide⁶³. Ne risultò una doppia struttura dei sistemi metrologici che erano decimali e sessagesimali. In questo campo l'influenza delle usanze diffuse nell'Arabia preislamica fu quasi insignificante sui Paesi conquistati: le misure di capacità usate in Higiāz ai tempi del Profeta non si diffusero in altri Paesi, tranne il šā' equivalente a 4 mudd che si ritrova in Maghreb con valori variabili. Ma l'unità fondamentale di peso in uso a Baghdad fu largamente usata come campione durante il periodo abbaside⁶⁴ (VIII-XIII secolo). D'altra parte i sovrani musulmani non adottarono misure reali per la riscossione delle imposte e i pagamenti; solo alcuni crearono delle misure speciali, ma questo non costituì mai la regola. Nonostante questa diversità, i Musulmani tentarono di dare ai sistemi metrologici in uso, almeno una base teorica comune, adattata al sistema monetario dei califfi che fu considerato come canonico.

I dati attualmente disponibili sui pesi e le misure di capacità in uso nel Medioevo in Siria e in Egitto sono molto più abbondanti rispetto a quelli di cui si dispone per altri Paesi islamici.

* Il paragrafo, anche con piccole modifiche all'interno del testo, è stato elaborato da un lavoro di Maria Giovanna Stasolla pubblicato in [6].

1.4.3 Il Subcontinente indiano.*

Nel Subcontinente indiano le prime testimonianze dell'esistenza di pesi e misure, indicanti un meccanismo commerciale e di regolazione dello scambio, provengono dalla civiltà dell'Indo (2600 – 1900 a.C. circa). I manufatti, di calcedonio, scisto, steatite, pietre semipreziose, rame, terracotta, includono vari pesi campione di diverse dimensioni, oltre ad accessori quali piatti da bilancia, bilance, recipienti per misurazioni, strumenti graduati per misurazioni lineari. La mancata decifrazione del sistema di scrittura della valle dell'Indo ci priva di informazioni più precise sull'organizzazione del commercio e sulla sua eventuale dipendenza da una qualche forma di controllo statale.

I pesi campione rinvenuti differiscono per forma (prevalentemente cubica), misura e materiale da quelli trovati in Asia occidentale (prevalentemente a forma di barile). Il ritrovamento di pesi dell'una e dell'altra forme nelle due aree fa supporre che i mercanti del luogo utilizzassero lo standard harappano (dalla città Harappa, Pakistan nord-orientale) per le transazioni interne e uno standard aggiuntivo, simile a quello assiro, per il commercio internazionale. Questo sistema ponderale, seguito in tutto il territorio della valle dell'Indo e nelle sue aree d'influenza, per circa settecento anni non subì mutamenti.

Manufatti in pietra, di forma e peso corrispondenti agli esemplari harappani, sono stati ritrovati nell'isola di Bahrain, correlati a sigilli dello stile proprio del Golfo Persico. Questo farebbe pensare che i mercanti del Golfo Persico e della valle dell'Indo fossero associati in un sistema commerciale che serviva da un lato la Mesopotamia e dall'altro il Subcontinente.

Strumenti graduati per misurazioni lineari, provenienti da varie località, sembrano seguire un sistema decimale. Oltre al pollice e al piede, altra unità di misura lineare impiegata era il cubito, come si evince da una bacchetta di bronzo rinvenuta ad Harappa. Per quanto concerne le misure di capacità, il sistema adottato in epoca harappana resta ancora sconosciuto.

Di epoca storica sono anche oggetti sferici in vari materiali, identificati come pesi che presentano piccoli incavi sulla superficie, forse marchi ufficiali del peso standard. L'incavo era riempito di piombo, la cui quantità variava a seconda che il peso dovesse essere ridotto o incrementato.

Leggi che regolano il commercio si trovano in diversi testi dove vengono indicati i ruoli dei funzionari statali che avevano il compito di sorvegliare commercio e industria. Tra questi compare un sovrintendente a pesi e misure, custode delle diverse unità correnti, il quale controllava che quelle usate corrispondessero al sistema vigente e riscuoteva una tassa per il loro utilizzo; rientrava inoltre nelle sue funzioni il rilascio delle licenze, obbligatorie per l'esercizio di qualunque attività di carattere commerciale. Da altri testi si apprende che in epoca Kushana⁶⁵ (I-III secolo circa) i pesi e le misure dovevano essere correttamente marcati ed esaminati ogni sei mesi e che le contraffazioni di bilance e strumenti di misura erano punite con multe severe.

Il peso campione dell'India antica era basato sul seme del guñja⁶⁶ e convenzionalmente stimato in circa 1,83 grani (0,118 g); numerose fonti indicano serie di pesi costituite da multipli e sottomultipli di questa unità, ma nel corso del tempo e nelle diverse regioni del Subcontinente gli standard variarono notevolmente, portando a serie non compatibili fra loro.

Altre fonti parlano di misure di capacità, misure di lunghezze e di misure di distanza, fra queste l'unità più comune nell'India antica era di 7,2 km, in altri testi è circa il doppio.

* Il paragrafo, anche con piccole modifiche all'interno del testo, è stato elaborato da un lavoro di Liliana Camarda pubblicato in [6]; i corsivi sono degli Autori del Capitolo.

1.4.4 L'America centro-meridionale.*

Le informazioni relative al periodo pre-Inca sono quelle più lacunose; i dati sui sistemi metrologici Inca sono invece relativamente più abbondanti, sebbene essi siano così poco organizzati da lasciar supporre che questa cultura non abbia elaborato specifiche categorie standardizzate.

I sistemi di calcolo mesoamericani impiegavano una base di 20 unità e varie quantità erano rappresentate da simboli pittografici: un punto stava per un'unità, una bandiera per 20, una piuma per 400 e una borsa per incenso per 8000. L'importanza del sistema numerico vigesimale è attestata dalle unità impiegate per misurare semi di cacao, la principale unità monetale mesoamericana. Per transazioni al dettaglio i semi di cacao venivano contati in multipli di 20, mentre per quantità maggiori esistevano termini per 400 (zontle), 8000 (xiquipil).

Gli antichi sistemi di misura mesoamericani sono scarsamente conosciuti. I beni erano calcolati per numero e per volume, non per peso, e nei siti archeologici non sono state identificate unità ponderali standardizzate. Molti dati sui tipi di misure provengono da fonti documentarie sul Messico centrale; essi sono però spesso oscuri, in quanto dopo la Conquista le nozioni e le unità di misura dei nativi vennero rapidamente confondendosi con quelle spagnole e i documenti riportano queste ibride misure coloniali.

L'unica unità ponderale comunemente usata era il tlamamalli (in spagnolo carga), il peso di un carico di solito trasportato da un portatore di professione, corrispondente a circa 23 kg. Gli spostamenti dei portatori, che recavano generalmente sia beni commerciali, sia tributi, fornivano anche due unità di distanza, il cennecehuilli e il cennetlalolli. *Il primo termine significa letteralmente intervallo, il secondo tragitto. Entrambe le parole si riferiscono alla distanza che giornalmente veniva percorsa, fra due punti di riposo, da mercanti e soldati. In termini di distanza la maggior parte degli studi indicano 5 leghe (valore medio di una lega⁶⁷ 5 km) [8].* Unità minori di lunghezza erano basate sul corpo

umano. Si conoscono le denominazioni di un gran numero di tali unità, che variavano da pochi centimetri a pochi metri e comprendevano dita, palmi, mani, avambracci, braccia, la lunghezza delle braccia distese e l'altezza. Molte unità di lunghezza, come altre unità di misura, erano riservate ad ambiti specifici ad esempio per misurare l'estensione dei campi agricoli.

Vari beni solidi erano conteggiati mediante le quantità di ampie ceste, che sembrano anch'esse, stando alle loro raffigurazioni, di dimensioni standardizzate; tra questi beni vi erano semi di cacao, coca, peperoncini essiccati, cotone grezzo e limone in polvere.

* Questa prima parte del paragrafo, anche con piccole modifiche all'interno del testo, è stata elaborata da un lavoro di Michael E. Smith pubblicato in [6]; i corsivi sono degli Autori del Capitolo.

Nel mondo andino erano conosciute la bilancia a piatto (aysana) e quella romana, ma i cronisti spagnoli forniscono scarse indicazioni in merito. Dalle evidenze archeologiche si è a conoscenza che le bilance erano di piccole dimensioni (mediamente potevano pesare fino a 230 g circa) e le fonti coloniali riportano che esse erano utilizzate essenzialmente per oro e argento. Gli esemplari noti sono di epoca tarda e risalgono al Periodo Intermedio Recente (1000 - 1450) e all'Orizzonte Recente (1450 - 1532). In merito al computo del tempo, in lingua Quechua esistono due espressioni per la bollitura della patata, che vennero utilizzate come equivalenti dell'ora: esse sono "alcune cuociono molto" (hok yanoy chika) e "alcune cuociono" (hokeyk'oy). Un'altra misura di tempo impiegata nel passato e a tutt'oggi in uso tra i portatori è la cocada o chacchada. Essa corrisponde al tempo necessario perché durante il cammino un portatore percepisca gli effetti della masticazione del bolo di coca. Questo tempo è variabile a seconda che si tratti di un percorso in salita, di un tratto pianeggiante o di una discesa e ha termine quando il portatore si siede per preparare un altro bolo.

Per contro le misure di tempo costituivano anche misure di lunghezza, intese come tempo necessario per percorrere a piedi una certa distanza.

L'età di un individuo era calcolata in cicli vitali e non esisteva un concetto che la esprimesse in anni: gli uomini erano misurati in base alla loro condizione fisica e alle loro capacità.

* Questa seconda parte paragrafo, anche con piccole modifiche all'interno del testo, è stata elaborata da un lavoro di Duccio Bonavia pubblicato in [6]; le parti in corsivo sono degli Autori del Capitolo.

1.5 Note.

¹ Euclide (323? a. C. – 285? a. C.) matematico greco che visse ad Alessandria, molto probabilmente, durante il regno di Tolomeo I (367 a.C. circa. – 283 a.C.). È considerato il più importante matematico della storia antica e uno dei maggiori di ogni tempo. Euclide è autore degli *Elementi* (in greco Στοιχεῖα Stoicheia) opera contenente quelli che erano all'epoca i fondamenti della matematica (aritmetica e geometria, dato che i greci ignoravano l'algebra) presentati in struttura assiomatica. Gli *Elementi*, pur non avendo un contenuto totalmente originale, costituiscono un'opera tra le più influenti per lo sviluppo del pensiero e della cultura occidentale (dopo la Bibbia è l'opera che ha avuto il maggior numero di edizioni). Gli *Elementi* sono costituiti da tredici libri: i primi sei riguardano la geometria piana, i successivi quattro i rapporti tra grandezze (in particolare il decimo riguarda la teoria degli incommensurabili) e gli ultimi tre la geometria solida. Nel libro V viene trattata la teoria dei rapporti e delle proporzioni: un rapporto indica la misura di una grandezza rispetto ad un'altra omogenea.

² Denis Diderot (Langres, 1713 – Parigi, 1784) filosofo, enciclopedista, scrittore e critico d'arte francese. È stato uno dei maggiori rappresentanti dell'Illuminismo francese, promotore ed editore della *Encyclopédie*, avvalendosi inizialmente dell'importante collaborazione di d'Alembert, che però alle prime difficoltà con la censura, nel 1759, si ritirerà dal progetto. Diderot porterà avanti il progetto quasi da solo sino all'uscita degli ultimi volumi nel 1772. Jean-Baptiste Le Rond d'Alembert (Parigi, 1717 – Parigi, 1783) matematico, enciclopedista, fisico, filosofo e astronomo francese, tra i più importanti protagonisti dell'Illuminismo. Dal 1746 al 1759 collaborò al progetto dell'*Encyclopédie*, in particolare si occupò delle parti riguardanti la matematica e le scienze e ne redasse il *Discorso preliminare* (1751), compendio dell'enciclopedismo illuministico.

³ Bertrand Russell (Trellec, 1872 – Penrhynedeudraeth, 1970), matematico, logico, filosofo gallese. Fu divulgatore della filosofia e autorevole esponente del movimento pacifista; l'impegno sociale e politico fu, insieme allo studio e all'insegnamento, costante per tutta la vita. La sua imponente produzione letteraria fu dedicata oltre che alla filosofia e alla logica, alla storia della cultura e dell'idee. Nel 1950 ottenne il premio Nobel per la letteratura. Tra i suoi lavori dedicati alla matematica è da ricordare *I principi della Matematica*, 1903, dove nel capitolo XXI *I numeri in quanto esprimenti grandezze: la misurazione*, Russell fornisce una definizione del concetto di misura che non confligge con l'operatività metrologica.

⁴ Friedrich Mohs (Gernrode, 1773 – Agordo, Belluno, 1839) mineralogista tedesco. Ideò empiricamente, nel 1812, la scala di durezza per la classificazione dei minerali, che porta il suo nome. La scala di Mohs, in riferimento a dieci minerali stabilisce livelli di durezza crescente da 1 a 10, in modo tale che ogni minerale identificato con uno di questi livelli scalfisce tutti i minerali di livello inferiore ed è scalfito da tutti quelli di livello superiore. La scala di Mohs fornisce un valore puramente indicativo della durezza, in quanto la differenza reale di durezza tra due minerali successivi può variare grandemente. Successivamente ogni intervallo della scala è stato suddiviso in dieci sotto-intervalli per poter comprendere altri materiali.

Minerali di riferimento nella scala di Mohs

Teneri (si scalfiscono con l'unghia)	
1	Talco
2	Gesso
Semiduri (si rigano con una punta di acciaio)	
3	Calcite
4	Fluorite
5	Apatite
Duri (non si rigano con una punta di acciaio)	
6	Ortoclasio
7	Quarzo
8	Topazio
9	Corindone
10	Diamante

Altre scale, ancora in uso, in cui non si rileva quantitativamente il fenomeno ma si ordina per classi qualitative, in relazione agli effetti sull'ambiente, sono:

- la scala per i venti di Francis Beaufort (Navan, 1774 – Hove, 1857), ammiraglio, cartografo ed esploratore britannico, direttore dell'Ufficio idrografico della Royal Navy.

- la scala per i terremoti di Giuseppe Mercalli (Milano, 1850 – Napoli, 1914): geologo, sismologo, vulcanologo.

Tipi di Vento classificati, con numeri da 0 a 12, secondo la scala di Beaufort

N.	Vento	Effetti sul mare {altezza onde in metri}	Effetti sulla terra
0	Calmo	Piatto {0}	Il fumo sale verticalmente.
1	Bava di vento	Leggere increspature {0,1} sulla superficie simili a squame di pesce. Ancora non si formano creste bianche di schiuma.	Movimento del vento visibile dal fumo.
2	Brezza leggera	Onde minute {0,2}, molto corte ma ben evidenziate. Le creste non si rompono ancora, ma hanno aspetto vitreo.	Il vento si sente sulla faccia. Le foglie frusciano.
3	Brezza tesa	Le creste delle onde {0,6} cominciano a rompersi. La schiuma ha aspetto vitreo, si notano <i>pecorelle</i> con cresta bianca.	Foglie e rami più piccoli in movimento costante.
4	Vento moderato	Onde {1} con tendenza ad allungarsi. Le <i>pecorelle</i> sono più frequenti.	Sollevamento di polveri e carte. I rami più piccoli sono agitati.
5	Vento teso	Onde moderate {2} dalla forma che si allunga. Le <i>pecorelle</i> sono abbondanti e c'è possibilità di spruzzi.	Oscillano gli arbusti con foglie. Si formano piccole onde nelle acque interne.
6	Vento fresco	Onde grosse {3} (cavalloni), creste imbiancate di schiuma. Gli spruzzi sono probabili.	Movimento di grossi rami. Difficoltà a usare l'ombrello.
7	Vento forte	I cavalloni si ingrossano {4}. La schiuma formata dal rompersi delle onde è <i>soffiata</i> in strisce nella direzione del vento	Interi alberi agitati. Difficoltà a camminare contro vento.
8	Burrasca	Onde alte {5,5}. Le creste si rompono e formano spruzzi vorticosi risucchiati dal vento.	Rametti strappati dagli alberi. Generalmente non è possibile camminare contro vento.
9	Burrasca forte	Onde alte {7}, le creste iniziano ad arrotolarsi. Le strisce di schiuma si fanno più dense.	Leggeri danni alle strutture (es. camini e tegole asportati).
10	Tempesta	Onde molto alte {9} sormontate da creste (marosi) molto lunghe. Le strisce di schiuma tendono a compattarsi e il mare ha un aspetto biancastro. I fragenti sono molto più intensi e la visibilità è ridotta.	Rara in terraferma. Sradicamento di alberi. Considerevoli danni strutturali.
11	Tempesta violenta	Onde enormi {11,5} che potrebbero anche nascondere alla vista navi di media stazza. Il mare è tutto coperto da banchi di schiuma. Il vento nebulizza la sommità delle creste e la visibilità è ridotta.	Rarissima in terraferma. Vasti danni strutturali.
12	Uragano	Onde altissime {>14}; aria piena di spruzzi e schiuma, mare completamente bianco.	Estremamente rara. Danni ingenti ed estesi alle strutture.

Grado di terremoto, classificazione da I a XII secondo la scala di Mercalli

Grado	Scossa	Descrizione
I	impercettibile	Avvertita solo dagli strumenti sismici.
II	molto leggera	Avvertita solo da qualche persona in opportune condizioni.
III	leggera	Avvertita da poche persone.
IV	moderata	Avvertita da molte persone; tremito di infissi e cristalli, e leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate; caduta di oggetti.
VI	forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	molto forte	Caduta di fumaiole, lesioni negli edifici.
VIII	rovinosa	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.
IX	distruttiva	Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.
X	completamente distruttiva	Rovina di molti edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo.
XI	catastrofica	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo; maremoto.
XII	apocalittica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto distruttivo; fuoriuscita di lava dal terreno.

Nel tempo le tre scale suindicate sono state sostituite da altre meno empiriche.

⁵ Manca in realtà l'ampere, unità di misura della corrente elettrica, che per il momento si è preferito tralasciare poiché conosciuta solo in tempi relativamente recenti.

⁶ Bisogna fare una distinzione tra massa e peso: la massa è una qualità intrinseca di un corpo, nel senso che indica la quantità di materia presente in un corpo, indipendentemente da dove questo si trovi. Il peso è una grandezza fisica che indica la forza con cui un corpo viene attratto da un altro (es. forza di gravità). Per spiegarlo con un esempio pratico la massa di un oggetto rimane la stessa sia sulla Terra che sulla Luna, mentre invece il suo peso diminuisce notevolmente se si trova sulla Luna, poiché la gravità lunare è molto inferiore a quella terrestre. Ad una distinzione tra queste due grandezze si è arrivati attorno al 1630-1640, tramite un'intuizione di G. B. Balliani, il quale ha introdotto il concetto pre-relativistico di massa. In realtà la definizione di massa, intesa come qualità intrinseca, ovvero che non subisce variazioni, è accettabile per la fisica classica ma non per la fisica relativistica. Infatti fu proprio Einstein, all'inizio del Novecento, a *relativizzare* la massa di un oggetto, legandola alla velocità con cui l'oggetto si muove. Possiamo dire che la massa definita da Balliani coincide con quella definita da Einstein quando gli oggetti sono fermi o viaggiano a una velocità molto inferiore a quella della luce (300 000 km s⁻¹)

⁷ La metrologia è la scienza della misura, dal greco μέτρον *métron*, metro (latino *metrum*) che indicavano il concetto di misura in generale e non nell'unica accezione di misura di lunghezza.

⁸ Il termine sistema implica due cose fondamentali: la prima è che si prendano in considerazione tutti gli elementi che sono connessi con la misurazione (strumenti, procedimenti di calcolo, metodi ecc.), la seconda che questi elementi siano coerenti tra loro in modo da formare appunto un sistema.

⁹ In molte culture e in particolare nella religione egizia e in quella cristiana, la bilancia è lo strumento con il quale si valutano le azioni dell'uomo per comprendere se esso è destinato al regno dei cieli o alla dannazione.

¹⁰ Protagora (Abdera, 486 a.C. – Mar Ionio, 411 a.C.) retore e filosofo greco, padre della sofistica. La filosofia di Protagora è riassumibile in una sua famosa asserzione: *L'uomo è la misura di tutte le cose, di quelle che sono in quanto sono e di quelle che non sono in quanto non sono* (Protagora, frammento 1, in Platone, *Teeteto*, 152a)

¹¹ *L'Uomo vitruviano* è un disegno a matita e inchiostro su carta di Leonardo da Vinci, realizzato intorno al 1490; attualmente conservato nel Gabinetto dei Disegni e delle Stampe delle Gallerie dell'Accademia di Venezia. Il disegno mostra le proporzioni geometriche del corpo umano ed è accompagnato da due testi esplicativi, nella parte superiore ed a piè di pagina, ispirati ad un passo del *De architectura*, dell'architetto e scrittore romano Marco Vitruvio Pollione (80 a.C. circa – 15 a.C. circa).

¹² Leonardo da Vinci (Vinci, Firenze, 1452 – Amboise, Francia, 1519) pittore, architetto, disegnatore, trattatista, scenografo, anatomista, musicista, inventore. È l'uomo che forse più di ogni altro rappresenta l'archetipo del genio rinascimentale e anticipa il concetto moderno di artista. Leonardo si occupò anche di temi scientifici partendo da un'esigenza artistica con cui costantemente i suoi studi si intrecciavano. La sua attività scientifica risultò però isolata sia perché condotta al di fuori del mondo accademico e dei percorsi teorici della scienza contemporanea, sia perché le sue osservazioni, per quanto geniali, non furono da lui coordinate in organici sistemi scientifici; inoltre i suoi studi rimasero ignoti ai contemporanei e agli studiosi di molti secoli successivi. I suoi disegni di anatomia umana rappresentano il primo materiale iconografico scientificamente elaborato e furono i primi tentativi di staccare l'anatomia umana dalle concezioni allora predominanti. In anatomia artistica Leonardo, pur seguendo i canoni di Vitruvio e di Varrone, enunciò alcuni principi antropometrici; ad esempio egli faceva corrispondere la lunghezza del piede a 1/7 di quella dell'intero corpo (piede leonardesco), anziché 1/6, come aveva codificato Vitruvio.

¹³ Non è a tutti noto che il metro è nato come la decimilionesima parte del quarto di meridiano terrestre che passa da Parigi e va dall'Equatore al Polo Boreale, definizione oggi abbandonata.

¹⁴ Archimede (Siracusa, 287 a.C. – Siracusa, 212 a.C.) matematico, ingegnere, fisico e inventore greco. Viene considerato il padre della fisica-matematica per i due trattati *Sull'equilibrio dei piani* e *Sui galleggianti* (dove è formulato il principio della spinta idrostatica, noto come principio di Archimede). L'opera di Archimede rappresenta l'apice della scienza antica; in essa, la capacità di individuare insiemi di postulati utili a costruire nuove teorie si associa con gli originali strumenti matematici introdotti: l'interesse per questioni teoriche si univa all'attenzione agli aspetti applicativi.

¹⁵ Galileo Galilei (Pisa, 1564 – Arcetri, Firenze, 1642) fisico, filosofo, astronomo e matematico, è considerato il padre della scienza moderna. Il suo nome è associato ad importanti contributi in dinamica e in astronomia, fra cui il perfezionamento del telescopio, che gli permise importanti osservazioni astronomiche. Ma il maggior contributo dato alle scienze è la codificazione di un metodo di analisi dei fenomeni fisici che pone le basi di quello che diverrà il metodo scientifico sperimentale (detto anche metodo galileiano). Il metodo scientifico è la modalità tipica con cui la scienza procede per raggiungere una conoscenza della realtà oggettiva, affidabile, verificabile e condivisibile. Esso ha tre fasi principali: *la prima consiste nell'osservare i fatti significativi; la seconda, nel giungere a una ipotesi, che, se vera, deve spiegare questi fatti; la terza, nel dedurre da questi ipotesi delle conseguenze che si possono sottoporre all'osservazione* [15, pag. 50]. Nel dibattito epistemologico si assiste in proposito alla contrapposizione tra i sostenitori del metodo induttivo e quelli del metodo deduttivo.

¹⁶ È curioso che i greci attribuissero l'origine della geometria (misura della Terra) agli egizi i quali dovettero farne uso per misurare le variazioni dei terreni dovute alle inondazioni del Nilo [3].

¹⁷ Claudio Tolomeo (Pelusio, Egitto, 100 circa – 175 circa) astrologo, astronomo e geografo greco di epoca imperiale e cultura ellenistica; visse e lavorò ad Alessandria d'Egitto. È considerato uno dei padri della geografia, fu autore di importanti opere scientifiche, la principale delle quali è il trattato astronomico tradizionalmente noto col nome medievale *Almagesto* (dal titolo della versione araba *al-Magisṭī*, il Grandissimo; il titolo originale in greco era Μαθηματικὴ σύνταξις *Mathematikè syntaxis*, ovvero Trattato Matematico). È l'opera che per oltre 1000 anni, ovvero fino a Copernico, costituì la base delle conoscenze astronomiche nel mondo islamico e in Europa. In essa Tolomeo espone la visione geocentrica dell'universo e fornisce gli strumenti di calcolo necessari per le osservazioni celesti.

¹⁸ Eratostene (Cirene, 275 a.C. circa – Alessandria d'Egitto, 195 a.C. circa) matematico, astronomo, geografo e poeta greco. Terzo bibliotecario della Biblioteca di Alessandria, è ricordato, in particolare, per aver misurato per primo con grande precisione il meridiano terrestre. La misura da lui stabilita per la lunghezza del meridiano, 252 000 stadi (pari 39 690 000 m) risulta molto simile a quella stabilita in tempi recenti: 40 000 000 di metri.

¹⁹ Gaio Giulio Cesare Ottaviano Augusto (Roma, 63 a.C. – Nola, 14 d.C.), primo imperatore romano. L'età di Augusto rappresenta il passaggio dalla repubblica al principato, caratterizzato da una diversa sfera economica, militare, amministrativa, giuridica e culturale. Il Senato gli conferì il titolo di *Augustus* nel 27 a.C. Da quel momento il suo nome ufficiale diviene *Imperator Caesar Divi filius Augustus*.

²⁰ Gaio Giulio Cesare (Roma 101, o 100, a.C. – Roma, 44 a.C.) politico, generale e scrittore romano. Fu *dictator* di Roma alla fine del 49 a.C., nel 47 a.C., nel 46 a.C. con carica decennale e dal 44 a.C. come dittatore perpetuo.

²¹ La carta del mondo, una grande sfera di marmo intarsiato, fu esposta al pubblico anni dopo la morte di Marco Vipsanio Agrippa (Arpino, Frosinone, 63 a.C. – Roma, 12 a.C.). Essa, fondata su un suo scritto geografico (andato perduto ma usato da Plinio e da Strabone) era soprattutto un esempio di cartografia romana, conosciuta come *itinerarium*, che veniva creata principalmente per dare le distanze lungo le strade e le rotte [12].

Agrippa fu generale e politico romano, amico e collaboratore di Augusto, artefice di molte vittorie militari del futuro imperatore, in particolare di quella di Azio (31 a.C.) che decise le sorti della guerra civile contro Marco Antonio. Come *edile* restaurò acquedotti e la Cloaca massima e realizzò il primo Pantheon, successivamente ricostruito dall'imperatore Adriano (III secolo d.C.).

²² Enrico I (West Riding of Yorkshire, 1068 circa – Lyons-la-Forêt, 1135), Re d'Inghilterra, figlio di Guglielmo il Conquistatore; fu detto *Beauclerk* o *Beauclerc* (il chierico) per i propri interessi culturali. Sovrano di Inghilterra dal 1100 al 1135, fu autore di una politica interna equilibrata, riuscendo a comporre il dissenso con il clero sulle investiture ecclesiastiche e a contrastare il potere dei baroni. Favorì lo sviluppo delle città e il costituirsi delle gilde di commercianti; curò anche l'organizzazione amministrativa e finanziaria dello Stato.

²³ Il fen è un chicco di miglio nero di medie dimensioni. Il miglio è una pianta erbacea annuale che rientra nel raggruppamento dei cereali minori. La pianta ha una spiccata resistenza alla siccità e non mostra particolari esigenze pedologiche, perciò si presta per la coltivazione in aree aride o semidesertiche e su suoli poveri. Il frutto è una cariosside ellittica, lucida, di colore bianco oppure variabile dal grigio al bruno al nero. Il peso di 1000 cariossidi è di 5-7 grammi.

²⁴ È l'analogo delle distanze espresse in ore di cammino (ancora molto usate nelle guide per escursionisti), o, come si fa comunemente, per indicare una distanza fra due punti in città si dice, per esempio, 20 minuti a piedi, 10 in macchina, se non trovi traffico, trascurando bellamente, in tutti i casi, il concetto di velocità.

²⁵ Il nome ara deriva dal francese are e questo dal latino area (aia, campo), da cui arare, aratro, aratura, ecc.

²⁶ Estratto dall'articolo 5 della legge del 18 Germinale anno III (ovvero 7 aprile 1795).

²⁷ Giovanni Battista Baliani (Genova, 1582 – Genova, 1666), fisico. Dopo studi filosofici e letterari si dedicò alla metodologia sperimentale in particolare all'equilibrio meccanico delle masse e al moto naturalmente accelerato. Dal 1613 ebbe rapporti epistolari con Galileo Galilei e si incontrarono a Firenze nel 1615. Oltre la meccanica studiò la dinamica dei liquidi. Si veda anche la nota 6.

²⁸ In questo caso per *misura* si intende un campione di misura di capacità. Spesso i contenitori utilizzati per misurare le granaglie prendevano il nome di misure. Ancora oggi si chiamano misurini i piccoli recipienti usati, per misure di liquidi e di aridi (granaglie, sementi, legumi ecc.), in cucina o in erboristeria.

²⁹ Ancora oggi si usa dire *avere due pesi e due misure*.

³⁰ Ovvero dall'altezza della spalla, quindi dall'alto, mentre per loro era giusto versare *dalla mano* quindi dalla mano abbassata [11].

³¹ Fino agli anni '60, quando ancora esistevano le stufe a carbone e a legna, siccome questi combustibili venivano venduti a peso era possibile che qualche commerciante disinvolto li bagnasse abbondantemente.

³² Agostino d'Ippona (Tagaste, odierna Souk Ahras, Algeria 354 – Ippona, odierna Annaba Algeria, 430) Vescovo e Dottore della Chiesa. La citazione è tratta dalle *Confessioni*.

³³ Calendario dal latino *calendarium*, derivato da *calendae*; in origine *libro di credito, di scadenze*, (si veda anche nota 38) perché gli interessi maturavano il primo del mese. Le *calende* (dal latino *calendae* di origine incerta, forse legato con il termine latino *calare*, a sua volata del greco *καλέω, kalein*, chiamare, convocare) rappresentavano nella notazione romana (notazione che soltanto nel medioevo prenderà, proprio da *calende*, il nome di calendario), il primo giorno del mese, sacro a Giunone. I greci non avevano le *calende* da ciò l'espressione, che Svetonio attribuisce ad Augusto, *Ad graecas calendas soluturos* (pagheremo alle *calende greche*) per indicare coloro che non volevano pagare il loro debito, da cui proviene il nostro *rimandare alle calende greche*.

³⁴ Orologio dal greco *ὠρολόγιον, orologion*: (strumento) che parla delle ore. Per la mitologia greca le Ore, che governano il tempo sono figlie di Zeus e Temi (la giustizia) sorelle delle Moire (i destini). Le Ore sono Eunomia (disciplina), Diche (giustizia) e Irene (pace). Sono però chiamate anche Tallo (lo spuntare), Auxo (il crescere) e Carpo (il fruttificare). Dalla duplice nomenclatura si capisce che le Ore hanno una duplice funzione: divinità dell'ordine che assicura il regolare e giornaliero mantenimento della società, e divinità che presiedono al ciclo della vegetazione. In entrambi i casi governano il tempo che scorre e si ripropone, ovvero il tempo del giorno e delle stagioni [10].

³⁵ Cronometro dal greco *χρόνος chrónos*, tempo e *μέτρον métron* misura: (strumento) che misura il tempo. Per la mitologia greca il tempo è personificato da Crono che è figlio di Urano e

di Gaia (la Terra) ed è padre di Zeus. Sembra che la personificazione di Crono, con il tempo che lega gli eventi, sia dovuta al gioco di parole fra: Κρόνος (Crono) e χρόνος (tempo) [10].

³⁶ Per la sua durata di 28 giorni venne associato al ciclo della donna creando un rapporto molto suggestivo tra la donna e la Luna.

³⁷ La concezione ciclica del tempo cronologico è attestata dal più antico simbolo che rappresenta il tempo: l'*Uroborus*, un serpente che si morde la coda, testimoniato già dal 10 000 a. C. L'etimo è incerto fra il greco coda (ουροβόρος) e Re Serpente (ouro come Re, ob come serpente)

³⁸ Calendario Romano dal latino *calendarium* (vedi nota 33), libro che conteneva le notizie astronomiche, agrarie e religiose di ciascun mese e indicava il numero dei giorni di ciascun mese, la lunghezza del dì e della notte.

³⁹ Gaio Giulio Fedro (20 a.C. circa – 51 d.C. circa.) è stato uno scrittore romano, autore di celebri favole. Fedro personifica il Tempo, cronologico, come un uomo, in corsa alata, nudo, calvo, ma con un ciuffo in fronte. *Se sei riuscito a afferrarlo, ne sei padrone; una volta che ti sia sfuggito, neppure Giove riuscirebbe a riacchiapparlo*; ciò a sottintendere che per ogni cosa il momento opportuno è breve. Gli antichi rappresentavano così il Tempo, perché il pigro indugio non impedisse la realizzazione dei progetti.

⁴⁰ I pontefici erano, nella Roma arcaica, una sorta di esperti di tutto il complesso delle cose sacre, più che sacerdoti (come poi saranno in epoca successiva), il cui compito principale era quello di indicare e suggerire, alle autorità e anche ai privati, il modo più opportuno per adempiere agli obblighi religiosi affinché fosse salvaguardata la *pax deorum*. Una responsabilità di tanto rilievo conferiva ai pontefici altissima autorità e immenso prestigio all'interno della comunità. Poiché nella fase primitiva l'organizzazione giuridica era permeata di ispirazione religiosa, al punto da creare una quasi totale mescolanza tra i due ambiti, i pontefici avevano il pieno controllo del culto pubblico e privato e di conseguenza, tramite questo, anche il controllo dell'intera vita pubblica.

⁴¹ È emblematico il caso di Verre che per favorire l'ascesa a sommo sacerdote di un suo amico non esitò a levare un mese e mezzo dal calendario, di modo che quando l'altro candidato tornò da un viaggio l'elezione era già stata fatta a favore del favorito di Verre [9].

⁴² In realtà Sosigene era a conoscenza dei calcoli fatti da Ipparco, il più grande astronomo dell'antichità. Esso aveva attribuito all'anno solare una durata di 365 giorni, 5 ore e 55 minuti, ovvero solo 6 minuti in più della sua durata reale che oggi conosciamo. Si tratta di qualcosa di sorprendente data l'assenza di strumenti di misura [9].

⁴³ Gnomone è il palo che illuminato in funzione della posizione del Sole cambia la lunghezza e la posizione della propria ombra proiettata su un piano. Dal nome Gnomone (dal greco γνώμων, *gnomon*, = che conosce) deriva la scienza gnomonica che si occupa di elaborare teorie e tecniche sulla divisione dell'arco diurno, mediante l'uso di proiezioni su diverse superfici.

⁴⁴ La clessidra (dal greco κλεψύδρα *klepsydra* ladra d'acqua) mostra anche un diverso modo di intendere il tempo non come esatto momento in cui un'azione si verifica ma come durata di tempo fra due eventi, in altre parole essa è la prima forma di cronometro.

⁴⁵ Non a caso il termine inglese *clock*, il francese *cloche* e il tedesco *glocke* derivano tutti dal latino medievale *clocca* = campana, in quanto nel Medioevo erano proprio le campane a scandire il ritmo delle giornate, anche se lo facevano solo in base alle ore canoniche.

⁴⁶ A Torino nel *Liber Consiliorum* del 1346 è riprodotta l'immagine di una torre sulla cui sommità è presente una campana che scandisce i vari momenti della giornata, a Bologna le cronache dicono che il primo orologio della città iniziò a battere dal 1356.

⁴⁷ Per piccole oscillazioni si intendono quelle inferiori a 4°, ma a stretto rigore si può prescindere dall'angolo solo se il filo è inestensibile, privo di massa e se la massa applicata è puntiforme, condizioni irrealizzabili nella pratica (pendolo semplice).

⁴⁸ Christian Huygens (L'Aia, 1629 – L'Aia, 1695) matematico, fisico e astronomo olandese. Si dedicò allo studio degli orologi poiché per le sue misurazioni astronomiche aveva necessità di misurare il tempo con estrema precisione. Gli orologi costruiti da Huygens furono i primi ad avere la lancetta dei minuti e dei secondi.

⁴⁹ Giuseppe Flavio (Gerusalemme, 37 circa – Roma, 100 circa) scrittore, storico, politico e militare romano di origine ebraica; scrisse le sue opere in greco.

⁵⁰ Per comprendere la visione negativa legata alle misure basterebbe prendere un paio di casi abbastanza curiosi: in Boemia misurare un bambino sotto i sei anni, anche solo per fargli un vestito, avrebbe comportato la fine della sua crescita. In Macedonia i contadini avevano paura di mangiare ciò che era stato contato, più in generale era diffusa la credenza che i raccolti sarebbero stati migliori se nessuno avesse misurato la terra. Ci furono popoli che evitavano di contare anche per attività in cui ciò era fondamentale come preparare una medicina, infatti si chiedeva che le dosi venissero valutate a occhio [11].

⁵¹ Nel medioevo, una patologia oggi non ben identificata, che in Polonia veniva chiamata *Myera* (misura), secondo le credenze locali poteva essere curata misurando il malato [11].

⁵² La tradizione biblica mostra però di contraddirsi quando indica la bilancia come simbolo supremo di giustizia durante il giudizio universale.

⁵³ In Grecia nascono da un saggio venerato proprio per questo, chiamato *Phidon Arginus*, mentre per i romani traggono origine dalla ninfa Vegoia [11].

⁵⁴ In molte società ad essere messi alla gogna erano gli osti perché versavano bevande in quantità minori del dovuto e questo in paesi come la Russia era importante, perché avere meno vodka significava avere un apporto calorico minore [11].

⁵⁵ Emblematico è il caso delle *polis* greche: le nuove *polis* costruivano i loro campioni di unità di misura come simbolo della loro sovranità e della loro libertà e inoltre la città vincitrice aveva diritto di imporre il proprio sistema su quella conquistata [11].

⁵⁶ È quello che accadde nel XIII secolo a Pisa che si vide imporre il sistema di misure di Firenze che l'aveva conquistata. Per Pisa non fu solo simbolo della libertà perduta ma anche un grosso problema sul mercato dato che le sue misure, essendo essa una città portuale, erano molto più conosciute di quelle di Firenze [18].

⁵⁷ Addirittura molti campioni sono così pregiati dal punto di vista manifatturiero da essere conservati in importanti musei [11].

⁵⁸ L'auna è un'antica unità di misura, di lunghezza pari a 1,143 metri (usando come parametro di confronto il pollice internazionale, con il quale un'auna corrisponde a 45 pollici). Il suo nome deriva dal francese *aune*, riconducibile al latino *ulna*. Nell'antica Roma, l'auna era equivalente a 4 piedi, come attestato nel trattato metrologico del V secolo a.C. *Gromatici veteres*. Come tutte le altre unità di misura basate sulle parti anatomiche umane, era diversa nei vari paesi e subiva cambiamenti nel tempo. In Francia l'auna fu introdotta nel XVI secolo con il

nome di Auna del Re o Auna di Parigi dal re Francesco I, il quale stabilì che doveva essere equivalente a 3 piedi, 7 pollici e 8 linee del Piede del Re (per una lunghezza di circa 1,19 metri). L'auna francese risultava più grande rispetto a quella spagnola e a quella italiana, proprio perché si basava sulla misura del braccio del re in carica. Con la Rivoluzione Francese, l'auna, utilizzata soprattutto nel commercio di stoffe, fu soppiantata dal Sistema Metrico Decimale.

⁵⁹ Nindan (dozzina): misura di lunghezza babilonese 1 nindan = 12 cubiti (circa 6 metri).

⁶⁰ Ciro (Kuruš) II di Persia, noto come Ciro il Grande (590 a.C. – 529 a.C.), imperatore persiano, capostipite della dinastia degli Achemenidi. Unificò sotto il suo regno le varie tribù iraniche, conquistò Babilonia nel 539 a.C. senza combattere, ma con un'abile politica di propaganda.

⁶¹ Dario I di Persia, detto il Grande, (550 a.C. – 486 a.C.), di un ramo cadetto della famiglia degli Achemenidi, fu re di Persia dal 522 a.C. al 486 a.C. Dario I cinse anche la corona d'Egitto con il nome di Stutra. Dario, tra le altre cose, riorganizzò profondamente il sistema amministrativo dell'impero persiano ponendo mano anche ai codici delle leggi civili e penali. Le sue modifiche riguardarono, in modo particolare, il commercio degli schiavi, le leggi sulle testimonianze, i prestiti, la corruzione e il diritto di faida.

⁶² Satrapia era una delle circoscrizioni amministrative (20 in origine) aventi anche funzioni militari, in cui Dario I, nel VI sec. a.C., divise l'impero persiano. Sia pur con cambiamenti territoriali, le satrapie rimasero anche dopo la conquista di Alessandro Magno (333 a.C.) e furono mantenute fino all'era dei Sasanidi (VII secolo d. C.). Nelle satrapie persiane, governate ciascuna da un satrapo, furono frequenti i tentativi autonomistici che portarono talora alla creazione di dinastie ereditarie semi-indipendenti.

⁶³ I Sasanidi furono l'ultima dinastia indigena a governare la Persia, dal 224 al 651, prima della conquista islamica.

⁶⁴ La dinastia degli Abbasidi governò, da Baghdad, il mondo islamico fra il 750 e il 1258.

⁶⁵ L'impero Kusana (I–III secolo circa) fu un'entità statale che, al suo apice (circa 105-250), si estendeva dal Tagikistan al Mar Caspio e all'Afghanistan, fino alla valle del Gange. Ebbe contatti diplomatici con l'Impero Romano, l'Impero Persiano e la Cina, e fu a lungo al centro degli scambi tra oriente e occidente.

⁶⁶ Gunja (nome sanscrito di *Abrus precatorius*) è un arbusto della famiglia delle Leguminose diffuso nei paesi tropicali, ha lunghe foglie e semi rossi e duri, che possono essere utilizzati come perle per collane o per costituire strumenti musicali a percussione.

⁶⁷ La Lega, unità di distanza della Roma antica, è stata a lungo diffusa in Europa e in America latina. Essa variava da luogo a luogo, ed esprimeva, originariamente, la distanza che una persona, o un cavallo, poteva percorrere, al passo, in un'ora. A seconda della tipologia del luogo la lega variava tra 4 e 6 chilometri.

1.6 Bibliografia e siti Internet.

- [1] P. Agnoli (2006) – *Breve introduzione storica alle prime unità di misura*, consultato il 12-12-2012 su http://www.roma1.infn.it/~dagos/SSIS/PaoloAgnoli_appuntimisure.pdf
- [2] P. Agnoli (2004) – *Introduzione storica e filosofica ai concetti e alla metodologia della misura*, Tesi di laurea in filosofia, Università Tor Vergata, Roma, consultato il 8-11-2012 su <http://www.paoloagnoli.it/immagini/Tesi%20Filosofia%20P.%20Agnoli.pdf>
- [3] P. Agnoli (2003) – *Storia del Sistema Metrico Decimale*, SXT Scaffali n.1, aprile 2003, consultato il 8-11-2012 su <http://scienzapertutti.lnf.infn.it/>
- [4] K. Alder (2002) – *La misura di tutte le cose: l'avventurosa storia dell'invenzione del sistema metrico decimale*, Rizzoli, Milano.
- [5] Anonimo (1830) – *Roma compiutamente descritta in sette giornate*, Stamperia Poggioli Roma, consultato il 19-12-2012 su http://avirel.unitus.it/bd/autori/anonimo/roma_sette_giornate/giornata_ii.html.
- [6] M. G. Biga, L. Manfredi, N. Parise, A. Polosa, M. E. Alberti, P. Güll, D. Castrizio, M. G. Stasolla, L. Camarda, S. Camara, M. E. Smith, D. Bonavia (2002) – *Gli strumenti dello scambio: i sistemi di misura in Il Mondo dell'Archeologia*, Istituto della Enciclopedia italiana G. Treccani, Roma, consultato il 21-1-2013 su http://www.treccani.it/enciclopedia/gli-strumenti-dello-scambio-i-sistemi-di-misura_%28Il_Mondo_dell%27Archeologia%29/
- [7] A. Calcatelli (2010) – *Storia del sistema Internazionale delle unità (SI) in Il Linguaggio delle Misure* (Autori Vari), INRIM, Torino consultato il 5-10-2012 su http://www.inrim.it/ldm/cd_ldm/allegati/storia/storia_si.pdf
- [8] V. M. Castillo (1972) – *Unidades nahuas de medida*, in *EstCultNáhuatl*, 10 (1972), pp. 195-223.
- [9] A. Dosi, F. Schnell (1992) – *Spazio e Tempo*, vol. 14, Collana *Vita e costumi dei romani antichi* Ed. Quasar, Roma.
- [10] P. Grimal (2006) – *Mitologia*, edizioni Garzanti, Milano.
- [11] W. Kula (1987) – *Le misure e gli uomini dall'antichità ad oggi*, Editori Laterza, Bari.
- [12] M. A. Levi (1987) – *Il mondo dei Greci e dei Romani*, editore Piccin Nuova Libreria SpA, Padova.
- [13] L. Moraldi (a cura di) (1998) – *Giuseppe Flavio: Antichità giudaiche*, Utet, Torino.
- [14] A. Rebaglia (1984) – *La metrologia nei secoli. Panorama storico dalle origini all'introduzione del Sistema Metrico*, monografia n.1 della *Mostra sulla metrologia, scienza e tecnica della misura*, CNR-Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti, Torino.
- [15] B. Russell (1993) – *La visione scientifica del mondo*, Arnoldo Mondadori Editore, Milano.
- [16] B. Russell (1989) – *I principi della matematica*, Grandi tascabili economici Newton, Roma.

- [17] N. Severino (1997) – *Storia dell'obelisco e dell'orologio solare di Augusto in Campo Marzio* Roccasecca, consultato il 8-1-2013 su <http://rometheimperialfora19952010.files.wordpress.com/2012/06/lib9.pdf> .
- [18] U. Tucci (1973) – *Pesi e misure nella storia della società*, in *Storia d'Italia*, v. 5, Einaudi, Torino.
- [101] (7-01-2013)  http://it.wikipedia.org/wiki/File:ENC_1-NA5_600px.jpeg
- [102] (7-01-2013) https://it.wikipedia.org/wiki/Papiro_di_Ani
- [103] (7-01-2013)  http://it.wikipedia.org/wiki/File:Gudea_of_Lagash_Girsu.jpg
- [104] (15-11-2012)  https://it.wikipedia.org/wiki/File:King_Henry_I.png
- [105] (15-11-2012) <http://www.chinatourguide.com/blog/>
- [106] (8-1-2013) GNU Free Documentation License
<https://it.wikipedia.org/wiki/File:Dinam%C3%B3metro.jpg>
- [107] (15-11-2012)  https://it.wikipedia.org/wiki/File:Vase_Entemena_Louvre_AO2674.jpg
- [108] (8-01-2013)  <http://sdz.aiap.it/topografie/9390#top>

CAPITOLO SECONDO

L'ORDINE NATO DAL CAOS: L'UNIFICAZIONE METROLOGICA, UNA CONQUISTA TANTO DIFFICILE QUANTO NECESSARIA

Donatella Carboni, Matteo De Vincenzi

Se volete che la gente metta ordine nelle proprie azioni e di conseguenza nelle proprie idee, è necessario che la consuetudine a quell'ordine caratterizzi tutto quello che la circonda [...]. Quindi dobbiamo considerare il sistema metrico decimale un eccellente mezzo educativo da introdursi in tutte le istituzioni pubbliche che evocano più disordine e confusione. Anche le menti meno pratiche saranno conquistate da quest'ordine, dopo averlo conosciuto. I cittadini lo ritroveranno negli oggetti di uso comune, continuamente sotto i loro occhi e nelle loro mani.

Agence Temporaire des Poids et Mesures,
*Aux citoyens rédacteurs de la feuille du
Cultivateur, en réponse à des objections
contre la nomenclature nouvelle, insérées
dans le No. 38 de ce Journal*
Paris: Imprimerie de la République,
thermidor an III [1795]

Benché il Capitolo sia frutto comune tra gli Autori, il Curatore del volume, stante l'indivisibilità dei contributi, vuole precisare che gli aspetti storico-umanistici sono stati elaborati da Donatella Carboni mentre quelli storico-fisici sono di Matteo De Vincenzi. A giudizio del Curatore e degli esperti a cui, per consulenza, egli ha sottoposto il Capitolo i due contributi sono da ritenersi di uguale ampiezza e dello stesso spessore scientifico.

2.1 Tentativi di unificazione precedenti alla rivoluzione francese.

L'impero romano fu un vero e proprio collante per quanto riguarda la cultura nel mondo occidentale; finché il potere centrale rimase forte i territori conquistati dai romani non poterono far altro che accettare tutti gli aspetti culturali, come la lingua, il diritto ecc. che essi avevano portato con sé. Di tali aspetti fa parte anche il sistema di misure usato a Roma, il quale si impose nei territori conquistati spodestando i vecchi sistemi, che pure rimasero nella pratica più di quanto si possa pensare.

Una volta che l'impero cominciò a dare segni di debolezza e a sgretolarsi, le varie culture sottomesse ritornarono ad emergere dimostrando di non avere affatto dimenticato le loro consuetudini, fra queste anche i propri sistemi di misura che si affiancarono a quello ufficiale dell'impero. Si creò una situazione piuttosto caotica che vide il formarsi di un'Europa retta da un sistema feudale dove ogni regno, se non ogni feudo, costituiva una realtà a sé con un proprio sistema di unità di misura. La situazione fu ulteriormente complicata dal valore politico che venne dato al fatto di avere un proprio sistema di misure, per ogni sovrano idearne uno nuovo fu un segno di grande prestigio (figura 2.1).



Figura 2.1 – Il re longobardo Liutprando (690 ? – 744, forse a Pavia) impose nei suoi domini l'uso del *Piede Liutprando* (43,6 cm) come unità di lunghezza. Esso ebbe vita lunga dato che in alcune regioni, come in Piemonte, restò in uso fino all'introduzione del sistema metrico nel 1845.

Osservando attentamente la colonna destra della porta principale del Battistero di Firenze, a circa un metro e mezzo da terra, si nota una specie di impronta rettangolare. La leggenda dice che nella prima metà dell'VIII secolo Liutprando fissò in tal maniera una nuova unità di misura di lunghezza. Purtroppo il *Piede Liutprando* già a Pistoia (a circa 35 km da Firenze) aveva una misura diversa e nel tempo, nelle diverse città è cambiato più volte. (Fotografia di Gianni Fasano)

Un primo vero tentativo di unificazione venne compiuto da Carlo Magno¹ (742 – Aquisgrana 814), il quale con la *Admonitio Generalis* (789) sperava di porre le basi per una

universalità sia culturale, sia commerciale e non poteva con ciò tralasciare il problema delle misure. Questa aspirazione si concretizzò anche nella realizzazione di campioni ufficiali come la cosiddetta Pila di Carlo Magno (figura 2.2)² consistente in un insieme di pesi cilindrici cavi, impilabili l'uno dentro l'altro per ottenere campioni di peso diversi. Il peso maggiore della serie era di 1 libbra francese (1 libbra = 489,5058 g) e i suoi sottomultipli non erano decimali. Nelle pagine dell'*Admonitio generalis* (789), a proposito delle misure, si legge: *Ut aequales mensuras et rectas et pondera justa et aequalia omnes habeant, sive in civitatibus sive in monasteri* (affinché tutti, sia nelle città sia nei monasteri, abbiano misure uguali e rette, e pesi giusti e uguali).



Figura 2.2 – Pila di Carlo Magno, della fine del XV secolo, conservata nel Museo delle Arti e Mestieri di Parigi (inventario n. 03261-0000), composta da 13 pesi per un totale di 25 libbre (12,238 kg). A sinistra il contenitore finemente lavorato. Da [101].

In realtà l'editto di Carlo Magno, se da una parte ebbe successo nei suoi aspetti culturali (per la lingua latina, la liturgia, le scuole ecc.), non venne ascoltato per quanto riguarda l'introduzione di un unico sistema di misure. Infatti una volta caduto l'impero carolingio (figura 2.3), con la susseguente moltiplicazione dei centri di potere, anche le misure ufficiali si moltiplicarono sommandosi a quelle locali e private che erano sopravvissute. Si ripeté quello che già era avvenuto con l'impero romano: finché vi era un potere forte non si verificarono molti problemi, ma una volta che questo venne meno la situazione precipitò.

Un secolo dopo fu Carlo il Calvo³, nel 864, a tentare di fare chiarezza nell'ambito delle misure, o per lo meno di porre un freno alle frodi attraverso l'*Edictum Pistense*⁴ [14] che in pratica sanciva le punizioni per chi veniva colto a frodare sulle misure.

A parte questi tentativi che, è bene ricordarlo, non hanno ambizioni di universalità in quanto devono, allo stesso tempo, sia accomunare le varie province dell'impero sia differenziarle dagli altri stati, per tutto il Medioevo l'interesse verso le misure fu abbastanza scarso.

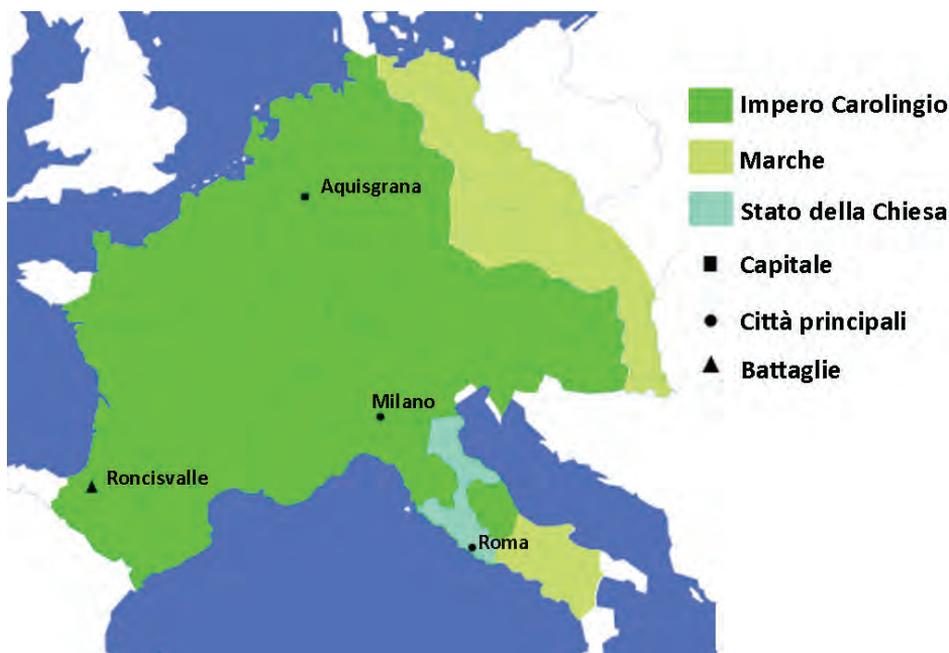


Figura 2.3 – L'impero Carolingio all'inizio del IX secolo.

Ci troviamo davanti ad un mondo chiuso dove l'unica realtà è quella della *curtis* e dove gli scambi commerciali sono pressoché inesistenti, ne è prova anche la scarsa diffusione del denaro. Esso aveva un valore intrinseco, ma dato che gli strumenti di misura erano imprecisi e che era facile frodare sul peso, si aveva nei riguardi del sistema monetario un grande timore e perciò esso era inutilizzato.

In realtà il caos nella società feudale è solo apparente, poiché al suo interno ha un proprio ordine e le differenze presenti hanno un profondo significato sociale. Inoltre in questi sistemi non vi è nulla di arbitrario, al contrario tutto è dominato da regole codificate dalla pratica alle quali è molto difficile sfuggire. In un mondo così rigido non ci deve stupire il fatto che non vi sia alcun pensiero di universalità, poiché nessuno riusciva a vedere oltre il limitato microcosmo del quale era parte.

E il popolo? Da un lato coltivava il vecchio sogno trasmesso di generazione in generazione, di una misura giusta, dall'altro, invece, si interessava delle misure in ambito molto ristretto: quello del proprio villaggio, della cittadina vicina, della parrocchia che percepiva la sua decima, o del castello cui doveva versare i tributi [12, pag. 130].

Un importante tentativo di unificazione, nel Medioevo, avvenne il 29 dicembre 1389, quando Amedeo VII⁵, allo scopo di rendere più semplici le transazioni commerciali, promulgò, per la Savoia, l'editto che imponeva di riferire tutti i campioni per le misure di peso e di capacità a quelli di Chambèry⁶.

Mentre l'Europa medievale si trova in questa situazione di stallo, un mondo in espansione è invece quello arabo che, conquistando gran parte dell'oriente, entra in contatto con popoli progrediti nella filosofia e nelle scienze. È proprio in questa realtà che si compiono passi



Figura 2.4 – Astrolabio in ottone dorato⁷, di fattura araba, con custodia (diametro 165 mm). I dati astronomici riportati sullo strumento suggeriscono che la costruzione sia anteriore all'anno 1000, secondo la tradizione si tratterebbe di uno strumento del tempo di Carlo Magno (IX secolo).

Su concessione del Museo Galileo, Firenze - Fotografia di Franca Principe.

avanti nell'astrologia e nelle tecniche di misura attraverso strumenti (figura 2.4)⁸ che, una volta arrivati in Europa, contribuiranno a risvegliare l'interesse scientifico.

La situazione comincia a mutare quando uscendo dalla società feudale del Medioevo si entra nell'epoca del Rinascimento, nella dinamica società dei comuni e delle città. La spinta verso l'unificazione è imposta principalmente dalle relazioni commerciali sempre più strette basate su una varietà di merci. Era consuetudine sempre più ampia che nel mercato le merci di importazione venissero misurate secondo i criteri dell'esportatore⁹, dunque molto spesso il mercante che esportava la merce, in particolar modo se essa era preziosa o se si trovava soltanto in pochi paesi, aveva una posizione di forza che gli consentiva di imporre le proprie misure agli acquirenti. È chiaro che una situazione così particolareggiata finisse col provocare tensioni all'interno dei mercati e rendesse il commercio molto più complicato. Si può dunque affermare che l'unificazione metrologica viaggiava di pari passo con il diffondersi del mercato su scala mondiale, e in questo processo ebbero la loro importanza le scoperte geografiche. Esse non solo aprirono il

commercio a nuove terre e a nuove merci, fino ad allora sconosciute, ma richiesero anche un impegno nella precisione delle misurazioni (figura 2.5). In particolare per raggiungere nuove mete non era più sufficiente la bussola o la semplice osservazione astrologica. Un grande aiuto fu dato dai progressi fatti dalla cartografia: vennero usate scale di riduzione per disegnare le mappe, e qui i cartografi dovettero risolvere il problema delle mille diversità nei sistemi di unità di misura adottati dai vari paesi.

Con l'uscita dal mondo chiuso dell'epoca feudale ecco che il denaro riprende ad essere utilizzato negli scambi commerciali.



Figura 2.5 – Miniatura del XIV secolo che mostra un *pensatore*, ovvero un supervisore. Da notare la bilancia per la verifica dei pesi e l'asta con le molteplici tacche per il controllo delle misure di lunghezza. Da [102].

Anche in questo campo era necessaria una maggiore precisione nelle misure: il denaro valeva in base alla quantità di metallo prezioso contenuto nella lega con cui era coniato, per questo motivo era importante che fosse pesato con molto rigore, ciò contribuì a spingere verso il perfezionamento dei sistemi di misurazione.

Nel periodo rinascimentale abbiamo dei tentativi di unificazione, ma semplicemente su scala locale. È il caso di Genova che, nel 1528, deliberò l'unificazione di tutti i pesi e le misure nel suo dominio e spedì i campioni di misura ai centri più importanti [6].

Di prospettive più ambiziose è l'idea del fisico-matematico Simone Stevino (Bruges, 1548 – L'Aia o Leida, 1620) che nel 1585 col trattato *La decima* introduce in Europa le frazioni decimali e propone un sistema decimale di pesi.

Esemplare è anche il tentativo del governatore Velasco¹⁰ che nello stato milanese, intorno alla fine del XVI secolo, cercò di operare una riorganizzazione del territorio. A tal fine affrontò anche il problema delle misure avvalendosi della collaborazione dei massimi esperti delle maggiori categorie professionali: banchieri, mercanti, architetti ecc. La

riforma, molto meditata, fu attuata nel 1605 ma solo qualche mese più tardi il nuovo governatore, il conte de Fuentes¹¹ (figura 2.6), fu costretto ad abolirla e a permettere il ritorno ai pesi e alle misure usate in precedenza. Una buona riforma ma non compresa e applicata superficialmente non poteva che aggravare i disordini, provocando nuove frodi. Ne è un esempio la *libra grossa* di Milano, usata per la vendita alimentare al minuto, a cui era stato ridotto il valore del peso, ma a ciò non era seguita una riduzione dei prezzi¹². Ne conseguì che a parità di prezzo si acquisiva una minore quantità di prodotti alimentari, fu un danno gravissimo per la popolazione.



Figura 2.6 – Don Pedro Enríquez d’Azevedo y Toledo, Conte di Fuentes (Zamora 1525 – Milano 1610), generale e politico spagnolo. Nominato governatore e capitano generale di Milano, annullò, nel 1605 dopo pochi mesi dalla sua entrata in vigore, la riforma sui pesi e le misure attuata dal suo predecessore Juan Fernández de Velasco. Da [103].

Se nel Rinascimento non si riuscì ad avvicinarsi all’unificazione metrologica, pur sentendone la necessità, ciò fu dovuto ai forti particolarismi locali e alle vecchie costumanze in uso che, in territori dove mancava una salda unione politica, impedirono ai vari tentativi di unificazione di avere esito positivo [19].

Un grande stimolo all’unificazione si verificò nel XVII secolo quando, con la nascita della scienza moderna, si passò dalla mera descrizione dei fenomeni alla loro quantificazione (misurazione) e descrizione matematica, con verifica sperimentale dei risultati. In questo clima, in particolare dalla seconda metà del secolo, proliferarono i tentativi di miglioramento delle tecniche di misura e di unificazione dei sistemi metrologici.

Il primo tentativo di sistema metrico fu compiuto in Francia da Gabriel Mouton¹³, vicario della chiesa di San Paolo a Lione. Egli propose che tutte le distanze venissero misurate in base a un sistema decimale la cui unità, *virga*, era definita come la sessantamillesima parte di un grado di arco del meridiano terrestre. Nel suo lavoro del 1670, *Observationes diametrorum solis et lunae apparentium*, indicò multipli e sottomultipli secondo un sistema in base dieci. Data la difficoltà dell’esatta definizione della lunghezza del meridiano terrestre Mouton, per la definizione della *virga*, propose un metodo

alternativo basato sulla lunghezza di un pendolo con un prestabilito periodo di oscillazioni¹⁴, ciò in forza del fatto che fin dagli studi di Galileo Galilei, a quelli compiuti nel XVII secolo, le proprietà del pendolo erano ben note¹⁵.

Sempre nello stesso anno, e sempre in Francia, l'astronomo parigino Jean Picard¹⁶ arrivò a una proposta analoga indicando di *fissare l'unità di lunghezza come la lunghezza di un pendolo che, a 45° di latitudine e a livello del mare, batte il secondo. È la prima idea di ricerca dei fenomeni fisici naturali sui quali basare la definizione delle unità fondamentali: dall'unità di tempo e dall'esistenza di un campo di accelerazione di gravità costante, si deduce l'unità di lunghezza* [17, pag. 8].

Cinque anni dopo, in Italia, Tito Livio Burattini¹⁷, riprese l'idea di Picard in un trattato dal titolo *Misura universale* (figura 2.7). In esso venne presa come unità la lunghezza di un pendolo, che compie un'oscillazione (semiperiodo) nel tempo di un secondo¹⁸ (figura 2.8). Burattini attribuì a questa unità il nome di Metro Cattolico (circa 99,5 cm del metro attuale). È qui che per la prima volta la parola *metro* viene usata come un neologismo per indicare la lunghezza e non più la misura in generale. Dal metro cattolico Burattini dedusse il Peso Cattolico (circa 240 g attuali), ovvero il peso dell'acqua contenuta in un cubo il cui spigolo è un sedicesimo del metro cattolico.



Figura 2.7 – Tito Livio Burattini: *Misura universale*, stamperia dei padri francescani in Vilna (Lituania), 1675: frontespizio e alcune unità di misura. Da [104, 105].

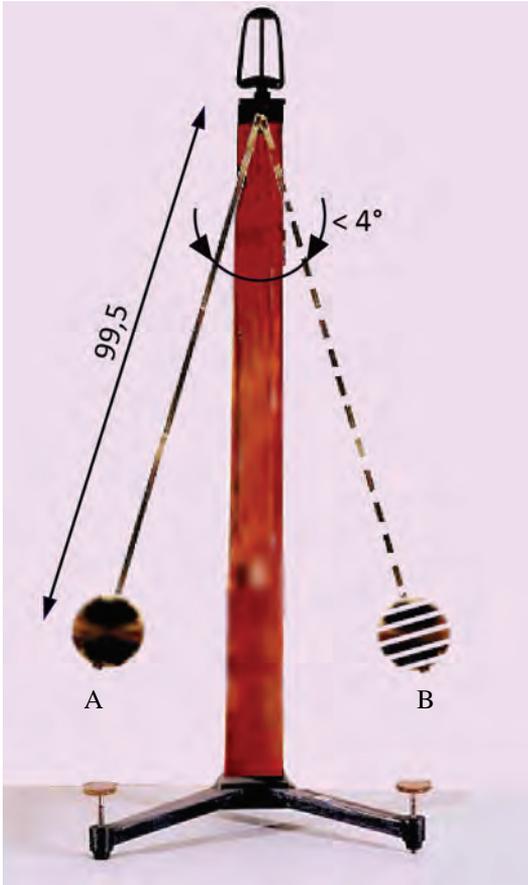


Figura 2.8 – Pendolo che per piccole oscillazioni (inferiori a 4°) batte il secondo nel tempo che va dall'estremo A a quello B, o viceversa, a 45° di latitudine a livello del mare.

Nell'opera di Burattini vennero esposti con chiarezza due principi fondamentali per la metrologia, universalità e invariabilità dei pesi e delle misure:

In tutti li luoghi del mondo si può trovare una misura e un peso universale senza che abbiano relazioni con nessun'altra misura e nessun altro peso. E ad ogni modo in tutti i luoghi saranno i medesimi e saranno inalterabili e perpetui fin tanto che durerà il mondo (Tito Livio Burattini, vedi figura 2.7, frontespizio del trattato *Misura universale*).

È a partire dal XVII secolo che si comincia a sentire l'esigenza di un sistema di misure internazionale, ma ancora nel XVIII secolo i tempi non erano maturi per ottenerlo, nonostante un susseguirsi di proposte provenienti da varie nazioni.

È del 24 luglio 1789 una proposta sull'utilizzo del sistema metrico decimale da parte del Parlamento inglese, il quale presentò una revisione del proprio sistema di misure in favore del sistema metrico decimale. L'anno successivo furono gli Stati Uniti a discutere la stessa proposta. Nel 1790 anche la Francia continuava le sue riflessioni sull'opportunità di adottare un sistema metrico decimale. È in quell'anno che il cittadino Auguste-Savinien Leblond¹⁹ suggerì di utilizzare la parola metro (come già fatto da Burattini nel 1675) per indicare l'unità

fondamentale di lunghezza. Purtroppo per alcuni anni si continuarono a usare multipli e sottomultipli tradizionali: pertica (3 m), stadio (100 m), palmo (0,25 m), dito (0,0185 m).

In quell'anno fu ripresa un'altra idea di Burattini, ovvero quella di legare l'unità di lunghezza a quella di un pendolo che compie le sue oscillazioni in un secondo. Fu Charles Maurice de Talleyrand²⁰ (figura 2.9), vescovo di Autun (Borgogna), uno dei membri dell'Assemblea Nazionale di Francia, che nel 1790 riuscì a fare accettare il progetto con il quale si legava l'unità di lunghezza al pendolo che batteva il secondo, a 45° di latitudine al livello del mare.



Figura 2.9 – Charles Maurice de Talleyrand-Périgord (Parigi, 1754 – Parigi 1838). Di Pierre-Paul Prud'hon (1758–1823) Chateau de Valencay, France. Da [106]



Figura 2.10 – Thomas Jefferson (Shadwell, 1743 – Charlottesville, 1826). Di Charles Wilson Peale - 1791 The Library of Congress Washington, DC - USA. Da [107]

Nello stesso periodo una proposta simile fu fatta da John Riggs Miller²¹ al Parlamento britannico e da Thomas Jefferson²² (figura 2.10) alla Camera dei Rappresentanti degli Stati Uniti (*United States House of Representatives*).

Condorcet²³, dell'Accademia delle Scienze di Parigi, considerava Francia, Gran Bretagna e Stati Uniti *le tre nazioni nel mondo più illuminate e più dinamiche* che presto avrebbero usato le stesse misure [9]. Il 1790 è anche l'anno in cui, grazie alle manovre diplomatiche di Talleyrand, ebbe inizio una collaborazione fra i tre stati finalizzata alla realizzazione di un sistema di misure che fosse valido a livello universale. Purtroppo la collaborazione durò assai poco per l'opposizione del ministro degli esteri inglese e per la non rielezione nel Parlamento britannico di Riggs Miller. In conseguenza di ciò la Francia, a partire dal 1791, proseguirà da sola verso il sistema metrico decimale [3].

In quell'anno l'Assemblea Nazionale Francese ridiscusse la proposta sul pendolo, ma a questa preferì quella del quarto di meridiano, adducendo come motivazione che il pendolo non poteva essere scelto come unità di lunghezza poiché l'accelerazione di gravità

non era costante con la latitudine e la quota²⁴; a ciò aggiungeva motivi di maggiore naturalezza del meridiano rispetto al pendolo.

Nel 1793, in una relazione della Commissione dei pesi e delle misure, venne proposto l'uso di prefissi greci e latini (*kilo-* per indicare mille volte l'unità, *milli-* per indicare un millesimo dell'unità) al fine di evitare il caos che si era generato con l'utilizzo del metro come unità di lunghezza, ma con multipli e sottomultipli tradizionali.

2.2 Introduzione al sistema metrico decimale.

Verso la fine del XVIII secolo nacque il sistema metrico decimale, dopo un inizio di secolo in cui la situazione europea era ancora molto confusa in quanto era stata raggiunta l'unificazione dei nomi ma non delle unità di misura (es. il piede variava di un buon 10 % in più o in meno a seconda del paese).

È in questo secolo che prende vita la grande industria meccanica per la quale erano richieste maggiori precisioni nelle misurazioni. Ma il Settecento fu anche il secolo dell'Illuminismo, il secolo in cui si diffuse il metodo sperimentale. Proprio in questo contesto storico il bisogno di un sistema accettato a livello internazionale venne sentito in maniera ancora più forte, in quanto non si trattava più soltanto di un'esigenza avvertita negli scambi commerciali, ma furono gli stessi scienziati a sentirne la necessità. La diversità delle unità di misura, in riferimento a una stessa grandezza, nei diversi paesi, rendeva impossibile il confronto dei risultati di studi ed esperimenti condotti da studiosi di diverse nazionalità e ciò costituiva un grosso limite allo sviluppo scientifico.

Eppure il problema fu affrontato seriamente soltanto alla fine del secolo, quando vi fu un tentativo di collaborazione tra la *Royal Society* di Londra (figura 2.11) e l'*Académie des Sciences* di Parigi (figura 2.12). In realtà però la collaborazione saltò per ragioni politiche e la Francia procedette da sola.



Figura 2.11 – *Royal Society* fondata a Londra nel 1660.



Figura 2.12 – *Académie des Sciences* fondata a Parigi nel 1666.

In Francia la situazione, per quanto riguarda le misure, era veramente critica: ogni piccola realtà territoriale, ogni città, ogni provincia utilizzava un proprio sistema, che spesso poteva differire di molto dagli altri.

Le antiche misure della Francia non appartenevano ad alcun sistema, o sivvero un tal sistema era il più complicato e il più difettoso di tutta l'Europa; niente portava l'impronta del metodo, tutto annunciava l'arbitrario [11].

Ciò che si rimproverava alla molteplicità dei gerghi veniva rimproverato anche alla diversità di pesi e misure [...] due pesi e due misure era il simbolo stesso dell'ineguaglianza [10].

Tutte le misure in Francia erano nel segno della diversità, per la lunghezza vi erano delle misure per le città, altre per le periferie, lo stesso vale per le misure agrarie e per le leghe. La situazione delle misure di capacità e di peso era ancor più complessa, ne esisteva una tale varietà che anche solo nominarle sarebbe impossibile, tanto che gli stessi negozianti erano in difficoltà ad utilizzarle [11].

Ma il problema delle misure non era solo un problema geografico, nel senso che creava confusione tra diverse città, era anche un problema storico sociale. L'esigenza di unificazione era sentita in tutte le nazioni da tutta la popolazione: dai contadini, dagli artigiani, dai notabili delle varie città, anche se ogni corporazione aveva motivi diversi per desiderarla. Molto interessanti, per comprendere quanto fosse sentito il bisogno di un sistema unitario, sono i *Cahiers de Doléances* (figura 2.13), redatti a partire dal 1789 ma che presentavano anche richiami a controversie più antiche. Nei quaderni, i contadini, invitati ad esprimere le loro lamentele, spesso raccontavano di come i signori, avendo pieno possesso dei campi, si prendessero gioco di loro facendosi pagare tributi in natura in quantità più elevate del dovuto.

Si possono leggere nei quaderni varie denunce da parte dei contadini frodati: *La misura dei nobili aumenta tutti gli anni o ancora I proprietari dei feudi approfittano dei cambiamenti e della confusione che la bassa latinità ha introdotto nei nomi delle misure e applicano per la riscossione le più vantaggiose, oppure L'ordine della nobiltà, che possiede un'infinità di beni, cerca solo il modo per opprimerci e rovinarci: non si conosce*

né il peso, né la misura dei boisseaux (vedi Paragrafo 1.2.2) che le loro signorie usano per percepire le rendite. Il bousseau di un signore contiene sei misure, un altro ne contiene sette, un altro ancora otto. Basta cambiare parrocchia perché la misura non sia più la stessa. Le città vicine hanno ognuna la sua misura e questo confonde il debitore e molto spesso anche il mercante [12, pag. 205-206-207].



Figura 2.13 – *Cahiers de Doléances*, (Quaderni di lamentele). Da [108].

Certo non sempre i quaderni sono completamente affidabili e veritieri, ma in buona parte possiamo ritenerli attendibili, tra l'altro spesso essi non aspirano all'unificazione ma si limitano a preferire una misura piuttosto che un'altra.

Dunque si capisce che la situazione era insostenibile e che era necessario un cambiamento, eppure ancora poco prima del 1790, un simile progetto sembrava irrealizzabile: *La diversità dei pesi è uno dei capitoli più imbarazzanti del commercio, ma è un inconveniente irrimediabile. Non soltanto la riduzione dei pesi di tutte le nazioni è impossibile, ma la riduzione stessa dei differenti pesi in una sola nazione è impraticabile.* (Jean D'Alembert e Denis Diderot *Encyclopedie XII* – 1765 - alla voce *poids*).

Non deve stupirci che due grandi illuministi, a meno di trent'anni dalla nascita del sistema, esprimano un così netto pessimismo: a differenza degli altri sistemi, che risalivano a tempi antichi, ed erano il risultato di pratiche tradizionali usate nelle società natali, il sistema metrico fu, per così dire, creato dal niente. Esso venne ideato allo scopo di soddisfare nuove esigenze nate dal commercio e dall'industria e rispondeva all'impegno civile dell'illuminismo, ovvero cercare soluzioni per i problemi concreti della società. Inoltre esso era parte integrante di un'ampia serie di riforme, come l'abolizione dei diritti feudali o l'imposizione dell'uguaglianza di fronte alla legge. In sintesi si dovette attendere molto, prima che i tempi fossero maturi, per introdurre un simile cambiamento, ma una volta sviluppatasi le condizioni idonee, la sua nascita fu alquanto repentina.

Nel 1790 *monsieur de Talleyrand*, propose all'Assemblea Nazionale la creazione di un sistema uniforme di pesi e misure, l'8 maggio dello stesso anno, il governo francese incaricò l'Accademia delle Scienze di Parigi di studiare il problema. Talleyrand propose di rinunciare alla semplice idea di imporre a tutta la Francia le unità di misura usate a Parigi e

invece, in una visione universale, creare un nuovo sistema che potesse essere adottato in tutto il mondo. Si prevedeva che l'impresa non avrebbe creato troppe difficoltà e che la faccenda sarebbe stata sbrigata in sei mesi, in realtà queste aspettative furono deluse, e come vedremo ci volle molto più tempo del previsto. Proprio per rispondere al criterio di universalità fu proposto che le misure fondamentali venissero prese dalla natura²⁵ (in modo da eliminare qualsiasi carattere specificatamente francese) affinché le altre nazioni non le vedessero come un'imposizione della Francia; fu seguito il motto di Condorcet: *A tutti i popoli e a tutti i tempi*.

In secondo luogo il sistema di multipli e sottomultipli doveva essere decimale, in quanto gli studiosi si rendevano conto della maggiore semplicità di questa suddivisione rispetto alle altre esistenti. Vedremo più avanti in che modo, però, la suddivisione decimale fu osteggiata dalle popolazioni abituate a unità di misura aventi nomi che richiamavano sempre qualche cosa di concreto.

Si pensò che l'unità prioritaria fosse quella della lunghezza e quindi vennero analizzate le tre ipotesi che fino ad allora avevano suscitato il maggiore interesse per stabilire l'unità di misura della lunghezza, attraverso:

1. il pendolo che batte il secondo
2. il meridiano terrestre
3. l'equatore terrestre

La prima fu scartata probabilmente perché non era presa direttamente dalla natura ma legata a misure di tempo, la terza perché era troppo scomoda da misurare. Venne dunque presa in considerazione l'ipotesi del meridiano; non restava che misurarlo per poi definire il metro (unità di lunghezza) la sua quaranta-milionesima parte²⁶.



Figura 2.14 – Jean-Baptiste Delambre (Amiens, 1749 – Parigi, 1822).
Di Coroenne – 1879.
Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.
Da [109].



Figura 2.15 – Pierre François André Méchain (Laon, 1744 – Castellón de la Plana, 1804).
Di Hurle – 1882.
Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.
Da [109].

L'incarico venne affidato a due esponenti dell'*Académie des Sciences*, astronomi e topografi: Delambre²⁷ (figura 2.14) e Méchain²⁸ (figura 2.15). Venne scelto il quarto di meridiano, dal polo boreale all'equatore, passante per Parigi, e di questa venne selezionato l'arco compreso tra Dunkerque (sulla Manica) e una località nei pressi di Barcellona, chiamata Montjuïc. Le due località scelte offrivano il vantaggio di trovarsi al livello del mare (figura 2.16).

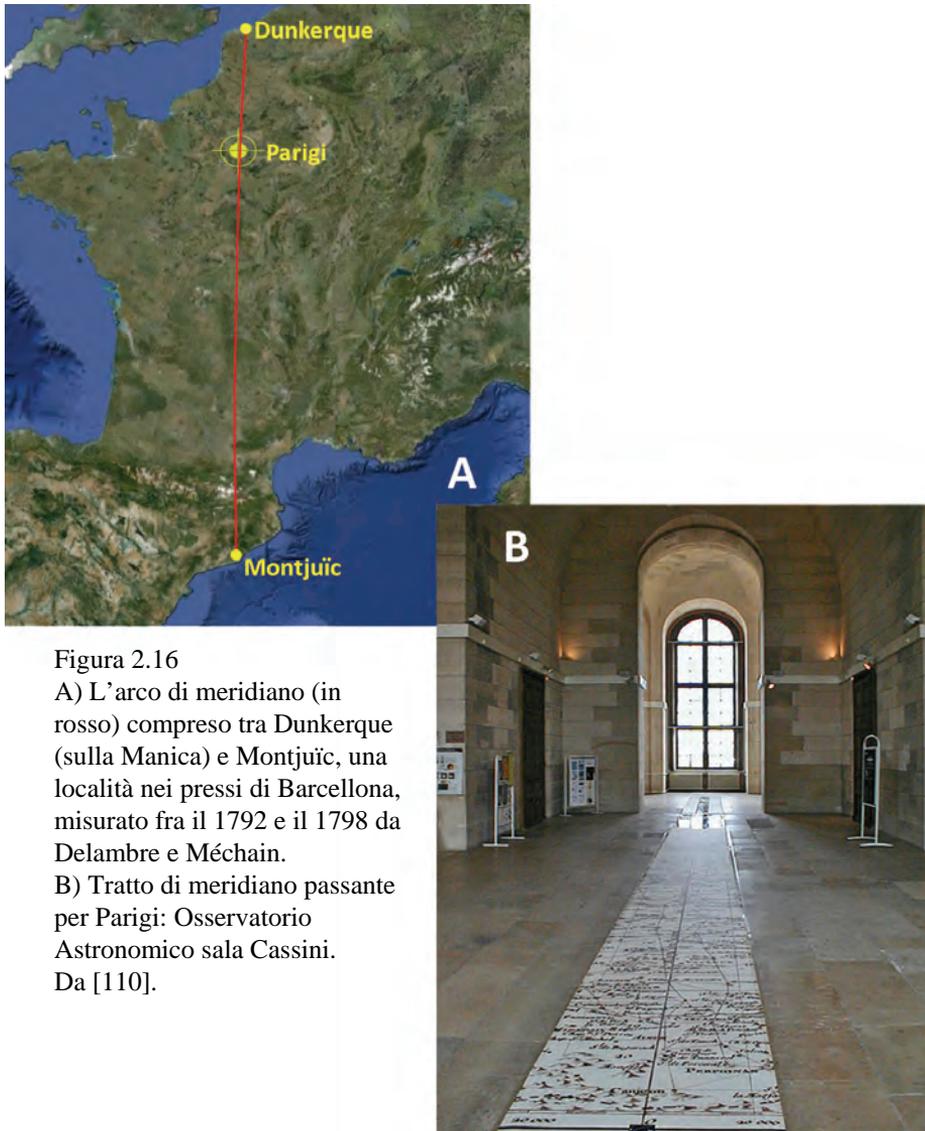


Figura 2.16

A) L'arco di meridiano (in rosso) compreso tra Dunkerque (sulla Manica) e Montjuïc, una località nei pressi di Barcellona, misurato fra il 1792 e il 1798 da Delambre e Méchain.

B) Tratto di meridiano passante per Parigi: Osservatorio Astronomico sala Cassini.

Da [110].

Attraverso questa misurazione con lunghi calcoli trigonometrici e topografici si poteva ottenere la misura del quarto di meridiano dal Polo Nord all'Equatore.

L'impresa fu ardua, anche perché in quegli anni vi furono avvenimenti drammatici: Luigi XVI venne ghigliottinato, il 21 gennaio 1793, e molti degli ispiratori del sistema metrico decimale furono destituiti dai loro incarichi. In quello stesso anno si formò la Prima Coalizione tra alcune potenze europee (in particolare Inghilterra e Spagna) contro la Francia; la guerra iniziata nel 1793 proseguì fino al 1797²⁹.

Nonostante le difficoltà venne comunque trovata l'unità di misura della lunghezza, il metro che fu definito come la deci-milionesima parte dell'arco di meridiano terrestre dal Polo all'Equatore.

Il metro era eterno perché tratto dalla Terra che a sua volta era eterna. Allo stesso modo il metro sarebbe stato patrimonio di tutti gli esseri umani, proprio come la Terra appartiene a tutti [3, pag.1].

Si poteva ora attuare l'idea di Condorcet che le varie unità (superficie, capacità, peso, ecc.) si potessero derivare dal metro, rigorosamente collegate in un sistema interconnesso (figura 2.17). Ciò avrebbe facilitato ogni sorta di calcolo e di confronto. Lavoisier³⁰ all'inizio

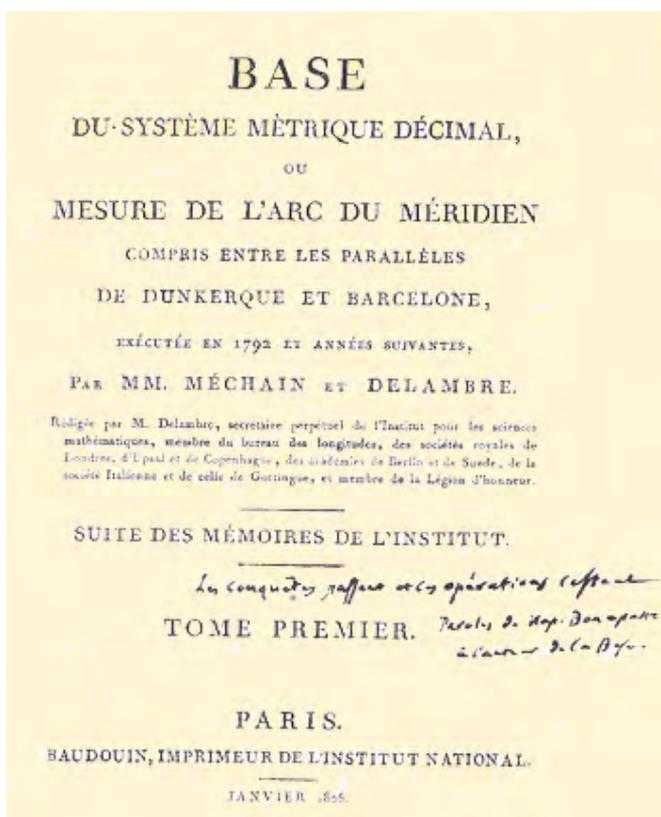


Figura 2.17 – Frontespizio della copia della *Base du système métrique décimal* su cui Delambre scrisse le parole a lui inviate da Napoleone Bonaparte: *Le conquêtes militaires vanno e vengono, ma questo lavoro durerà per sempre* (Karpeles Museum, Santa Barbara, California da [3]).

del 1793 si mise al lavoro per definire l'unità di peso (kilogrammo) come il peso³¹, nel vuoto, di un decimetro cubo di acqua distillata al punto di fusione del ghiaccio (0 °C). La definizione più rigorosa riferita al kilogrammo fu data nel 1799 dal chimico Lefèvre-Gineau³² che lo definì come il peso, nel vuoto, di un decimetro cubo di acqua distillata alla massima densità³³ (4 °C). In seguito venne scelta anche l'unità di capacità o di volume, ovvero il litro, il quale corrispondeva al decimetro cubo, cioè al volume di un chilogrammo di acqua distillata a 4 °C.

Il 7 aprile 1795 fu pubblicata la tabella ufficiale delle unità, con multipli e sottomultipli, che furono adottate con obbligo di legge; fu un provvedimento fondamentale per la metrologia³⁴. Vediamone alcuni articoli:

ART. II: non vi sarà che un solo tipo o modello di pesi e misure per tutta la Repubblica; e questo sarà un regolo di platino sul quale sarà tracciato il metro che è stato adottato come unità fondamentale di tutto il sistema delle misure ...

ART. III: in ogni capoluogo di distretto sarà mandato un esemplare conforme al campione prototipo di cui sopra, ed inoltre un modello di peso esattamente dedotto dal sistema delle nuove misure. Questi modelli serviranno alla fabbricazione di tutte le misure adoperate negli usi dai cittadini.

ART. IV: ... non potendo influire sull'esattezza delle misure d'uso comune, coteste misure continueranno ad essere fabbricate secondo la lunghezza del metro ...

ART. V: le nuove misure saranno qui dinnanzi distinte col soprannome di repubblicane...



Figura 2.18 – A) Campione di lunghezza n. 27 conservato nel *National Institute of Standards and Technology* - Gaithersburg, Maryland USA.

B) Campione di peso (massa); come per il campione di lunghezza ne furono realizzati diversi da conservarsi nelle diverse Nazioni.

Dunque, come appare chiaro dagli articoli, per far in modo che tutti avessero a disposizione le nuove misure vennero costruiti dei campioni in platino-iridio (figura 2.18), la scelta di questa lega fu dovuta al fatto che serviva un materiale abbastanza resistente e poco soggetto a deformazioni, fondamentalmente legate alla temperatura.

I campioni definitivi vennero depositati negli Archivi di Francia il 22 giugno 1799 e, in ottemperanza all'articolo terzo del succitato decreto, furono realizzati campioni da mettere a disposizione dei cittadini (figura 2.19).



Figura 2.19 – Fra il 1796 e 1797 vennero installati per strada, in sedici zone parigine, esemplari del metro in marmo³⁵. Da [111].

Lo stesso anno si definì anche l'unità monetaria, con l'utilizzo del *franco* e anche ad essa venne applicato il sistema decimale.

Restava ancora aperto il problema della misurazione del tempo, in effetti la disputa su questo argomento si era protratta per molti anni. Venne scartata la solita idea del pendolo, poiché l'accelerazione di gravità che ne determinava le oscillazioni non era costante con la latitudine e la quota. Si preferì allora considerare la durata del giorno solare medio e definire secondo, unità di misura del tempo, la frazione $1/86400$ di questa durata. La scelta portava al minuto primo di 60 minuti secondi e all'ora di 60 minuti primi e, infine, il giorno a 24 ore.

In questo modo anche la misura del tempo, come quella della lunghezza fu ancorata alla Terra, ma rimaneva accesa un'altra polemica: la misurazione del tempo non si serviva del sistema decimale! In realtà la polemica non è affatto campata per aria, ma introdurre il sistema decimale nella misura del tempo sarebbe stata un'impresa pressoché impossibile, in quanto esso era sempre stato misurato con un sistema sessagesimale e modificarlo avrebbe significato dover modificare tutti gli orologi esistenti (figura 2.20).

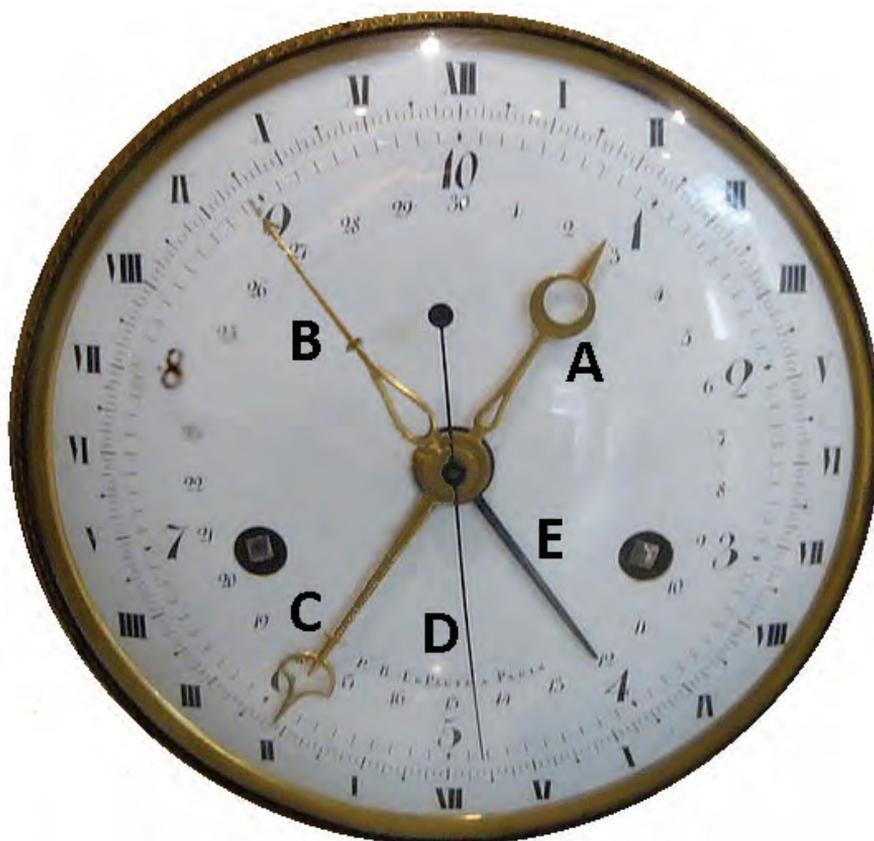


Figura 2.20 – Orologio con quadrante decimale e duodecimale. Fra il 1794 e il 1795 il governo francese decretò l'uso dell'orologio decimale³⁶ con giorni di 10 ore divise in 100 minuti di 100 secondi. (*Musée National des Techniques in Paris*). Foto Cormullion, 2007. Elaborazione da [112].

Sulla misurazione del tempo nei vari paesi si creò una questione di tale importanza che è opportuno dedicare all'argomento uno spazio a sé.

2.3 La divisione del tempo nel mondo in fusi orari.

Il problema del tempo è stato, forse, nella storia ancor più complesso di quello delle altre misure, esso si lega alla travagliata vicenda del sistema metrico decimale, ma ebbe una storia a sé, e oggi il tempo è una delle poche cose sulla cui misurazione tutto il mondo è d'accordo. Ripercorriamo brevemente quella che è stata una intuizione fondamentale per creare armonia nella misura del tempo, ovvero la divisione del nostro pianeta in fusi orari [13].

Nel mondo si erano creati due sistemi per misurare le ore:

- In Italia l'inizio e la fine delle 24 ore del giorno cambiavano di giorno in giorno e cadevano in momenti diversi al variare delle stagioni. Naturalmente anche il tramonto si spostava, perciò gli orologi dovevano essere rimessi a punto, se non ogni sera, almeno ogni settimana. Tale ore erano chiamate *all'italiana* o *alla boeme*, poiché fu un metodo nato in Boemia, che si diffuse in Slesia e per qualche tempo anche in Polonia.
- Il resto dell'Europa utilizzava un'altra suddivisione, detta *all'oltramontana* o *alla francese*. Le ventiquattro ore venivano divise in due periodi da dodici ore, che iniziavano a mezzogiorno e a mezzanotte. Essendo una divisione del tempo indifferente all'alba e al tramonto, non si aveva il bisogno di sistemare quotidianamente gli orologi. Era, in fin dei conti, una soluzione molto più semplice e precisa.

Dopo varie polemiche anche in Italia venne introdotta la misurazione all'oltramontana e non sempre fu accettata di buon grado, al punto che in molte regioni i dominatori francesi dovettero imporla.

Nel 1700 furono fatti molti progressi nella costruzione degli orologi, i quali cominciarono a staccarsi dal tempo solare per calcolare un tempo medio, governato da un Sole dotato di un moto apparente uniforme e regolare, lungo la sua orbita. Così facendo fu comunque il Sole ad essere padrone nel calcolo del tempo ancora a lungo, creando però non poca confusione. La gente appariva disorientata nel vedere i propri orologi in disaccordo con il Sole, addirittura furono realizzati molti orologi doppi, aventi sia il tempo solare sia quello medio.

Anche il tempo medio, calcolato dagli orologi meccanici, non aveva però introdotto una grande semplicità; esso indicava l'ora locale che era funzione della longitudine³⁷. Finché viaggi e comunicazioni erano lenti, come nel Medioevo, si trattava di un particolare trascurabile, ma lo stesso non poteva essere nel XIX secolo, quando, grazie allo sviluppo dei mezzi di comunicazione e di trasporto, i rapporti tra le varie parti del mondo erano molto più veloci.

La prima nazione a curarsi del problema fu l'Inghilterra. Nel 1847 tutte le ferrovie inglesi adottarono il tempo medio del meridiano di Greenwich e in poco tempo la disposizione fu adottata per tutte le città inglesi e per quelle scozzesi. Nel 1880 il Parlamento britannico diede valore legale a questo decreto, era nata così la prima ora nazionale.

In Italia solo nel 1866 fu estesa a tutta la Penisola l'ora romana, nonostante la città appartenesse ancora alla Chiesa; ovviamente la scelta fu dettata dalla centralità di Roma. Non tutte le città italiane accettarono da subito l'ora romana, l'ultima a farlo fu Cagliari nel 1886 [13].

In Francia invece esistevano due orari, uno per le ferrovie e uno per le città, e anche nel 1891 quando venne adottata in tutto in Paese l'ora di Parigi, nelle stazioni rimase in vigore l'ora ferroviaria per cui i treni partivano cinque minuti in ritardo rispetto all'ora della capitale.

Il fatto che ogni nazione avesse una propria ora era un grosso problema per chi viaggiava³⁸, poiché si vedeva costretto a regolare continuamente il proprio orologio. Per ovviare all'inconveniente vi furono proposte finalizzate alla creazione di un'ora comune a tutto il mondo, ma si trattava di qualcosa di inattuabile poiché le abitudini dei cittadini sarebbero state sconvolte.

Un importante personaggio del Risorgimento italiano, Quirico Filopanti³⁹, propose una soluzione nuova e geniale. Egli intendeva dividere il mondo in 24 parti longitudinali, in

base ad altrettanti meridiani, che differivano uno dall'altro di un'ora. Il primo meridiano dal quale iniziavano le ore era quello di Roma, scelta sempre per la sua centralità, per la sua importanza storica e anche perché in quel momento in posizione secondaria rispetto a città come Londra o Parigi e quindi meno atta a far nascere rivalità fra nazioni. In base alla sua proposta gli orologi potevano avere sia il tempo universale, indicato con lettera U, sia quello locale, indicato con L.

Alla proposta era legata anche una riforma del calendario, che Filopanti aveva chiamato *Calendario futuro*: 12 mesi di 30 giorni, divisi in 3 decadi, dove il primo e il sesto giorno di ogni decade sarebbero stati di riposo; in questo modo, secondo lui, nonostante la diminuzione dei giorni lavorativi, l'uomo sentendosi più libero avrebbe aumentato la sua produttività.

Si trattava di una proposta abbastanza pratica, infatti le nazioni all'interno di uno stesso fuso avrebbero avuto una stessa ora e, dato che il territorio della nazione o gran parte di esso giaceva comunque su quel meridiano, il distacco con l'ora locale non sarebbe stato eccessivo. Nonostante questi aspetti, indubbiamente positivi, la proposta di Filopanti non ebbe molto seguito, sia perché la riforma del calendario rispecchiava per molti aspetti il calendario repubblicano francese del 1793, e questo certo non lo aiutò, sia perché egli non poté, a causa dei suoi impegni politico-militari, dedicare tutte le sue energie alla diffusione della sua idea.

Il problema dei fusi orari fu affrontato negli Stati Uniti dove, a causa della variazione di longitudine dalla costa atlantica a quella del Pacifico, esistevano cinquanta orari ferroviari, che ovviamente si ripercuotevano negativamente sulla vita di tutti i giorni.

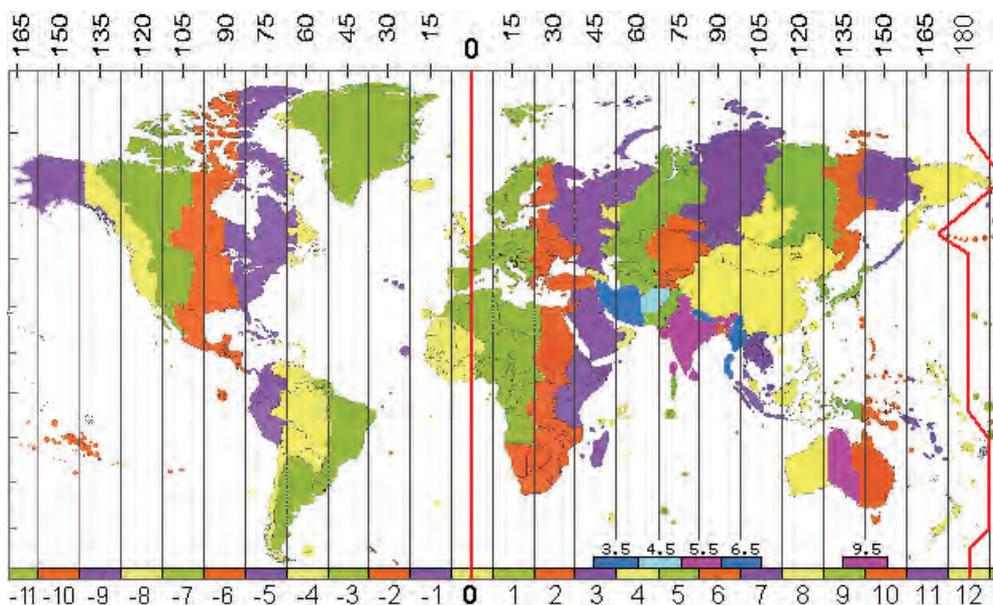


Figura 2.21 – Fusi orari. Il meridiano di Greenwich è indicato con 0, i meridiani a sinistra sono in ritardo rispetto al riferimento, quelli a destra sono in anticipo. La linea rossa a destra, contenuta nella fascia del meridiano 12, indica il cambia di data. Elaborazione da [113].

Per risolvere il problema vi furono tre proposte:

- Charles F. Dowd⁴⁰, 1870: propose di dividere il Paese in base a quattro meridiani, distanziati di un'ora l'uno dall'altro, in modo da non dover modificare i minuti nel loro attraversamento. Si muoveva nello stesso senso di Filopanti, ma applicava la riforma solo agli Stati Uniti e soltanto alle ore ferroviarie, non a quelle locali.
- Sir Sandford Fleming⁴¹, 1876: fu lui che più di tutti si batté per l'unificazione dell'ora nel Mondo, che chiamava *Terrestrial time*. La sua proposta era simile a quella di Filopanti, ovvero divisione in 24 meridiani, ma come base egli poneva Greenwich (figura 2.21). Questo ultimo punto fu molto dibattuto. La scelta di un meridiano di riferimento non era importante soltanto per il tempo ma anche per la longitudine: in mancanza di un meridiano universale ogni paese utilizzava il proprio e dunque le carte marittime o quelle delle città avevano scale differenti. Sulla scelta di Greenwich vi fu l'importante astensione della Francia che preferiva si prendesse come riferimento un meridiano che non passasse per nazioni importanti, mentre ovviamente erano favorevoli Gran Bretagna e Stati Uniti.
- William F. Allen⁴², 1883: riuscì a far accettare ai manager ferroviari una proposta simile a quella di Dowd. Essi erano abbastanza cauti in merito alla riforma, ma la presentazione del progetto di Allen fu molto efficace: egli presentò una cartina dove ogni linea ferroviaria con i suoi orari era colorata con un colore diverso e, a seguire, una con soltanto i quattro colori della divisione dei meridiani. Anche a livello grafico la semplificazione era evidente. Allen propose inoltre di utilizzare l'ora ferroviaria anche in luogo di quella locale, dato che la differenza era poca e che molte città l'avevano già scelta autonomamente. La sua proposta fu accolta con grande entusiasmo anche grazie ad un'intensa campagna pubblicitaria. Fu così che si arrivò al giorno dei *due mezzogiorni*: mezz'ora dopo il mezzogiorno solare, fu battuto un nuovo mezzogiorno per regolare gli orologi al nuovo tempo del meridiano di Greenwich, lo *Standard time* (figure 2.22, 2.23).

Pian piano tutti i paesi cominciarono a rendersi conto dell'importanza della proposta. Il primo ad accettarla fu il Giappone nel 1889, nel 1891 la stessa venne adottata in Austria e successivamente in Ungheria e in Germania (qui prima solo nelle ferrovie, poi nel 1893 venne estesa anche alla vita pubblica), l'Italia accettò la riforma nel 1893. Nel 1905 un rapporto dell'*US Naval Observatory* mostrò che ben 36 Nazioni avevano introdotto un'ora nazionale usando come riferimento il meridiano di Greenwich. Restava ancora esclusa la Francia, la quale, nel 1911, introdusse una riforma basata su una proposta del 1896, ma con diversa formula: si usava il tempo di Parigi con 9 minuti e 21 secondi in meno, in pratica il tempo del meridiano di Greenwich ma senza nominarlo [13].

Visti i rapporti tra le due nazioni è evidente che il risentimento abbia fatto considerare con poca lucidità quelle che erano riforme importanti e universali; lo stesso comportamento fu tenuto dall'Inghilterra rispetto all'adozione del sistema metrico.

Oggi in tutto il mondo si utilizzano i fusi orari regolati sul meridiano di Greenwich e questa è forse la più grande rivoluzione operata nella misura del tempo cronologico.



Figura 2.22 – Greenwich, sobborgo della contea della Grande Londra, sulla riva destra del Tamigi, *Royal Observatory*.

Venne fondato nel giugno del 1675 da Carlo II, re d'Inghilterra. Nel XX secolo, l'osservatorio è diventato un centro importante anche per l'astrofisica.

Foto di Gianni Fasano



Figura 2.23 – La località di Greenwich, per convenzione, dal 1884 è attraversata dal meridiano di riferimento. Da [114].

2.4 Problemi di adozione del sistema metrico decimale in Francia.

Il sistema metrico decimale nacque dietro gli auspici più positivi, doveva in un solo colpo risolvere gli intricati conflitti che stavano attorno alle misure e portare all'unificazione metrologica. Quasi tutte le classi sociali lo avevano desiderato e chiesto a gran voce per vari motivi che potevano essere anti-signorili, commerciali e nazionali.

Coloro che più ne sentivano il bisogno erano i contadini, vittime di secolari abusi metrologici. Essi avevano visto nella riforma metrologica la fine di un privilegio dei signori, i quali avevano piena libertà nel controllo e nell'applicazione delle misure e che di tale privilegio avevano abusato fin troppo, costringendo i contadini a pagamenti in natura nettamente superiori al dovuto. Il clima rivoluzionario portò questa classe a far sentire la propria voce: non solo essi rifiutarono di pagare le rendite, in quanto in passato ne avevano pagate a dismisura, ma addirittura chiesero la restituzione di tutto ciò che ingiustamente era

stato tolto loro. Era infatti radicata nelle loro menti la consapevolezza di essere vittime di frodi da parte dei signori e tutto ciò portava a una insostenibile tensione sociale.

In realtà controllare la veridicità degli abusi era molto complicato, in particolare era quasi impossibile capire di quanto le misure fossero variate rispetto al loro antico valore. Almeno nella fase iniziale la riforma metrologica, che nei progetti professava il bene del popolo, nella realizzazione pratica ben poco aveva fatto in questo senso. Anzi, nei primi anni di adozione del nuovo sistema metrologico, la confusione aumentò vertiginosamente, e con il caos aumentò, ovviamente, anche l'illegalità. Una volta che le vecchie unità vennero soppresse e che furono istituite le nuove, si presentò il problema di fornire il paese dei nuovi campioni di pesi e misure, che dovevano raggiungere ogni più piccola bottega della Francia.

Il primo ostacolo che si presentò fu quello delle materie prime, per ovviare al problema si pensò di riutilizzare i vecchi campioni, perciò i commercianti dovettero restituirli, ottenendo in cambio i nuovi campioni. Un altro problema fu costituito dalla produzione di massa dei nuovi riferimenti, certo non mancarono gli imprenditori che si proposero in tal senso, ma l'Accademia delle Scienze di Parigi non voleva incorrere nei problemi causati da una produzione decentrata, che sarebbe stata meno controllabile e quindi meno precisa.

Il compito più arduo che l'Accademia si trovò ad affrontare fu quello di stabilire le equivalenze tra le vecchie unità di misura e le nuove. L'idea sembrava semplice: da tutta la Francia si dovevano inviare a Parigi i campioni in uso, con i documenti che ne provavano l'autenticità, e l'Accademia li avrebbe confrontati⁴³ con i nuovi per poi pubblicare delle tabelle con i fattori di conversione.

L'idea, però, si rivelò alquanto impraticabile: con la Rivoluzione Francese i signori erano spariti, e con essi anche i campioni delle misure, inoltre gran parte dei comuni non disponeva dei campioni, in particolare i comuni agricoli. Si aggiunga a ciò sia che le misure erano un'infinità, sia che i costi di una simile operazione erano altissimi: i campioni andavano riprodotti, per l'uso corrente, e gli originali dovevano essere spediti a Parigi, garantendo che non si rovinassero durante il trasporto.

Una situazione così complessa favorì l'aumento delle frodi. Approfittando della ignoranza del popolo, che aveva difficoltà ad orientarsi tra le tabelle di conversione delle misure, molti commercianti architettarono vari *escamotage* per truccare le operazioni quotidiane: per contenere l'aumento dei prezzi si diminuiva il peso della merce venduta, o si applicavano i nuovi nomi alle vecchie misure e viceversa, in funzione della convenienza del venditore⁴⁴.

Tutte queste situazioni indisponivano il popolo verso il nuovo sistema che unificava le misure, come essi avevano fortemente desiderato, ma creava complicazioni di interpretazione. Lo Stato francese cercò in ogni modo di aiutare la povera gente, mettendo i campioni a disposizione, insegnando il sistema metrico nelle scuole e istituendo corsi gratuiti aperti a tutti. È sorprendente come ciò che il governo considerava il punto di forza del sistema, ovvero essere decimale, ne divenne il punto debole.

A noi, oggi, il sistema metrico decimale risulta del tutto naturale, in realtà non fu così per le popolazioni a cui questo sistema venne imposto da un momento all'altro.

Innanzitutto è falsa l'idea che fosse naturale: in quanto l'uomo, avendo dieci dita, si pensava fosse abituato a contare per dieci. La gente andava spesso scalza ed era abituata a contare fino a venti, poiché computava anche sulle dita dei piedi. Inoltre la gestione delle decine risultava scomoda perché 10 è divisibile solo per 2 e per 5. Erano dunque preferibili le dozzine (12 è divisibile 2, 3, 4, 6); oppure raggruppamenti di sedici o addirittura di sessanta⁴⁵. Il sistema decimale poteva essere usato facilmente solo conoscendo le regole dello

spostamento della virgola nella divisione e nella moltiplicazione, ma queste operazioni non risultavano molto conosciute nella Francia all'indomani dell'unificazione metrologica.

Anche la nomenclatura era fonte di confusione, troppo nuova e troppo astratta, così diversa da quella delle vecchie misure che, avendo un valore sociale, possedevano nomi che richiamavano sempre qualcosa di concreto, legati o al valore o all'uomo; ad esempio il nome di un'unità di capacità indicava quello del contenitore usato come unità. Nel nuovo sistema il metro aveva ovunque la stessa lunghezza, il grammo lo stesso peso, il litro la stessa capacità. Di una merce, a parità di misura, poteva variare solo il costo; ciò consentiva di confrontare i prezzi. Considerare la misura come invariabile, mentre l'unica variabile era il prezzo, richiedeva una vera e propria rivoluzione culturale. Ma, proprio perciò, il nuovo sistema era troppo astratto, troppo lontano dalle unità di misura antiche che comunque mantenevano, sia per le classi più basse sia per quelle più agiate, una certa praticità e funzionalità. Si trattava di un cambiamento troppo grande per poter essere accettato senza creare sconvolgimenti nel modo di pensare e di conseguenza nel modo di vivere, perciò la sua applicazione divenne una vera e propria guerra tra popolazione e amministrazione.

Con l'avvento dell'impero napoleonico (1804) il neonato sistema decimale subì un arresto: venne introdotta una legge che autorizzò l'utilizzo delle vecchie unità di misura, vanificando così tutto il lavoro precedente [15]. Tale legge fu promulgata per superare le resistenze della popolazione all'utilizzo del nuovo sistema. Era, però, necessario trovare un compromesso fra due opposte esigenze: quella degli scienziati, che volevano impedire lo stravolgimento del sistema, in ciò sostenuti dall'apparato amministrativo che da anni tentava di imporlo, e quella della popolazione che mal si adattava al nuovo sistema perché per essa era incomprensibile.

Il 12 febbraio 1812 venne raggiunto il compromesso: l'impero dichiarava la sua fedeltà al Sistema ma consentiva di utilizzare come multipli e sottomultipli anche elementi non decimali, permettendo l'utilizzo dei nomi tradizionali per queste misure che richiamavano di fatto quelle antiche⁴⁶, ripristinando, in un certo senso, le condizioni del 1790. In realtà il provvedimento fece ulteriormente precipitare la situazione, in quanto si videro circolare in Francia, nello stesso periodo, le vecchie unità di misura, quelle del sistema metrico e queste nuove *attenuate*. Nel 1814, nonostante il ritorno dei Borboni, Luigi XVIII mantenne il compromesso napoleonico. Bastò un anno perché la situazione divenisse insostenibile e si rese necessario un nuovo provvedimento: si vietarono le misure decimali nel commercio al dettaglio, mentre in quello all'ingrosso e negli atti ufficiali esse rimasero obbligatorie. Fu una vera e propria caduta del sistema metrico.

Solo nel 1837, più precisamente il 4 luglio, Luigi Filippo⁴⁷ di Francia emanò un altro decreto con il quale si sanciva il ritorno, dal 1 gennaio 1840, al sistema metrico decimale⁴⁸.

2.5 Difficoltà incontrate nell'attuazione del sistema metrico decimale fuori dalla Francia.

Il 20 maggio 1875 i rappresentanti di 17 paesi, tra i quali l'Italia, firmarono a Parigi la Convenzione del Metro e nacque l'Ufficio Internazionale di Pesi e Misure, con sede a Parigi [17].

Si trattò di una grande conquista, sia pur faticosa, del nuovo sistema di misure, che finalmente si avvicinava al suo obiettivo di universalità. Certamente il risultato fu

raggiunto anche grazie a un cambiamento di mentalità, il XIX secolo era infatti il secolo del Positivismo, contraddistinto da un nuovo entusiasmo, nonché da una grande fiducia nella scienza e nella ragione. La seconda rivoluzione industriale aveva dimostrato che grazie alla scienza si potevano fare formidabili progressi (nuovi strumenti di comunicazione, nuove scoperte mediche, miglioramenti nella produzione agricola ecc.) e tutto ciò aveva contribuito al senso di ottimismo che imperava in tale secolo. La metrologia, nata per scopi pratici e commerciali, comincia ad avvicinarsi alle scienze applicate e alla fisica, tanto che insigni scienziati si cimentarono nell'impresa di adattarla a questi ambiti⁴⁹ [17].

La Convenzione del Metro rappresenta il traguardo di un percorso arduo e tortuoso, durante il quale molti paesi misero in discussione l'utilizzo del sistema francese.

Se nella sua stessa patria l'introduzione del nuovo metodo incontrò diversi e notevoli problemi, possiamo immaginare che fuori da essa la situazione fosse ancora più complicata.

2.5.1 L'Italia.

Una citazione particolare spetta al nostro Paese [5, 12,19]. All'inizio del 1800 l'Italia era una realtà frammentata, divisa in numerosi stati, ognuno dei quali aveva, come intuibile, il proprio sistema di unità di misura. Con l'alternarsi di diverse situazioni politiche anche le unità di misura cambiavano in continuazione, creando una situazione a dir poco disagiata. Già da tempo si avvertiva nella Penisola il bisogno di avere unità più stabili e più utili, al fine di poter commerciare con gli altri stati.

Il sistema metrico decimale francese era in qualche modo conosciuto in Italia grazie al *Saggio del nuovo sistema metrico dell'impero francese, col rapporto delle nuove misure francesi ed a quelle del Piemonte* scritto da Vassalli Eandi⁵⁰, al quale seguirono poi altre due edizioni rivedute in modo che anche i più incolti potessero avvicinarsi a comprendere il nuovo sistema di misura e i suoi vantaggi.

Alcuni territori italiani, già all'inizio del 1800, avevano conosciuto il sistema di misure francese in seguito alla dominazione napoleonica, in particolare grazie alla diffusione dei catasti i quali venivano effettuati mediante il nuovo sistema. Ma il sistema decimale non si era radicato così profondamente da impedire il ritorno alle istituzioni consuete, poi con la Restaurazione la situazione si complicò ulteriormente, anche se non vi fu un divieto ufficiale nei confronti dell'utilizzo delle misure francesi. È il caso della Lombardia che già in passato si era dimostrata resistente ai tentativi di unificazione metrologica⁵¹. Solo quindici anni prima dell'invasione francese lo Stato di Milano aveva visto una riforma metrologica da parte austriaca⁵².

Per questo motivo i francesi erano restii a imporre una nuova riforma metrologica; il milanese l'aveva appena subita e non era pronto per affrontarne un'altra.

Il 4 febbraio 1801 nella Repubblica Cisalpina entrò in vigore il metro; per rendere la sua introduzione più semplice, nel territorio milanese, si distribuirono le tabelle di conversione e i nuovi campioni, inoltre si istituirono corsi per diffondere la conoscenza del sistema decimale; in conseguenza alle enormi difficoltà incontrate dal popolo il metro, nel territorio di Milano, non ebbe un grande utilizzo pratico.

Molto interessante è anche la situazione in Piemonte. Qui il sistema di misura francese aveva non pochi sostenitori, molti dei quali celavano in realtà una simpatia per la Repubblica rivoluzionaria. Tra questi il già citato Vassalli Eandi che, con il suo opuscolo, aveva contribuito alla diffusione del sistema in Italia.



Figura 2.24 – Torino: Accademia Imperiale delle Scienze, Lettere e Arti; oggi *Accademia delle Scienze di Torino*.

Dal 1° ottobre 1809 l'amministrazione torinese, dopo ampie discussioni con l'Accademia, decise l'adozione del sistema metrico di Parigi. Da [119].

Il 7 agosto 1809 il sindaco di Torino annunciò che dal 1° ottobre sarebbe entrato in vigore il sistema di Parigi, si arrivò alla decisione dopo che l'Amministrazione torinese e l'Accademia Imperiale delle Scienze, Lettere e Arti⁵³ di Torino (figura 2.24) lavorarono e discussero a lungo sull'argomento. L'introduzione non fu facile, ma nel giro di pochi anni l'amministrazione raggiunse risultati importanti. Eppure, dopo il ritorno dei Savoia, un decreto del 21 maggio 1814 annunciò la soppressione delle misure francesi e il ritorno a quelle piemontesi, ma, cosa sorprendente, nonostante la revoca il sistema metrico rimase in uso nell'amministrazione statale e nel piccolo commercio locale. Ciò indusse all'emanazione di un nuovo decreto (7 luglio 1826) in cui si stabiliva la coesistenza del vecchio sistema piemontese con quello francese e si fornivano i fattori di conversione fra le unità dei due sistemi. Lo scopo era quello di rendere il passaggio dal vecchio al nuovo sistema il più semplice possibile anche per la popolazione, a questo fine si iniziò a ridurre gradualmente e il numero delle vecchie unità piemontesi ammesse. Possiamo considerare questi anni come una vera e propria preparazione all'introduzione del sistema metrico decimale, avvenuta il 1° gennaio 1850, tramite il decreto del 11 settembre del 1845.

Se dunque il Piemonte e la Savoia erano ben preparati ad affrontare la situazione, lo stesso non si può dire per altri territori del Regno Sabauda, uno fra tutti la Sardegna. Qui il sistema metrico decimale venne introdotto senza preavviso, dato che il decreto del 1845 fu reso noto soltanto l'8 aprile del '50 e si trattò di una vera e propria imposizione dal momento che l'Isola non era affatto preparata ad affrontare il cambiamento. Per molto tempo i contadini sardi si ostinarono a utilizzare le loro vecchie unità di misura e questo fu motivo di scontri con le autorità.

La difficoltà incontrata dai contadini, ma anche da coloro che dovevano imporre il nuovo sistema, era data dal fatto che nell'Isola, contrariamente a ciò che accadeva nelle

grandi città, come ad esempio Roma, non esisteva una base unitaria di pesi e misure. Al contrario i riferimenti metrologici variavano considerevolmente da un punto all'altro del territorio e spesso anche all'interno di uno stesso villaggio. La situazione delle misure in Sardegna era spinosa in quanto l'Isola era un importante punto commerciale, ma la grande varietà del numero delle unità di misura, di una stessa grandezza, e dei nomi ad essa attribuiti, rendeva, spesso, impossibile comparare queste unità con quelle del continente. Ciò creava grossi problemi nel commercio internazionale e in quello interno. Proprio per questo disordine gli studiosi si occuparono poco del problema, sia nei trattati commerciali sia nelle tavole di comparazione tra le vecchie e le nuove unità. Eppure il bisogno di uniformità, in una situazione così complessa, era fortemente sentito da tempo nell'Isola, dove, già dal XV secolo, furono fatti tentativi di unificazione,⁵⁴ che finirono sempre in un nulla di fatto. Nonostante le difficoltà incontrate dalla sua imposizione, il sistema metrico in Sardegna si rivelò estremamente necessario, forse ancor più che in altre realtà italiane, dove comunque esisteva una certa uniformità, seppure soltanto a livello territoriale [7].



Figura 2.25 – Stati Italiani nel 1843.

Non migliore era la situazione nel Regno delle due Sicilie. In questi territori un primo tentativo di unificazione metrologica si attribuisce (non esistono attestazioni sicure [8]) a Ferdinando I d'Aragona Re di Napoli. Il decreto (1480 ?) stabiliva l'uniformità di tutti i pesi e misure in tutto il territorio del Regno, i campioni dovevano essere depositati a Castel Capuano e poi delle copie dovevano essere inviate in tutte le province. La legge rimase in vigore per quattro secoli, sia pure ampiamente disattesa, in particolare negli ultimi 150 anni. Il sistema metrologico in uso risaliva all'epoca della dominazione normanna, l'unità fondamentale della lunghezza, il miglio, era presa dalla natura. Esso corrispondeva alla lunghezza dell'arco di meridiano medio terrestre sotteso da $1/60$ di grado⁵⁵. Il miglio si divideva in 100 parti, ognuna delle quali era chiamata catena, la decima parte della catena era il passo. Come si vede tale sistema seguiva la scala decimale (1 miglio = 100 catene = 1000 passi). Successivamente ci si rese conto che il passo era troppo grande e quindi venne diviso in sette parti tradendo la divisione decimale.

Per quanto riguarda le misure di aridi⁵⁶ e liquidi le frodi erano assai comuni. I liquidi si misuravano in peso (anche se per il vino esistevano svariate unità di misura di capacità il cui valore era stabilito dal peso dell'acqua che esse potevano contenere) e dunque, nel decreto di Ferdinando I, non si faceva riferimento a misure di capacità per i liquidi. Il contenitore per misurare gli aridi era il tomolo, l'unità valeva circa 55,5 litri ma vi erano diversi sottomultipli (figura 2.26). Non era inusuale che anche per gli aridi si usassero misure di peso. Se poi si doveva misurare qualcosa di grande importanza allora si associavano peso e capacità.

Il valore delle monete era l'oncia d'oro (26,73 g) e la sua divisione, 30 tari con 1 tari=20 grana/i, era simile a quella dell'oncia di peso (26,73 g) divisa in 30 trappesi con 1 trappeso=20 acini.



Figura 2.26 – Tomolo e suoi sottomultipli in base due (metà, un quarto, un ottavo). Museo della Civiltà Contadina di Supersano Lecce.

Fu Ferdinando II di Borbone che con una legge del 6 aprile 1840 stabilì che non vi era motivo per adottare il sistema metrico decimale francese, che durante il regno di Giuseppe Bonaparte⁵⁷ (1806-1808) e quello di Murat⁵⁸ (1808-1815) si era mescolato al sistema precedente, e optò per l'antico sistema, vecchio di quattro secoli e mai abrogato, cercando di renderlo più semplice attraverso una comparazione con il sistema francese e adattandovi la progressione decimale. La decisione fu la risultante di alcune considerazioni: i criteri ispiratori del sistema siculo erano i medesimi di quello francese (unità prese dalla natura e divisione decimale, anche se non perfetta) e inoltre il sistema era ben adattato agli usi pratici ma anche alle arti e alle scienze.

Il palmo (26,455 cm) fu comparato al metro francese. Per le misure di capacità per gli aridi il tomolo (3 palmi cubici) rimase inalterato, ma considerandolo parte secondaria del sistema non venne applicata la divisione decimale.

I liquidi, come già detto, venivano misurati in peso, ma si erano diffusi anche vari recipienti che erano divenuti unità di misura di volume. Tra tutti si scelse il barile di Napoli (1 barile = 60 caraffe; 1 caraffa = 0,7271 litri) che era il più diffuso e conosciuto e accettato alle dogane. Neanche qui si impose la divisione metrica per non alterare le consuetudini secolari del popolo. Una particolarità era rappresentata dall'olio, esso si misurava a peso anche se nel mercato minuto vennero fatte alcune eccezioni e fu possibile misurarlo in base al volume.

L'unità di misura di peso era il rotolo (circa 890 g), ma solo per scopi medici e farmaceutici si consentì di continuare ad utilizzare la libbra (circa 320,76 g = 12 onces di peso).

Si deliberò che in ogni provincia fossero esposti pubblicamente i campioni affinché ognuno potesse confrontarli con i propri. L'uso dei pesi stabiliti dalla legge venne reso obbligatorio per le autorità e le amministrazioni pubbliche, mentre nel privato era possibile per cinque anni usare le vecchie misure a condizione che nei contratti venissero dichiarati pesi e misure utilizzati, nonché il ragguaglio con le misure stabilite dalla legge, in modo che il popolo si convincesse che non si erano prodotte alterazioni nelle quantità. Grazie alle tavole di comparazione e alla divisione decimale, che in qualche modo era già conosciuta in Sicilia, quando venne introdotto il sistema metrico le difficoltà per adattarsi furono minori che altrove, anche se le resistenze mentali non furono poche, sia per l'ignoranza delle classi più povere, sia per la reticenza delle classi più colte ad abbandonare il vecchio sistema imposto da Ferdinando d'Aragona, che essi consideravano migliore di quello arrivato dalla Francia [1].

Con l'unificazione di tutto il territorio italiano, l'introduzione del sistema metrico divenne assolutamente necessaria in un'Italia ancora alla ricerca di una propria identità nazionale e quindi impegnata a favorire tutte le riforme che potevano contribuire alla realizzazione di questo obiettivo.

Il sistema metrico decimale venne recepito dall'Italia l'1 gennaio 1863, tramite la legge n. 132 del 28 luglio 1861. Dal punto di vista dei commerci e delle relazioni internazionali, sicuramente fu un grande vantaggio per la nostra Penisola e anche gli scambi all'interno del territorio furono facilitati. Eppure molte aree della popolazione faticarono a riceverlo, si creò così una frattura nel suo utilizzo fra minoranze evolute e masse arretrate, che nella pratica si servivano delle loro consuetudini, in particolar modo nelle campagne; non solo ma in larghi strati della popolazione non si comprendeva il bisogno di un tale cambiamento. Se fino ad allora si era andati avanti senza di esso, evidentemente non era così necessario.

Anche in Italia, proprio come in Francia, si ebbero problemi nell'adattarsi a misure che si esprimevano mediante rapporti matematici [19]; inoltre un grande ostacolo

alla comprensione del nuovo sistema era la sua astrattezza e la sua impersonalità, che poco aveva a che fare con i vecchi sistemi i quali mantenevano forti legami con le attività per le quali erano stati creati⁵⁹. Proprio per la loro funzionalità difficilmente queste misure potevano essere adattate a quelle decimali, e inoltre la stessa misura variava a seconda dell'utilizzo che se ne faceva, ovviamente sempre in favore della misura del venditore.

Per quanto riguarda la misura del tempo, nel 1866, una legge uniformava tutti gli orologi dei territori dell'Italia unificata al meridiano di Roma che era avanti rispetto a quello di Londra di 49 minuti e 56 secondi. La legge però non si curò della Sicilia, che continuò a misurare l'ora in base al meridiano di Palermo (53 minuti e 24 secondi avanti rispetto a Londra), e della Sardegna, che si riferiva al meridiano di Cagliari (avanti di 36 minuti e 24 secondi). Il fatto era molto curioso, e lasciava pensare che il neonato Stato Italiano riconoscesse alle due isole una propria identità geo-politica, quasi fossero due stati a sé ma sotto il controllo della Nazione. Il problema si sarebbe risolto nel 1893 quando anche l'Italia accettò la Convenzione Internazionale che divideva il mondo in fusi orari.

2.5.2 Il Regno Unito.

In Gran Bretagna e nei territori annessi le misure del loro Sistema, detto Imperiale, erano già abbondantemente unificate, infatti alla metà del XIX secolo si era riusciti a sradicare la maggior parte delle misure tradizionali (per lo più antropometriche) usate nelle varie parti del Regno.

Alla base dello scontro metrologico fra Londra e Parigi c'era la diversa visione del parametro di partenza, che doveva essere *fisico* per Londra (lunghezza del pendolo), *naturale* per Parigi (lunghezza del meridiano). A questo proposito il fisico inglese John F. W. Herschel⁶⁰ propose di adottare come parametro naturale la lunghezza dell'asse terrestre che misurava esattamente 500 500 000 pollici imperiali. Con questo *escamotage* tutto poteva essere modificato senza cambiare niente (figura 2.27).

Ma, al di là degli scontri fra gli *addetti ai lavori*, i motivi della riluttanza britannica erano fondamentalmente politici ed economici:

1. Il sistema metrico decimale era nato dalla Rivoluzione Francese, accettarlo avrebbe dato visibilità ad un evento storico evidenziandone i benefici prodotti, ovviamente l'Inghilterra aveva tutto l'interesse a nascondere questa cosa.
2. Non se ne sentiva l'esigenza dal momento che l'Inghilterra era il regno meglio amministrato d'Europa e le misure erano abbastanza unificate al suo interno. Il sistema decimale sarebbe stato uno sconvolgimento per la popolazione abituata ad altri metodi di suddivisione, come quello per dodici, per sedici o per venti.
3. Il commercio con gli altri stati non rappresentava un problema, dato che le misure inglesi erano conosciute ormai da secoli e quindi non costituivano un ostacolo alle transazioni.

Col tempo, man mano che aumentava il numero dei paesi che adottavano il sistema decimale, la sua introduzione divenne un problema da risolvere anche in Inghilterra. Il primo tentativo si fece nel 1862 quando si propose di utilizzare questo sistema, ma la proposta venne bocciata dalla Commissione Parlamentare. Nel 1897 si introdusse l'uso facoltativo del sistema metrico, con scarse conseguenze pratiche, esso venne utilizzato principalmente in medicina, in farmacia, nelle ricerche scientifiche e in quei rari casi in cui le merci erano richieste da clienti stranieri.



A



B

Figura 2.27 – A) Londra *Trafalgar Square*. Sulla scalinata sono riportate, in ottone, le unità di misura delle lunghezze del sistema imperiale. B) Targa delle unità di lunghezza.

I nemici del sistema erano numerosi e cercavano di sottolineare, o diciamo pure di enfatizzarne, gli effetti negativi; tra questi vi era il costo e il fatto che i paesi che vi avevano aderito si erano trovati ad affrontare diversi problemi, dal momento che le masse ne erano ancora molto distanti. Oltre a sottolineare i presunti svantaggi del sistema francese si evidenziava la semplicità e l'uniformità del sistema britannico, per arrivare alla tesi che non era affatto necessario sostituirlo.

La *querelle* si protrasse per molto tempo e tra gli oppositori prese piede l'idea che nei mercati orientali le misure inglesi incontravano minori difficoltà di quelle del sistema metrico.

Nel 1949 nacque in Inghilterra un Comitato per legiferare sui pesi e sulle misure che si pronunciò in favore del sistema metrico decimale, premendo sul fatto che il Sistema Imperiale non era assolutamente universale e ciò causava problemi al mercato estero britannico. Il Comitato esigeva la riforma e imponeva tre punti fondamentali:

- un accordo con i paesi del *Commonwealth* per l'adozione della riforma,
- l'introduzione del sistema decimale anche nella moneta,
- un'opera di propaganda e di insegnamento del sistema verso la popolazione.

Nonostante ciò nel 1952 il ministro del commercio si esprime negativamente sull'adozione del sistema metrico. Tale rifiuto al sistema francese proseguì fino al 1965,

quando il Parlamento inglese annunciò la decisione di voler favorire in Inghilterra l'adozione del sistema metrico decimale, ma tale riforma potrà dirsi completata solo nel 1980.

Così anche l'Inghilterra ha ceduto al sistema francese, dopo 150 anni di netto rifiuto e con costi decisamente superiori a quelli che avrebbe dovuto affrontare se lo avesse adottato in precedenza.

2.5.3 Il resto d'Europa.

Oltre a quelli già indicati, anche altri territori incontrarono difficoltà a far accettare l'unificazione metrologica, tanto indispensabile quanto rivoluzionaria.

Ginevra, durante la dominazione napoleonica, era una città in forte crescita capitalistica e le campagne erano ormai molto lontane dal feudalesimo, perciò essa appariva pronta e idonea per l'introduzione del nuovo sistema. In pochi anni si erano fatti parecchi progressi, ma inaspettatamente la situazione precipitò a causa del compromesso napoleonico. La concessione alle vecchie unità di misura francesi aveva poco a che vedere con le vecchie unità di misura ginevrine, perciò per il popolo esse erano estranee quanto quelle metriche e si generò, pertanto, una situazione quasi grottesca che vedeva la coesistenza di tre sistemi: quello delle antiche unità ginevrine, quello metrico decimale e quello del compromesso napoleonico, che in pratica era un insieme di nuove e vecchie misure francesi. Dunque, a causa del compromesso e del caos che tale decisione aveva creato, il 1° ottobre del 1816, venne emanata una nuova legge con la quale la città si allontanava definitivamente dal sistema metrico e riportava in uso le antiche unità di misura del territorio, nessuna delle quali era multiplo o sottomultiplo del metro. Ginevra adottò il sistema francese soltanto nel 1876, insieme agli altri paesi della Convenzione del Metro.

La Francia, promotore assoluto del sistema metrico decimale, non fu il primo paese ad adottarlo in modo definitivo; i Paesi Bassi la anticiparono di circa 20 anni con un decreto, di Re Guglielmo I d'Orange, del 1820.

Gli Stati Tedeschi adottarono il Sistema nel 1868 rendendolo obbligatorio dal 1° gennaio 1872. Ad essi seguirono l'Austria (1871) e l'Ungheria (1874).

Diversa era la situazione nei paesi dell'Europa orientale e nei paesi baltici dove il metro fu ben accolto⁶¹ poiché arrivò con la conquista dell'indipendenza e ciò comportò che le vecchie unità di misura venissero abbandonate di buon grado poiché erano simbolo dell'occupazione straniera.

La Russia zarista utilizzò il sistema metrico fin dal 1900, come simbolo di modernizzazione del Paese; ma fu l'Unione Sovietica che lo rese obbligatorio nel 1922.

La Spagna fu tra le prime nazioni ad essere invitate all'adesione al sistema metrico, in quanto la Catalogna aveva avuto un ruolo importante nella misurazione del meridiano dal quale venne ricavato il metro⁶². Eppure le cose non furono semplici. La legge del 1849 stabiliva l'entrata in vigore del sistema metrico nel 1852, ma questa data fu ritardata per sei volte.

In Portogallo la situazione era simile a quella della Spagna: la legge sull'introduzione del sistema metrico fu emanata nel 1852 e prevedeva una fase transitoria di 10 anni. La definitiva accettazione arrivò dopo varie proroghe.

L'uso del sistema metrico francese in Spagna e Portogallo assunse una valenza extra-europea, poiché comportò la sua adozione anche nell'America Latina⁶³. In realtà tali paesi, per la maggior parte, avevano ottenuto la libertà dal punto di vista politico ma a livello culturale restavano ancora molto legati alle nazioni che per molto tempo li avevano

dominati. Similmente a ciò che accadde in Europa, nei territori sud americani l'introduzione del sistema metrico non fu semplice e le popolazioni per molto tempo continuarono a utilizzare le loro antiche unità di misura [3].

2.5.4 Al di fuori dall'Europa.

Uscire dall'Europa, per addentrarsi in quelle che sono civiltà antichissime, come la Cina o il Giappone, sarebbe sicuramente troppo ampio e poco centrato sulle finalità di questo lavoro. Ci limiteremo, pertanto, a pochi cenni relativi al periodo in cui queste nazioni accettarono il sistema metrico.

Ciò che stupisce è che nonostante la distanza e la diversità di queste regioni dai territori europei, i problemi incontrati dal sistema metrico decimale furono per lo più gli stessi, ovvero il suo carattere troppo astratto e la divisione decimale. Ma anche le situazioni di frodi subite dal popolo per colpa di misure diverse e poco conosciute non furono molto diverse da quelle subite dai popoli europei.

Molto complicato fu il caso della Cina, l'immenso territorio aveva subito da sempre vari tentativi di unificazione metrologica che andavano di pari passo con i tentativi di unificazione del potere imperiale, ma via via che il potere centrale si disgregava le unità di misura si differenziavano di regione in regione, creando una situazione a dir poco complicata⁶⁴.

Le potenze europee erano molto interessate a imporre alla Cina le misure del sistema metrico, soprattutto nell'ambito del commercio internazionale. Il 29 agosto 1908, dopo che l'ambasciatore imperiale cinese si era recato al *Bureau International des Poids et Mesures*, venne promulgata la legge a favore del sistema metrico. In realtà restavano in uso le vecchie unità di misura ma queste dovevano essere confrontate con i campioni di Parigi e in più, ove fosse stato possibile, si doveva misurare direttamente con il sistema decimale. Fu una vittoria per la Francia, dato che i diplomatici inglesi da tempo erano interessati ad imporre alla Cina il sistema imperiale.

Come già detto l'introduzione del sistema fu molto complessa, anche perché l'ostacolo posto dalla terminologia, che conteneva suoni non esistenti nel cinese, sembrava insormontabile; tanto che nel 1929 fu emanato una sorta di compromesso: si autorizzò l'uso delle misure cinesi nel commercio al minuto mentre nel commercio all'ingrosso e nella contabilità dello stato si doveva ricorrere alle misure francesi.

Soltanto nel 1959, dopo una fase di stallo dovuta alla guerra civile e alla guerra con il Giappone, la riforma venne ripresa. Per facilitare la sua comprensione da parte della popolazione si decise di usare la vecchia terminologia adattandola però ai valori delle misure decimali e per proteggere la popolazione da possibili frodi vennero confiscate tutte le vecchie unità di misura e i campioni fornirono materia prima per crearne di nuovi. Nel corso di solo cinque mesi tutta la Cina venne fornita dei nuovi campioni.

La storia della Cina, così lontana e così diversa dalla Francia, ha con essa un punto in comune: ci insegna che fu possibile introdurre un sistema di misure equo e omogeneo soltanto dopo aver eliminato i privilegi del feudalesimo e quindi gli obblighi dei contadini verso i signori, i quali erano da sempre motivo di abuso e frode. L'ideologia del *due pesi e due misure* ovvero una misura maggiore per la riscossione dei tributi e una minore per altre transazioni, come ad esempio i prestiti, era fortemente connessa al feudalesimo e non fu possibile eliminarla senza prima cancellare quel tipo di società [12].

Corea e Giappone si convertirono al sistema metrico soltanto dopo la seconda guerra mondiale [3].

Il sistema metrico tradizionale giapponese si chiamava *Shakkanhou*, nome derivato dall'unità di misura di lunghezza, *shaku*, e dall'unità di misura di peso, *kan*.

Il sistema ebbe origine in Cina nel XIII secolo a. C. (dinastia Shang) e si stabilizzò nel X secolo a. C. (dinastia Zhou). Dalla Cina si diffuse in Giappone (ufficialmente nel 701), nel sud-est asiatico e in Corea.

Esistono alcune versioni dello *Shakkanhou*. Nel 1891, per le unità di misura più comuni, furono definiti i coefficienti di conversione dal sistema tradizionale al sistema metrico decimale. Nel 1924 le vecchie unità di misura furono completamente sostituite dal sistema metrico decimale che divenne obbligatorio, per gli scopi pubblici, il 31 marzo 1966. Tuttavia, in molti casi, il vecchio sistema è ancora usato; ad esempio il censimento 2005 ha autorizzato l'indicazione della superficie delle case e dei terreni sia in metri quadrati sia in *tsubo* ($= 3,306 \text{ m}^2 = 1 \text{ ken}^2$).

Un caso a sé, nella storia del sistema metrico decimale, lo costituiscono gli Stati Uniti d'America. In questo Territorio il tema delle misure ha suscitato una grande passione creando dibattiti molto accesi, ma fino ad oggi i sostenitori del sistema imperiale hanno avuto la meglio contro i sostenitori del sistema metrico decimale. Il perché è dovuto a ragioni storiche intrinseche al Paese. Innanzi tutto gli Stati Uniti non avevano conosciuto una società di tipo feudale e quindi avevano potuto godere una relativa uniformità nelle loro misure⁶⁵. Inoltre stiamo parlando di un Paese che possiede un potere economico molto forte e per molti aspetti trainante per il resto del mondo, ciò ha dato loro la possibilità di non incontrare grandi problemi pur non uniformandosi alle misure metriche usate in quasi tutto il mondo.

In realtà gli americani proposero una conversione spontanea nei confronti del sistema metrico a partire dal 1870, in parole più semplici il metro non venne reso obbligatorio, ma fu possibile servirsene per ragioni di tipo commerciale. Gli oppositori furono tanti, in particolare i nazionalisti che videro nell'utilizzo del sistema metrico quasi un colpo alla libertà della Nazione e un'imposizione da parte dell'Europa.

La questione sulla necessità o meno di uniformarsi alle unità di misura del resto del mondo si protrasse al lungo negli Stati Uniti. Nel 1971 *National Bureau of Standards* (Ufficio Nazionale per la standardizzazione) pubblicò uno studio dal titolo *A Metric America: A Decision Whose Time Has Come* (Un'America metrica: una decisione da prendere). Il titolo era abbastanza significativo per comprendere quanto fosse sentita la conversione al sistema metrico: i commerci internazionali ne avrebbero tratto un grande vantaggio e inoltre essa era molto richiesta dall'industria per poter avviare collaborazioni con altri paesi. Nonostante ciò, il tentativo di introduzione del sistema metrico si risolse in un fallimento; i giornali continuarono a deridere i sostenitori delle misure metriche e i cittadini reagirono violentemente a tutti i tentativi di cambiamento delle loro vecchie unità di misura, ad esempio distruggendo i segnali stradali che presentavano misurazioni in chilometri e non in miglia.

Nel 1992 alcuni sondaggi dimostrarono che, pur essendo aumentata la consapevolezza dell'importanza del sistema metrico decimale, i sostenitori di tale sistema nella Nazione erano dimezzati.

La diversità del sistema di misura imperiale e di quello internazionale ha causato non pochi problemi, uno tra tutti l'incidente capitato l'1 dicembre 1999 al *Mars Climate Orbiter* (figura 2.28), ovvero il satellite inviato su Marte dalla NASA per compiere studi sul clima del pianeta rosso (ricordiamo che anche gli USA utilizzavano il sistema imperiale). Il satellite invece di posizionarsi su un'orbita distante 150-140 km dalla superficie di Marte, scese fino a 57 km dalla superficie, distanza alla quale iniziò a subire

gli effetti dell'atmosfera e della gravità del pianeta fino a incendiarsi e precipitare su di esso, distruggendosi. Si scoprì che l'incidente era stato causato da un errore metrologico: alcuni dati erano stati calcolati in base al sistema imperiale (libbra-forza · secondi) mentre invece il *team* di navigazione si aspettava che tali dati venissero espressi con le unità del sistema metrico (newton · secondi)⁶⁶. Per questo motivo i propulsori ricevettero un impulso eccessivo che portò il satellite a inserirsi troppo a fondo nell'atmosfera marziana, disintegrandosi. L'incidente costò alla NASA 328 milioni di dollari.

Quello che avvenne al *Mars Climate Orbiter* è utile per farci comprendere l'importanza di un sistema di misure chiaro e omogeneo a livello internazionale, ancor più in una società come quella attuale che ha bisogno di calcoli estremamente precisi. Era accaduto ciò che gli ideatori del sistema metrico decimale volevano evitare, ovvero che l'impossibilità di comunicare chiaramente, nell'ambito delle misure, portasse a disastri simili.

Ai giorni nostri la situazione in America è in qualche modo migliorata, nel senso che il sistema metrico viene utilizzato molto spesso e che gli americani affiancano frequentemente le misure metriche alle loro; eppure essi appaiono ancora lontani da una conversione.

È molto curioso il fatto che proprio l'America, ossia il paese che sta guidando il mondo verso la globalizzazione, che sta operando un livellamento nelle diversità culturali, si mantenga così fermamente attaccata alla sua diversità [3].

Presto o tardi gli americani si renderanno conto che è giunto il momento, non perché il resto del mondo utilizza il sistema metrico decimale, ma perché l'America l'ha fatto proprio [3, pag. 545].



Figura 2.28 – Modello del *Mars Climate Orbiter*, satellite inviato su Marte dalla NASA l'1 dicembre 1999; disintegratosi sul suolo marziano per un errore nelle unità di misura. Da [115].

2.6 Note.

¹ Carlo Magno (742 – Aquisgrana, 814), re dei Franchi e dei Longobardi, imperatore del Sacro Romano Impero. Ampliò il regno dei Franchi fino a comprendere una gran parte dell'Europa occidentale. La notte di Natale dell'anno 800 papa Leone III lo incoronò imperatore, fondando l'Impero carolingio. In Europa occidentale, con Carlo Magno si ebbe la realizzazione un nuovo modello imperiale che superava le ambiguità giuridiche dei regni romano-barbarici. L'impero carolingio non ebbe lunga durata (800–887), ma la portata delle riforme (giuridiche, amministrative, economiche ecc.) attuate da Carlo Magno e la sua valenza sacrale influenzarono la vita e la politica del continente europeo nei secoli successivi.

² La Pila di Carlo Magno è ampiamente rappresentata nella pittura del XV secolo:



Nei particolari qui riportati si evidenzia l'uso della Pila di Carlo Magno sia per il *prestatore di denaro* (a sinistra) sia per l'*orafo* (a destra).



Quentin Metsys (pittore fiammingo)
(Lovanio, 1466 – Anversa, 1530),
Le prêteur et sa femme, 1514
Musée du Louvre, Paris
Da [116].



Petrus Christus (pittore fiammingo)
(Baarle-Hertog, 1410-20 – Bruges, 1475 circa)
A Goldsmith in His Shop, 1449
The Metropolitan Museum of Art, New York
Da [116].

³ Carlo II detto il Calvo, (Francoforte sul Meno, 823 – Bride les Bains, 877) figlio dell'imperatore Ludovico il Pio e della seconda moglie, Giuditta. Fu re dei Franchi (840–877) e sovrano dell'impero carolingio (875–877).

⁴ L'editto venne promulgato, come il suo nome lascia intendere, nella città di Pistres, l'odierna Pîtres, nel dipartimento francese dell'Eure, il 25 luglio 864. Esso sanciva anche a livello legislativo la distinzione fra le popolazioni del nord della Gallia, ove la razza franca era in netta prevalenza ed era disciplinata da un complesso di norme a carattere consuetudinario e le popolazioni del sud, quasi totalmente composte da gallo-romani e sottoposte alla *lex romana*.

Se qualcuno verrà sospettato di aver adulterato la misura e di aver preso del vino, o l'annona, con moggio o stajo maggiori, o di aver venduto con una misura minore, se è un uomo libero o paghi una multa idonea secondo la propria legge, ovvero, se sarà provato che lo fece, o che ordinò e acconsentì che fosse fatto, quello che sottrasse [...] gli venga tolto dai funzionari dello stato e inoltre versi la nostra ammenda [...] se è un colono o un servo lo si sottoponga al giudizio di Dio [...] sia spogliato e battuto con verghe [...] dopo la punizione secondo la legge subisca il giudizio ecclesiastico [16].

D'altra parte la legislazione ecclesiastica contribuì a mantenere i rapporti commerciali diffondendo le disposizioni dell'Editto sulle misure del moggio (*modius* antica unità di misura romana di capacità per aridi) e dello stajo (*sextarius* misura di capacità romana per cereali e aridi) che i conti, e ogni altro ministro dello Stato, dovevano aver cura di conservare *in civitatibus et in vicis vel in villis ad vendendum et emendum*, con gravi pene per coloro che avessero alterato tali misure.

⁵ Amedeo VII conte di Savoia, detto il Conte Rosso (Chambéry, 1360 – Castello di Ripagna, 1391). Il suo più grande successo fu l'acquisto della città e contea di Nizza (1388), ottenuto attraverso un accordo con i Grimaldi di Bueil, per cui il suo stato ottenne uno sbocco al mare.

⁶ Con l'editto di Chambéry di Amedeo VII (1389) i contabili del patrimonio del principe, o maestri dei conti, costituirono un collegio autonomo e divennero *sedentori* (non seguivano più il sovrano nei suoi spostamenti) dando origine alla Camera dei Conti [18].

⁷ L'astrolabio in figura contiene due timpani, uno per le latitudini 30° e 33°, e l'altro 36° e 42° (corrispondenti alle regioni comprese tra la Persia e il Mar Nero). È completo di alidada, di regolo e di rete. Nel dorso presenta un doppio quadrato delle ombre e il calendario zodiacale. Lo strumento, proveniente dalle collezioni mediche, è completo di custodia di pelle nera lavorata (coperchio mancante) che porta all'interno una nota manoscritta del XVI secolo nella quale si ricorda che l'astrolabio fu portato dalla Spagna e che risale al 1252.

⁸ È il caso dell'astrolabio, strumento astronomico della tradizione araba o ancora di trattati come quello dei fratelli Banù Musà, il *Liber Karastronis* sulle condizioni di equilibrio della bilancia [16].

⁹ Le stoffe avevano le dimensioni dei telai di produzione, era dunque impossibile confezionarli in base alle dimensioni in uso nei paesi dove esse venivano esportate [12].

¹⁰ Juan Fernández de Velasco, Duca di Frias e Conte di Haro (1550 circa – Madrid, 1613) diplomatico spagnolo. Fu governatore di Milano per tre volte 1592-1595; 1595-1600; 1610-1612. Prese numerose iniziative contro gli abusi ecclesiastici; emise una grida contro il lusso delle classi agiate in occasione del carnevale, perché nessuno osasse vestirsi con tele d'oro o d'argento o drappi di seta, pena la confisca dell'abito. Nel suo terzo mandato introdusse il principio per cui le gride dei governatori continuassero ad avere effetto per

due mesi dopo la morte del governatore promulgante. Si impegnò contro l'incetta del grano, autorizzando i *prestinaï* a prendere al prezzo comune il grano di cui avevano bisogno, a prescindere dal prezzo praticato dagli speculatori [117].

¹¹ Don Pedro Enríquez d'Azevedo y Toledo, conte di Fuentes de Valdepero (Zamora, Spagna, 1525 – Milano, 1610) generale e politico spagnolo, governatore di Milano dal 1600 al 1610, fu l'emblema del terrore della nobiltà italiana. Introdusse l'obbligo per gli stampatori di sottoporre ogni libro all'approvazione del governo. Dispose il trasferimento delle bancarelle del mercato ortofrutticolo dalla piazza del Duomo alla vicina zona del Verziere, per rispetto verso la cattedrale. A lui si deve il palazzo del capitano di giustizia [117].

¹² *Libbra grossa*, pari a 762 grammi, veniva usata per la misura dei commestibili, la seta greggia e tutti i generi di cuoio. *Libbra sottile*, pari a 327 grammi, veniva usata per la misura della seta lavorata, della grana (tipo di tessuto) e in generale per la *roba da mercadanti*. Multiplo della libbra grossa erano il *peso* = 10 *libbre* e il *fascio* = 10 *pesi*. Pesi e fasci erano *grossi* se riferiti alla *libbra grossa*. Queste unità erano usate per pesare materiali ferrosi.

¹³ Gabriel Mouton (Lione, 1618 – Lione, 1694) scienziato francese che si occupò di matematica e astronomia. Mouton fu un pioniere nella ricerca di unità di misura di natura pratica, proponendo un sistema metrico decimale a partire dal *milliare* (miglio), definito come la lunghezza dell'arco di un minuto di grado del meridiano terrestre (pari a 1,852 km), la *centuria* (1/10 di *milliare*), la *decuria* (1/100 di *milliare*), la *virga* (1/1000 di *milliare*, pari a 1,852 m) assunta come unità di misura della lunghezza con i suoi sottomultipli: *virgula decima*, *virgula centesima*, *virgula millesima*. Mouton fu dunque il primo fisico a proporre un campione di lunghezza universale basato su una dimensione del globo terrestre [4].

¹⁴ G. Mouton propose di adottare come campione di lunghezza 1/10 000 dell'arco di un minuto di un meridiano terrestre, la cui lunghezza coincideva con quella di un pendolo che, a Lione, compiva 3959,2 oscillazioni in mezzora.

¹⁵ Equazione del pendolo semplice (teorico) ovvero un pendolo con massa oscillante puntiforme appesa a un filo privo di massa e inestendibile. In esso il periodo delle oscillazioni è indipendente dall'ampiezza di queste secondo la formula:

$$T = 2\pi\sqrt{l/g};$$

dove: T = tempo per un'oscillazione completa,

l = lunghezza del pendolo,

g = accelerazione di gravità.

In pratica si può ritenere valida l'equazione anche nei casi in cui le oscillazioni non superino i 4°.

¹⁶ Jean-Felix Picard (La Flèche, 1620 – Parigi, 1682) abate, astronomo e geodeta francese. Nel 1669-1670, l'*Académie royale des Sciences* lo incaricò di misurare l'arco di meridiano tra Parigi e Amiens. Le misure che effettuò lo portarono a calcolare, con una incertezza inferiore allo 0,5 %, le dimensioni della Terra. I risultati di Picard furono utilizzati da Newton per i propri studi.

¹⁷ Tito Livio Burattini (Agordo, Belluno, 1617 – Vilnius, oggi in Lituania, 1681) inventore e studioso di fisica; nel 1641 si stabilì in Polonia, dove diresse la zecca di stato. Nel suo volume *Misura universale* (1675) propose come unità di lunghezza quella del pendolo che batte il secondo, attribuendo a tale unità il nome di *metro*; da essa derivò le unità di misura per superfici e volumi e indirettamente anche per i pesi.

¹⁸ Il tempo qui considerato è quello impiegato dal pendolo per andare da un estremo all'altro (semiperiodo); il tempo impiegato per andare da un estremo all'altro e tornare all'estremo di partenza è il periodo.

¹⁹ Auguste-Savinien Leblond d'Olblen (Parigi, 1760 – Parigi, 1811) matematico francese. Fu l'ideatore di un dispositivo meccanico per facilitare la conversione dalle vecchie unità di misura a quelle metriche; lo strumento fu rapidamente soppiantato dal regolo calcolatore (*log-log slide rule*) realizzato nel 1815 dall'inglese Peter Mark Roget (1779 – 1869) che aveva una scala di visualizzazione del logaritmo del logaritmo e consentiva di effettuare semplicemente il calcolo esponenziale e l'estrazione di radice.

²⁰ Charles-Maurice de Talleyrand-Périgord, principe di Benevento (Parigi, 1754 – Parigi, 1838), appartenente al casato dei Talleyrand-Périgord, fu principe, vescovo e politico. Servì la monarchia di Luigi XVI, poi la Rivoluzione francese nelle sue varie fasi, l'impero di Napoleone Bonaparte e poi di nuovo la monarchia, con Luigi XVIII, fratello e successore del primo monarca servito, e infine, dopo la rivoluzione del 1830, la monarchia costituzionale di Luigi Filippo di Borbone d'Orléans.

Talleyrand è considerato il campione assoluto del camaleontismo. Fu persona di grande intelligenza politica e fu sempre un anticipatore dei suoi tempi, dimostrando di saper vedere nel futuro molto più lontano di quanto sapessero fare i suoi contemporanei. Fu, con Metternich, il *registra* del congresso di Vienna. Nel corso della sua lunga carriera ottenne diversi soprannomi, tra cui i più noti sono: *Il diavolo zoppo*, *Il Camaleonte* e *Lo stregone della diplomazia*.

²¹ Sir John Riggs-Miller (County Clare, Irlanda, 1744 – Londra, 1798) politico anglo-irlandese il quale sostenne la sostituzione del sistema tradizionale ed empirico di pesi e misure, con un sistema fondato su basi scientifiche.

²² Thomas Jefferson (Shadwell, 1743 – Charlottesville, 1826) politico, scienziato e architetto statunitense. È stato il 3° presidente degli Stati Uniti d'America ed è inoltre considerato uno dei padri fondatori della Nazione. Nel periodo indicato era Segretario di Stato e il Presidente Washington gli chiese di redigere una relazione sulla riforma dei pesi e delle misure negli Stati Uniti, a tale proposito Jefferson si offrì di coordinare le sue proposte con i francesi.

²³ Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat, marchese di Condorcet (Ribemont, 1743 – Bourg-la-Reine, 1794) matematico, economista, filosofo e politico francese. Nel 1782 fu eletto all'*Académie Française*. Fece parte del gruppo degli enciclopedisti, stringendo una proficua collaborazione in particolare con Jean-Baptiste D'Alembert e con Voltaire. Nel 1769 entrò a far parte dell'*Académie des Sciences*, di cui divenne segretario nel 1773. Fondatore della *matematica sociale* e fautore di una visione ottimistica della storia, fu sostenitore del sistema metrico decimale destinato *a tutti gli uomini e a tutti i tempi*. Il metro sarebbe stato eterno perché tratto dalla Terra che a sua volta è eterna. Il metro sarebbe stato patrimonio di tutti gli uomini, proprio come la Terra appartiene a tutti.

²⁴ Obiezione pretestuosa perché bastava definire dove fare oscillare il campione. Lo stesso legame con l'accelerazione di gravità c'era anche per il campione di peso ma non furono fatte obiezioni risolvendo il caso indicando che: l'unità di peso era stabilità al livello del mare e alla latitudine di 45°. Bastava dirlo anche per il pendolo!

²⁵ Per la filosofia illuminista la natura aveva un ruolo fondamentale, essa era comune a tutti i popoli e quindi era un elemento unificante.

²⁶ Per una lettura approfondita sulla spedizione che portò alla misura del meridiano e quindi alla nascita del metro, e di tutte le grandezze che da esso derivarono, si veda [3].

²⁷ Jean-Baptiste Delambre (Amiens, 1749 – Parigi, 1822) astronomo e matematico francese. Nel 1792 diventa *associé géomètre* dell'*Académie des Sciences*, di cui sarà segretario per le scienze matematiche a partire dal 1800. Con Pierre Méchain misura la lunghezza dell'arco di meridiano passante da Parigi, compreso fra Dunkerque e Barcellona, con l'obiettivo di stabilire la lunghezza del metro in modo che il meridiano risultasse lungo esattamente 40 milioni di metri. Questa spedizione durò dal 1792 al 1799.

²⁸ Pierre François André Méchain (Laon, 1744 – Castellón de la Plana, Spagna, 1804) astronomo e geodeta francese. Prese parte dal 1792 al 1798, con Jean Baptiste Joseph Delambre, alla triangolazione lungo il meridiano di Parigi fino a Barcellona, promossa dall'Assemblea Costituente con il principale scopo di fissare l'unità metrica di misura.

²⁹ I fatti che portarono formalmente all'istituzione di questa alleanza furono in primo luogo la dichiarazione di guerra francese al Sacro Romano Impero Germanico il 20 aprile 1792, e quindi l'attacco della Prussia in seguito alla pubblicazione del manifesto di Brunswick del 25 luglio 1792. Minacciata dalla controrivoluzione interna e dall'ostilità delle monarchie europee, la Francia rivoluzionaria reagì con un progressiva radicalizzazione delle sue posizioni e con la decisione di scatenare una guerra rivoluzionaria contro gli stati che appoggiavano l'*Ancien Régime*.

³⁰ Antoine-Laurent de Lavoisier (Parigi, 1743 – Parigi, 1794) chimico, biologo, filosofo e economista francese. Enunciò la prima versione della legge di conservazione della massa, riconobbe e battezzò l'ossigeno (1778) e l'idrogeno (1783), confutò la teoria del flogisto e aiutò a riformare la nomenclatura chimica. Lavoisier viene spesso indicato come il padre della chimica moderna. Fu un importante *Ferme Générale* e un potente membro di vari consigli aristocratici. Le sue attività politiche ed economiche gli consentirono di finanziare la sua ricerca scientifica.

³¹ Qui sarebbe più opportuno parlare di massa. Come già detto nel Paragrafo 1.1 in questo periodo era già nota la distinzione fra peso e massa stabilita da G. B. Baliani fra il 1630 e il 1640. Però la distinzione fra i due termini, a livello linguistico, non era fatta neppure dagli scienziati dell'epoca. È con Einstein che si inizia a distinguere fra le due parole, per le grosse implicazioni concettuali che da esse vengono sottintese in ambito relativistico.

³² Louis Lefèvre-Gineau (Aulnoy, Ardennes, 1751 – Parigi, 1829) chimico, scienziato e politico francese. Lavorò con Lavoisier e con lui studiò la composizione chimica dell'acqua. Deputato durante rivoluzione francese, fu componente della commissione incaricata di definire il sistema metrico; in tale ambito diede una rigorosa definizione del chilogrammo.

³³ Era ben noto che il volume dell'acqua variava in base alla temperatura, inizialmente si pensò che la maggiore densità fosse raggiunta a 0 °C, quando il ghiaccio inizia a fondersi. Successivamente, grazie agli studi dell'italiano Giovanni Fabbroni, che aveva misurato con cura la variazione di densità dell'acqua con la temperatura, si capì che la massima densità dell'acqua veniva raggiunta a 4 °C.

³⁴ *Décret relatif aux poids et aux mesures*. 18 germinal an 3 (7 avril 1795)

Art. 1 L'époque prescrite par le décret du 1er août 1793 pour l'usage des nouveaux poids et mesures est prorogée, quant à sa disposition obligatoire, jusqu'à ce que la Convention Nationale y ait statué de nouveau en raison des progrès de la fabrication ; les citoyens sont cependant invités de donner une preuve de leur attachement à l'unité et à l'indivisibilité de la République en se servant dès à présent des nouvelles mesures dans leurs calculs et transactions commerciales.

Art 2. Il n'y aura qu'un seul étalon des poids et mesures pour toute la République: ce sera une règle de platine sur laquelle sera tracé le mètre qui a été adopté pour l'unité fondamentale de tout le système des mesures.

Cet étalon sera exécuté avec la plus grande précision, d'après les expériences et les observations des commissaires chargés de sa détermination; il sera déposé près du Corps Législatif, ainsi que le procès-verbal des opérations qui auront servi à le déterminer, afin qu'on puisse les vérifier dans tous les temps.

Art 3. Il sera envoyé dans chaque chef-lieu de district un modèle conforme à l'étalon prototype dont il vient d'être parlé, et en outre un modèle de poids exactement déduit du système des nouvelles mesures. Ces modèles serviront à la fabrication de toutes les sortes de mesures employées aux usages des citoyens.

Art 4. L'extrême précision qui sera donnée à l'étalon en platine ne pouvant pas influencer sur l'exactitude des mesures usuelles, ces mesures continueront d'être fabriquées d'après la longueur du mètre adopté par les décrets antérieurs.

Art 5. Les nouvelles mesures seront distinguées dorénavant par le surnom de républicaines; leur nomenclature est définitivement adoptée comme il suit:

On appellera: Mètre, la mesure de longueur égale à la dix-millionième partie de l'arc du méridien terrestre compris entre le pôle boréal et l'équateur.

Are, la mesure de superficie, pour les terrains, égale à un carré de dix mètres de côté. Stère la mesure destinée particulièrement aux bois de chauffage, et qui sera égale au mètre cube.

Litre, la mesure de capacité, tant pour les liquides que pour les matières sèches, dont la contenance sera celle du cube de la dixième partie du mètre.

Gramme, le poids absolu d'un volume d'eau pure égal au cube de la centième partie du mètre, et à la température de la glace fondante.

Enfin, l'unité des monnaies prendra le nom de franc, pour remplacer celui de livre usité jusqu'aujourd'hui.

Art 6. La dixième partie du mètre se nommera décimètre et sa centième partie centimètre.

On appellera décamètre une mesure égale à dix mètres: ce qui fournit une mesure très commode pour l'arpentage.

Hectomètre signifiera la longueur de cent mètres.

Enfin, kilomètre et myriamètre seront des longueurs de mille et dix mille mètres, et désigneront principalement les mesures itinéraires.

Art 7. Les dénominations des mesures des autres genres seront déterminées d'après les mêmes principes que celles de l'article précédent:

Ainsi, décilitre sera une mesure de capacité dix fois plus petite que le litre; centigramme sera la centième partie du poids d'un gramme.

On dira de même décalitre pour désigner une mesure contenant dix litres; hectolitre, pour une mesure égale à cent litres: un kilogramme sera un poids de mille grammes.

On composera d'une manière analogue les noms de toutes les autres mesures.

Cependant, lorsqu'on voudra exprimer les dixièmes ou les centièmes du franc, unité des monnaies, on se servira des mots décime et centime, déjà reçus en vertu des décrets antérieurs.

Art 8. Dans les poids et mesures de capacité, chacune des mesures décimales de ces deux genres aura son double et sa moitié, afin de donner à la vente des divers objets toute la commodité que l'on peut désirer. Il y aura donc le double litre et le demi-litre, le double-hectogramme et le demi--hectogramme, et ainsi des autres.

Art 9. Pour rendre le remplacement des anciennes mesures plus facile et moins dispendieux, il sera exécuté par parties et à différentes époques. Ces époques seront décrétées par la Convention Nationale aussitôt que les mesures républicaines se trouveront fabriquées en quantités suffisantes, et que tout ce qui tient à l'exécution de ces changements aura été disposé. Le nouveau système sera d'abord introduit dans les assignats et monnaies, ensuite dans les mesures linéaires ou de longueur et progressivement étendu à toutes les autres

Art 10. Les opérations relatives à la détermination de l'unité des mesures de longueur et de poids, déduites de la grandeur de la Terre, commencées par l'Académie des Sciences et suivies par la Commission temporaire des mesures, en conséquence des décrets des 8 mai 1790 et 1er août 1793, seront continuées jusqu'à leur entier achèvement par des commissaires particuliers, choisis principalement parmi les savants qui y ont concouru jusqu'à présent, et dont la liste sera arrêtée par le Comité d'instruction publique. Au moyen de ces dispositions, l'administration dite Commission temporaire des poids et mesures est supprimée.

Art 11. Il sera formé en remplacement une agence temporaire, composée de trois membres, et qui sera chargée, sous l'autorité de la commission d'instruction publique, de tout ce qui concerne le renouvellement des poids et des mesures, sauf les opérations confiées aux commissaires particuliers dont il est parlé dans l'article précédent.

Les membres de cette agence seront nommés par la Convention nationale, sur la proposition de son comité d'instruction publique. Leur traitement sera réglé par ce comité en se concertant avec celui des finances.

Art 12. Les fonctions principales de l'agence temporaire seront:

1° De rechercher et employer les moyens les plus propres à faciliter la fabrication des nouveaux poids et mesures pour les usages de tous les citoyens;

2° De pourvoir à la confection et à l'envoi des modèles qui doivent servir à la vérification des mesures dans chaque district;

3° De faire composer et de répandre les instructions convenables pour apprendre à connaître les nouvelles mesures et leurs rapports avec les anciennes;

4° De s'occuper des dispositions qui deviendraient nécessaires pour régler l'usage des mesures républicaines et de les soumettre au Comité d'instruction publique, qui en fera rapport à la Convention Nationale;

5° D'arrêter les états de dépenses de toutes les opérations qu'exigeront la détermination et l'établissement des nouvelles mesures, afin que ces dépenses puissent être acquittées par la Commission d'instruction publique;

6° Enfin, de correspondre avec les autorités constituées et les citoyens dans toute la République, sur tout ce qui sera utile pour hâter le renouvellement des poids et mesures.

Art 13. La fabrication des mesures républicaines sera faite, autant qu'il sera possible, par des machines, afin de réunir à l'exactitude la facilité et la célérité dans les procédés, et par conséquent de rendre l'achat des mesures d'un prix médiocre pour les citoyens.

Art 14. L'Agence temporaire favorisera la recherche des machines les plus avantageuses: elle en commandera, s'il en est besoin, aux artistes les plus habiles, ou les proposera au concours, suivant les circonstances. Elle pourra aussi accorder des encouragements ou avances, matières ou machines, aux entrepreneurs qui prendraient des engagements convenables pour quelque partie importante de la fabrication des nouveaux poids et mesures. Mais, dans tous ces cas, l'agence sera tenue de prendre l'autorisation du Comité d'instruction publique.

Art 15. L'agence temporaire déterminera les formes des différentes sortes de mesures, ainsi que les matières dont elles devront être faites, de manière que leur usage soit le plus avantageux possible.

Art 16. Il sera gravé sur chacune de ces mesures leur nom particulier; elles seront marquées en outre d'un poinçon de la République qui en garantira l'exactitude.

Art 17. Il y aura à cet effet, dans chaque district, des vérificateurs chargés de l'apposition du poinçon. La détermination de leur nombre et de leurs fonctions fera partie des règlements que l'agence préparera, pour être ensuite soumis à la Convention Nationale par son Comité d'instruction publique.

Art 18. Le choix des mesures appropriées à chaque espèce de marchandise aura lieu de manière que, dans les cas ordinaires, on n'ait pas besoin de fractions plus petites que le centièmes.

L'agence recherchera les moyens de remplir cet objet, en s'écartant le moins possible des usages du commerce.

Art 19. Au lieu des tables des rapports entre les anciennes et les nouvelles mesures, qui avaient été ordonnées par le décret du 8 mai 1790, il sera fait des échelles graphiques pour estimer ces rapports sans avoir besoin d'aucun calcul. L'agence est chargée de leur donner la forme la plus avantageuse, d'en indiquer la méthode, et de la répandre autant qu'il sera nécessaire.

Art 20. Pour faciliter les relations commerciales entre la France et les nations étrangères, il sera composé, sous la direction de l'agence, un ouvrage qui offrira les rapports des mesures françaises avec celles des principales villes de commerce des autres peuples.

Art 21. Pour subvenir à toutes les dépenses relatives à l'établissement des nouvelles mesures, ainsi qu'aux avances indispensables pour le succès de cette opération, il y sera affecté provisoirement un fonds de cinq cent mille livres, que la Trésorerie nationale tiendra à cet effet à la disposition de la commission d'instruction publique.

Art 22. La disposition de la loi du 4 frimaire an 2, qui rend obligatoire l'usage de la division décimale du jour et de ses parties, est suspendue indéfiniment.

Art 23. Les articles des lois antérieures au présent décret, et qui y sont contraires, sont abrogés.

Art 24. Aussitôt après la publication du présent décret, toute fabrication des anciennes mesures est interdite en France, ainsi que toute importation des mêmes objets venant de l'étranger, à peine de confiscation et d'une amende du double de la valeur desdits objets.

La commission des administrations civiles, police et tribunaux, et celle des revenus nationaux sont chargées de l'exécution du présent article.

Art 25. Dès que l'étalon prototype des mesures de la République aura été déposé au Corps Législatif par les commissaires chargés de sa confection, il sera élevé un monument pour le conserver et le garantir de l'injure du temps.

L'agence temporaire s'occupera d'avance du projet de ce monument destiné à consacrer de la manière la plus indestructible la création de la république, les triomphes du peuple français, et l'état d'avancement où les lumières sont parvenues dans son sein.

Art 26. Le comité d'instruction publique est chargé de prendre tous les moyens de détail nécessaires pour l'exécution du présent décret et l'entier renouvellement des poids et mesures dans toute la République. Il proposera successivement à la Convention les dispositions législatives qui devront en dépendre.

Art 27. L'agence temporaire rendra compte de ses opérations à la Commission d'instruction publique et au comité de ce nom avec lequel elle pourra correspondre directement pour la célérité des opérations.

Art 28. Il est enjoint à toutes les autorités constituées, ainsi qu'aux fonctionnaires publics, de concourir de tout leur pouvoir à l'opération importante du renouvellement des poids et mesures.

³⁵

Le zone prescelte erano le più frequentate della capitale, ciò consentiva ai parigini di familiarizzare con questa nuova unità di misura. Quello che si trova in *rue Vaugirard*, sotto le arcate, è il solo metro in marmo rimasto al suo posto originario, incastonato nel muro dell'edificio *Agence de Poids et Mesures*, 36 *rue Vaugirard*, Paris.

³⁶

L'orologio della figura mostra sia le ore decimali, sia le ore tradizionali (duodecimali). Nel sistema decimale la mezzanotte è l'ora 0 (o 10), mentre il mezzogiorno corrisponde alle 5; agli equinozi il Sole sorge alle 2,5 e tramonta alle 7,5 anziché, nell'ordine, alle 6 e alle 18 dell'ora tradizionale.

Il quadrante riporta, nei due sistemi, tutte le ore del dì e della notte: 10 nel sistema decimale e due volte 12 nel sistema duodecimale. Le lancette A-B indicano ora e minuti nel sistema decimale (scala con numeri arabi grandi). La lancetta C indica l'ora (e i minuti in intervalli di cinque) sulla scala duodecimale (numeri romani). La lancetta D indica i secondi sulla scala decimale, mentre la lancetta e indica il giorno del mese sulla scala più interna (numeri arabi più piccoli).

Il mese era diviso in tre decadi, solo il decimo giorno di ciascuna decade era festivo; per far corrispondere l'anno civile all'anno astronomico venivano aggiunti 5 giorni (6 negli anni bisestili), al termine del dodicesimo mese.

³⁷ Alle nostre latitudini, due paesi distanti solo 20 km in direzione est-ovest hanno un sfasamento temporale di un minuto, mentre all'equatore si ha lo sfasamento di un minuto su 28 km.

³⁸ Un viaggiatore che si recava da Parigi ad Odessa, oggi in Ucraina, doveva cambiare il tempo del proprio orologio almeno una decina di volte; da Londra a San Pietroburgo almeno 36 volte [13].

³⁹ Il nome Filopanti (amico di tutti) era lo pseudonimo di Giuseppe Barilli, nato a Riccardina di Budrio (Bo) nel 1812 e morto a Bologna nel 1894. Filosofo e matematico italiano, visse negli Stati Uniti e a Londra. Ebbe una vita molto movimentata trascorsa tra l'insegnamento e le armi a fianco di Garibaldi.

⁴⁰ Charles F. Dowd (Saratoga Springs, New York, 1825 – Saratoga Springs, New York, 1904), educatore americano, pastore presbiteriano. Nel 1870 pubblicò un opuscolo dal titolo *A System of National Time for Railroads*, in cui era presentata la sua proposta sui fusi orari.

⁴¹ Sir Sandford Fleming (Kirkcaldy, Scozia 1827 – Halifax, Canada, 1915) ingegnere e inventore canadese di origine scozzese. Propose un sistema globale di fusi orari standard, progettò linee ferroviarie, fondò l'ente scientifico *Royal Canadian Institute*. Propose, inoltre, un tempo unico mondiale basato su un *orologio* di 24 ore, idealmente posto al centro della Terra e non connesso ad alcun meridiano di superficie. Nel 1879 propose di legarlo all'anti-meridiano di Greenwich. Suggerì che i fusi orari standard potessero essere usati a livello locale, ma che fossero subordinati al tempo unico mondiale, che egli chiamò *Cosmic Time*. Nel 1884 l'*International Meridian Conference* non accettò la sua proposta.

⁴² William Frederick Allen (Bordentown, New Jersey, 1846 – South Orange, New Jersey, 1915) americano, segretario della *General Time Convention* (organizzazione delle ferrovie americane, dal 1891 *American Railway Association*, che aveva come scopo di coordinare le attività e standardizzare le norme di funzionamento) e caporedattore della *Travellers' Official Guide to the Railway*.

⁴³ Ricordiamo che sulle misure influiscono molto altri fattori, come il metodo di misurazione, le condizioni operative, l'accortezza dell'operatore ecc., quindi fare i confronti non è né semplice né sempre possibile.

⁴⁴ Nell'autunno del 1790, nel Dipartimento di Lot (Pirenei francesi), circa cinquemila contadini armati insorsero contro il pagamento della rendita; molti rifiutavano di pagarla, altri volevano che fosse fatto un controllo rigoroso prima del pagamento [12]. Un altro esempio che ci aiuta a comprendere la tensione tra popolazione e nuove unità di misura è ciò che avvenne a Clamency, piccola città della Borgogna. Qui a insorgere contro il sistema metrico furono i lavoratori portuali che incominciarono a frantumare le nuove misure decimali. La reazione era legata al timore che le nuove misure avrebbero danneggiato economicamente i lavoratori [3].

⁴⁵ La divisione per sessanta era già usata da babilonesi e sumeri ed era utilizzata quasi ovunque nella scansione del tempo. Del sistema decimale si erano serviti invece gli egizi, ma, presso i romani esso fu ostacolato dalla tipologia di numerazione romana [6].

⁴⁶ Lo scopo era quello di rendere più semplice l'utilizzo del sistema per la popolazione, perciò si autorizzava di nuovo l'uso dei nomi tradizionali, si ritornava ad usare unità molto prossime a quelle tradizionali che erano funzionali e non astratte come le nuove, si permetteva di utilizzare la divisione e la moltiplicazione per due, poiché le operazioni per dieci erano complicate per la popolazione [12].

⁴⁷ Luigi Filippo Borbone d'Orléans, duca d'Orléans (Parigi, 1773 – Claremont House, Inghilterra, 1850), re dei Francesi dal 1830 al 1848 con il nome di Luigi Filippo I. Divenuto re dopo la rivoluzione del luglio 1830, fece approvare una costituzione e adottò il tricolore della rivoluzione dell'89 come bandiera della nazione. Ebbe inizialmente l'appoggio della media e alta borghesia, successivamente la sua popolarità diminuì quando i suoi governi assunsero connotati conservatori. Abdicò dopo l'insurrezione del febbraio 1848, da cui nacque la Seconda Repubblica Francese.

⁴⁸ Nel 1840 cominciava a circolare questa canzone di protesta

*Qual è l'utilità di questa nuova legge?
Da oggi in poi non potremo più
Ordinare una libbra di candela di sego,
Né un quarto di burro fresco.
Bisognerà che tutti i droghieri,
Assumano veri stregoni,
O che l'Accademia
Fornisca lei stessa i garzoni.*

CORO:

*Non è quello dei nostri legislatori
Il sistema decimale che amo.
Evviva le misure del passato!
Al diavolo i nuovi pesi!*

Anonimo *Les nouveaux poids et mesures* citato da [3, pag. 519]

⁴⁹ Carl Friedrich Gauss, (Braunschweig, 1777 – Gottinga, 1855) fisico-matematico tedesco, integrò (fra il 1870 e il 1880) il Sistema, che era limitato alle unità di uso corrente nella vita comune, con altre unità usate anche nella fisica. Innanzi tutto fu messo in chiaro che il campione di peso depositato negli archivi era più rappresentativo come campione di massa; in seguito, dalle unità fondamentali di lunghezza, massa, tempo, e avendo introdotto l'unità elettrica (1935), fu sviluppato un metodo (analisi dimensionale) per ottenere, da queste, tutte le altre grandezze meccaniche, elettriche e magnetiche.

⁵⁰ Antonio Maria Vassalli-Eandi (Torino, 1761 – Torino, 1825) fisico, abate; professore di fisica all'università di Torino e alla Scuola militare. Compì ricerche di meteorologia, di metrologia, di fisica terrestre e sul galvanismo. Fu direttore dell'Osservatorio meteorologico dell'Accademia e del Museo di Storia Naturale di Torino.

⁵¹ Vedi il tentativo di unificazione compiuta dal governatore Juan Fernandez de Velasco, già citato nel Paragrafo 2.1.

⁵² La questione fu molto delicata, innanzitutto si discusse se la riforma dovesse essere applicata a tutti gli stati italiani appartenenti all'Austria o solo allo Stato di Milano, in secondo luogo si

discusse se applicarla a tutte le misure o soltanto a quelle di lunghezza, che erano più facilmente modificabili. Alla fine il decreto, firmato il 30 gennaio 1781, fu minimo, in quanto prevedeva la riforma delle sole misure di lunghezza e soltanto nel territorio milanese [12].

⁵³ Oggi Accademia delle Scienze di Torino, la cui fondazione risale al 1783, quando il re Vittorio Amedeo III di Savoia decise la sua istituzione come *Accademia Reale*. L'Accademia nacque dalla *Società scientifica di carattere privato* fondata nel 1757 da parte di alcuni studiosi piemontesi, tra cui il matematico Giuseppe Luigi Lagrange, con lo scopo di promuovere ricerche nel campo della matematica, fisica e delle scienze naturali. La *Società* ebbe tra i suoi collaboratori il matematico Leonard Euler e il medico e botanico Albrecht von Haller e annoverò fra i suoi soci Condorcet e d'Alembert. Nel 1801, dopo l'occupazione del Piemonte da parte dei francesi, Napoleone riformò l'Accademia aggiungendo una sezione dedicata alle belle arti e alla letteratura e dandole, nel 1805, il titolo di Accademia Imperiale. Con il ritorno dei Savoia (1814), l'Accademia fu riportata alla sua struttura antecedente al 1801, con la suddivisione (tutt'ora vigente) in due classi: scienze fisiche, matematiche e naturali, e scienze morali, storiche e filologiche. Furono soci dell'Accademia fra gli altri Galileo Ferraris, Ugo Foscolo, Alessandro Manzoni, Carl Gauss, Moritz Cantor, Amedeo Avogadro, Charles Darwin. Dopo la seconda guerra mondiale l'Istituzione assunse il nome di *Accademia delle Scienze* [118].

⁵⁴ Nel 1448 e nel 1452 fu proposto e ordinato un sistema di pesi, misure e monete per tutta la Sardegna e lo stesso venne fatto nel 1545, sotto il regno di Carlo V. In quell'anno fu stabilito un campione per la misura dei liquidi chiamato pinta, ritrovato a Sassari, che curiosamente corrisponde al litro del sistema decimale. Un altro decreto volto all'unificazione fu quello compiuto dal marchese di Rivaro, Viceré di Sardegna, il quale nel 1737 ordinò che venissero distrutti i campioni di misura particolari delle diverse provincie dell'Isola affinché se ne potessero introdurre di unitari; ma il decreto rimase inapplicato. Nel 1830 fu un altro viceré, il conte Roberti di Castelvero, a richiamare l'adempimento del precedente decreto, ma anche le sue parole rimasero inascoltate [7].

⁵⁵ La definizione rimane ancora valida: considerando che il meridiano terrestre è di 40 000 000 m e sottende un angolo di 360° ne consegue che 1° sottende 111 111,111 m e 1/60° sottende 1851,85 m; a questa misura è stato dato il nome di miglio italiano.

⁵⁶ Per aridi si intendono granaglie, sementi, legumi ecc.

⁵⁷ Giuseppe Bonaparte (Corte, Corsica, 1768 – Firenze, 1844) politico, fratello maggiore di Napoleone Bonaparte. Fu nominato da Napoleone re di Napoli dal 1806 al 1808, quindi re di Spagna dal 1808 al 1813.

⁵⁸ Gioacchino Murat, nome originale Joachim Murat-Jordy, (Labastide-Fortunière, 1767 – Pizzo, Calabro 1815), generale francese, maresciallo dell'Impero napoleonico; scelto da Napoleone (di cui aveva sposato la sorella Carolina) come re di Napoli dal 1808 al 1815.

⁵⁹ Basti osservare le misure per i liquidi in Sicilia, delle cinque conosciute tutte avevano un rapporto strettissimo con il loro utilizzo che era quello del trasporto del vino. Avevano quindi il quartuccio (quantità di vino che una famiglia consumava in un giorno), la quartara (vaso adatto al trasporto a mano o sulla testa), il barile (trasportabile a spalla o a carico da una bestia da soma), la soma (anch'esso trasportabile da bestie da soma) e infine la botte (si trasportava tramite carri) [1, 19].

⁶⁰ John Frederick William Herschel (Slough, 1792 – Collingwood, 1871) astronomo, matematico e chimico inglese. Fu il primo a utilizzare il calendario giuliano nell'astronomia,

portò importanti contributi al miglioramento dei procedimenti fotografici. Coniò i termini: fotografia, negativo, positivo.

⁶¹ Serbia 1863, Romania 1883, Bulgaria 1888, Polonia 1919, Jugoslavia 1919, Lituania e Lettonia 1920 ecc. [2].

⁶² Si veda Paragrafo 2.2.

⁶³ Cile (1848), Colombia (1853), Ecuador (1856), Messico (1857), Brasile e Perù (1862), Argentina (1863) [3].

⁶⁴ Dai tempi della dinastia dei Wang-Mang a quella dei Ming le principali unità di misura avevano subito delle modificazioni molto forti. Il chi (piede) era 40 cm più lungo, la misura di peso era raddoppiata e quella di capacità si era quadruplicata [12].

⁶⁵ Come spiegato in precedenza il sistema feudale, con le sue divisioni, sia politiche sia territoriali, contribuì in maniera pesante alla diversificazione delle unità di misura.

⁶⁶ 1 libbra-forza = 4,45 newton.

2.7 Bibliografia e siti Internet.

- [1] C. Afan de Rivera (1840) – *Tavole di riduzione dei pesi e delle misure delle due Sicilie*, Stamperie e Cartiere del Fibreno, Napoli consultato, il 9-01-2013 su http://books.google.it/books/about/Tavole_di_riduzione_dei_pesi_e_delle_mis.html?id=b_QHAAAAQAAJ&redir_esc=y
- [2] P. Agnoli (2003) – *Storia del Sistema Metrico Decimale*, SXT Scaffali n.1, aprile 2003, consultato il 8-11-2012 su <http://scienzapertutti.lnf.infn.it/>
- [3] K. Alder (2002) – *La misura di tutte le cose: l'avventurosa storia dell'invenzione del sistema metrico decimale*, Rizzoli, Milano.
- [4] G. Bigourdan (1901) – *Les précurseurs de la réforme des poids et mesures*, in G. Bigourdan *Le système métrique des poids et mesures*, Gauthier-Villars, Paris, chapitre 1 pag 1-12 consultato il 5-12-2012 su <http://smdsi.quartier-rural.org/histoire/precurs.htm>
- [5] A. Calcatelli (2010) – *Storia del sistema Internazionale delle unità (SI) in Il Linguaggio delle Misure* (Autori Vari), consultato il 5-10-2012 su <http://www.inrim.it>
- [6] A. Calcatelli, C. Gentile, M. Ravagnan (1984) – *Il sistema internazionale di unità di misura. Attuale organizzazione internazionale e nazionale italiana della metrologia*, monografia n. 3 della *Mostra sulla metrologia, scienza e tecnica della misura* CNR-Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti, Torino.
- [7] N. B. Casabianca (1844) – *Cenni interessanti intorno alla necessità ed utilità del sistema metrico-decimale, relativi all'uniformità di pesi e misure, nel regno di Sardegna*, Tipografia Timon, Cagliari.
- [8] R. Chiovelli (2007) - *Tecniche Costruttive Murarie Medievali: La Tuscia*, L'ERMA di Bretschneider, Roma, http://books.google.it/books/about/Tecniche_costruttive_murarie_medievali.html?hl=it&id=c17NdrjgQKQC

- [9] N. de Condorcet – *Sur une mesure commune pour un même peuple* Bibliothèque de l'Institut de France, Paris, Ms 883 fol. 34.
- [10] D. Guedj (2001) – *Il meridiano*, Longanesi, Milano.
- [11] G. Guidi (1855) – *Ragguaglio delle monete dei pesi e delle misure attualmente in uso negli stati italiani e nelle principali piazze europee*, stampato presso Guidi e Pratesi, Firenze, consultato il 9-01-2013 su <http://books.google.com/books?id=k0X38DIu9ycC&oe=UTF-8>
- [12] W. Kula (1987) – *Le misure e gli uomini dall'antichità ad oggi*, Editori Laterza, Bari.
- [13] G. Parmeggiani – *La nascita dei fusi orari*, INAF – Osservatorio Astronomico di Bologna, consultato il 17-11-2012 su <http://www.bo.astro.it/universo/outreach/filopanti.pdf>
- [14] G. Picasso (2006) – *Sacri canones et monastica regula* edizione Vita e Pensiero, Milano.
- [15] M. Pisani (2010) – *Una storia lunga un metro*, in *Il Linguaggio delle Misure* (Autori Vari), INRIM, Torino consultato il 5-10-2012 su http://www.inrim.it/ldm/cd_ldm/allegati/SI_lunghezza/una_storia_lunga_un_metro.pdf
- [16] A. Rebaglia (1984) – *La metrologia nei secoli. Panorama storico dalle origini all'introduzione del Sistema Metrico*, monografia n.1 della *Mostra sulla metrologia, scienza e tecnica della misura*, CNR-Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti, Torino.
- [17] S. Sartori (1979) – *Le misure nella scienza, nella tecnica, nella società. Manuale di metrologia*, Paravia Torino.
- [18] M. Sciascia (2009) – *Manuale di diritto processuale contabile*, Giuffrè editore Milano.
- [19] U. Tucci (1973) – *Pesi e misure nella storia della società*, in *Storia d'Italia*, v. 5, Einaudi, Torino.
- [101] (19-12-2012) <http://agen.musee.over-blog.com/article-14359357.html#oogletto:http://img.over-blog.com/260x230/1/29/83/44/jeu-semaine-10.jpg>
- [102] (19-12-2012) <http://www.academiamediolanense.it/Ita/Misure.htm>
- [103] (19-12-2012)  https://en.wikipedia.org/wiki/File:Pedro_Henriquez_de_Acevedo.jpg
- [104] (19-12-2012)  https://it.wikipedia.org/wiki/File:Misura_Universale_2.png
- [105] (19-12-2012)  https://it.wikipedia.org/wiki/File:Misura_Universale_3.png
- [106] (19-12-2012)  https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Talleyrand_01.jpg
- [107] (19-12-2012)  https://it.wikipedia.org/wiki/File:Thomas_Jefferson_rev.jpg
- [108] (19-12-2012) <http://www.archivesdepartementales76.net/cles/46-cahiers-de-doleances.html>
- [109] (8-01-2013) <http://patrimoine.obspm.fr/Peintures/Portraits/Portraits.html>
- [110] (19-12-2012) GNU Free Documentation License <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Obs-Paris-meridienne.jpg>
- [111] (19-12-2012) <https://italianiapariqi.wordpress.com/2010/04/28/un-metro-mimetizzato/>
- [112] (16-11-2012) <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Clock-french-republic.jpg>
- [113] (13-11-2012) <http://camilla-corona-sdo.blogspot.it/2011/11/time-zones-times-what-it-means-for-nasa.html>
- [114] (19-12-2012)  <https://it.wikipedia.org/wiki/File:GwichMeridian.JPG>

- [115] (19-12-2012)  http://www2.jpl.nasa.gov/files/images/hi-res/mco_mapping.jpg
- [116] (19-12-2012) <http://agen.musee.over-blog.com/article-14359357.html#oogletto:http://img.over-blog.com/260x230/1/29/83/44//jeu-semaine-10.jpg>
- [117] (14-01-2013) <http://www.storiadimilano.it/repertori/governatori.htm>
- [118] (09-01-2013) <http://www.accademiadelle scienze.it/accademia/storia>
- [119] (09-01-2013) http://www.torinoscienza.it/media/2105_200x

CAPITOLO TERZO

NASCITA E SVILUPPO DEL SISTEMA INTERNAZIONALE

Fabrizio Benincasa, Gianni Fasano, Matteo De Vincenzi

Le nostre ragioni per opporci al sistema
metrico decimale sono semplici:
non ci piace e non vogliamo impararlo.

Bob Greene
Man This WAM! Puts His Foot Down,*
Chicago Tribune 11 marzo 1978.

**We Ain't Metric*

3.1 Sviluppo e perfezionamento del sistema metrico decimale.

Dopo l'accordo del 20 maggio 1875¹, quando i plenipotenziari di diciassette paesi firmarono a Parigi la Convenzione del Metro², le date dello sviluppo della metrologia coincidono con l'avanzare del sistema metrico decimale, con le sue modifiche e il suo utilizzo sempre più diffuso.

Ripercorriamo brevemente le tappe che hanno portato alla nascita del Sistema Internazionale:

- 17 settembre 1881. Viene inaugurato a Parigi il primo Congresso Internazionale di Eletticità, vi partecipano 28 paesi e viene adottato il sistema C.G.S.³ Il nome è tratto dalle iniziali delle tre grandezze scelte come unità di base del sistema: centimetro (cm), grammo-massa (g) e secondo (s). Si decide inoltre di ammettere per la derivazione delle unità elettriche sia il metodo elettrostatico sia quello elettromagnetico⁴.

Il risultato fu però molto deludente per due motivi: le unità scelte si rivelarono troppo piccole e quindi scomode da utilizzare; i metodi adottati per la derivazione delle unità elettriche non erano semplici da mettere in pratica e avevano bisogno di misurazioni troppo complesse. Si trattò di un piccolo fallimento per un sistema che si proponeva come primo passo quello di essere semplice e coerente.

- Settembre 1889. La prima Conferenza Generale Dei Pesi e delle Misure (CGPM) sancisce l'adozione dei prototipi internazionali in platino⁵-iridio⁶, campioni depositati negli Archivi di Francia già dal 22 giugno 1799.

Intorno al 1892, Michelson inizia dei nuovi studi per svincolare il campione del metro da riferimenti materiali relativi alla Terra, la fisica delle onde elettromagnetiche porterà a questo risultato. Il nuovo campione di metro fu adottato dalla CGPM soltanto nel 1960. Nello stesso periodo anche il campione di unità di misura del tempo, il secondo, trova una nuova definizione, che non lo lega più ai moti terrestri ma a un multiplo del periodo della radiazione elettromagnetica emessa da una fonte al cesio⁷.

- 31 ottobre 1901, Giovanni Giorgi presenta al Congresso dell'Associazione Elettrotecnica Italiana la sua idea per l'attuazione di un nuovo sistema. Egli propone di sostituire le unità del sistema C.G.S., troppo piccole, con il metro (m), il kilogrammo-massa (kg) e il secondo (s). Inoltre suggerisce l'aggiunta di una quarta unità fondamentale, un'unità elettrica, l'ohm⁸.

Il sistema fu adottato dalla Commissione Elettrotecnica Internazionale soltanto nel 1935 con il nome di sistema Giorgi. Nel 1950 l'ohm fu sostituito dall'ampere⁹ e il sistema fu chiamato con la sigla M.K.S.A. (metro, kilogrammo-massa, secondo, ampere).

- 1960, l'XI CGPM, tenutasi a Parigi dall'11 al 20 ottobre, definisce le sei unità che devono servire di base per l'istituzione di un sistema pratico di misura per le relazioni internazionali, a cui viene dato il nome di *Sistema Internazionale di Unità* (abbreviato con SI). Di queste unità si stabilisce il nome, l'abbreviazione del nome e i prefissi per la formazione dei multipli e dei sottomultipli [13]. Il Sistema Internazionale adottato dalla XI CGPM, di cui sopra, ha subito modificazioni e integrazioni alla XIV CGPM (1971), alla XV CGPM (1975), alla XVI CGPM (1979) e alla XVII CGPM (1983), con alcune nuove adozioni. Da questo momento il Sistema Internazionale risulta basato su sette unità fondamentali (tabella 3.1) e due supplementari riferite agli angoli piani, da misurarsi in radianti, e agli angoli solidi, da misurarsi in steradiani, con multipli e sottomultipli (tabella 3.2).

Tabella 3.1 – Le sette grandezze fondamentali del Sistema Internazionale.

<i>Grandezze</i>	<i>Unità</i>	<i>simbolo</i>
lunghezza	metro	m
massa	kilogrammo	kg
temperatura termodinamica	kelvin	K
intervallo di tempo	secondo	s
intensità di corrente elettrica	ampere	A
intensità luminosa	candela	cd
quantità di sostanza	mole	mol

Tabella 3.2 – Prefissi stabiliti dal Sistema Internazionale: la linea a fianco del simbolo del prefisso va sostituita col simbolo dell'unità considerata, senza interporre spazi¹⁰.

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

- 1982. Il Sistema Internazionale, il 12 agosto, viene definitivamente adottato in Italia con DPR n. 802 (Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 302 del 3/11/1982).
- 1995. La XX CGPM, considerato quanto suggerito dal Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misura (CIPM)¹¹, nel 1980, che giudicava incoerente col sistema SI l'esistenza delle unità supplementari per la misura degli angoli, decide di sopprimere la categoria delle unità supplementari e interpretare radiante e steradiano come unità derivate adimensionali.

La necessità di introdurre multipli e sottomultipli derivò dalla constatazione che spesso, nelle applicazioni, le unità risultavano o troppo piccole (la distanza tra due città è scomoda da esprimere in metri) o troppo grandi (il diametro di un capello è scomodo da esprimere in metri).

L'utilizzo dei multipli e sottomultipli consente di scrivere in modo più sintetico il risultato numerico di una misura. Non tutti i prefissi elencati nella tabella 3.2 sono usati in pratica: i più diffusi e caldeggiati dal Sistema Internazionale sono quelli il cui esponente è multiplo o positivo o negativo di 3 (mega, kilo, ecc.; milli, micro, ecc.), ma anche tra questi vengono usati molto raramente il tera e superiori, il femto e inferiori.

3.2 Il Sistema Internazionale (SI).

Il Sistema Internazionale ha definito anche i campioni relativi alle unità di base, modificandoli nel tempo nel tentativo di migliorare le loro caratteristiche fondamentali:

- precisione
- accessibilità
- riproducibilità
- invariabilità

Il quarto e il secondo requisito possono talvolta confliggere: se un campione per mantenersi invariabile va tenuto in particolari condizioni di controllo e di conservazione diventa, conseguenzialmente, inaccessibile.

La necessità di disporre di campioni rigorosamente invariabili e riproducibili spinse i primi 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 [3, 7].

3.2.1 Campioni fondamentali del Sistema Internazionale.

Lunghezza

Il metro, definito come la deci-milionesima parte del quarto di meridiano non poteva essere preso *sic et simpliciter* come unità di misura: non era, ovviamente, accessibile, fu quasi subito dimostrato che l'arco di meridiano prescelto (Dunkerque - Montjuïc) portava a un metro leggermente più lungo, quindi non era neppure preciso. Non era invariabile a causa dei continui movimenti e cambiamenti della superficie terrestre e, per quanto sopra, non era possibile riprodurlo. Tutto ciò portò alla realizzazione di un

campione materiale, di platino a sezione rettangolare (25,3 mm per 4 mm) la cui lunghezza, ovvero la distanza tra le sezioni terminali, fu definita pari a 1 metro alla temperatura di solidificazione dell'acqua alla pressione atmosferica a livello del mare. Tale campione che non era la deci-milionesima parte del quarto di meridiano, ma ad essa si ispirava, fu chiamato *metro legale*.

Il 20 maggio 1875, diciassette Paesi firmando al Convenzione Internazionale del Metro, si impegnarono a realizzare i campioni della grandezza di base il più possibile rispondenti ai criteri di: precisione, accessibilità, riproducibilità, invariabilità.

La prima ambiguità che gli studiosi del tempo dovettero affrontare fu proprio quella riguardante il campione del metro: tenere per buono il metro legale, senza uno stretto legame alle dimensioni della Terra, o cercarne un altro più vicino a queste. Si optò per la prima soluzione ma si proposero modifiche strutturali al campione. Il nuovo campione fu realizzato in una lega di platino (90 %) e iridio (10 %). La sezione era a forma di X contenuta in un quadrato di 20 mm di lato (figura 3.1) la lunghezza della barra era di 120 cm. Su di essa furono fatte due incisioni la cui distanza, ispirata al metro legale, fu definita *metro internazionale*.

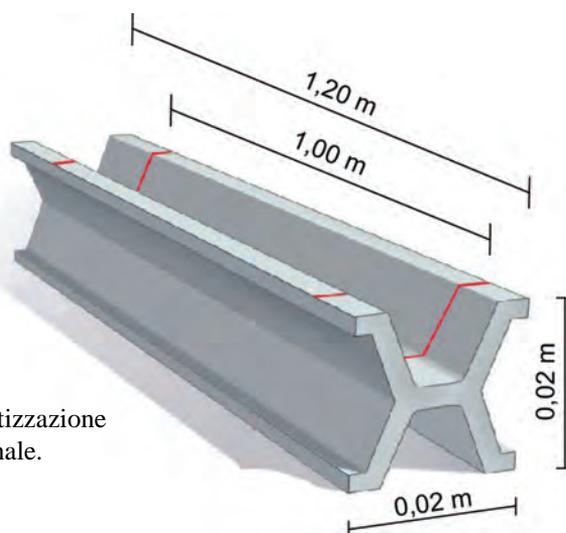


Figura 3.1 – Schematizzazione del metro internazionale.

La scelta del materiale, la particolare sezione e le dimensioni furono studiate per rendere minimi gli effetti corrosivi degli agenti atmosferici e la flessione della bara per effetto del proprio peso. Per evitare dilatazioni e contrazioni della barra, a causa delle oscillazioni termiche, questa fu conservata in un ambiente termostato a 20 °C. Di questo campione ne furono fatte copie, da distribuire ai vari Paesi, e tre di queste furono conservate nel *Bureau International des Poids et Mesures* di Sèvres (BIPM, Parigi-1875).

Con questo campione si perdeva quella “naturalità” tanto cercata nel XVIII secolo, e per mantenerne la invariabilità si perdeva l’accessibilità e con essa la riproducibilità. Ma l’idea di naturalità non fu accantonata. Nel 1954 con la X CGPM si sottolineò la necessità di adottare un nuovo metro campione legato a un fenomeno fisico

(quindi naturale) rigorosamente costante nel tempo e nello spazio. Nel 1960 l'XI CGPM definì il nuovo metro campione, il *metro ottico*, espresso come:

1 650 763,73 volte la lunghezza d'onda¹² nel vuoto, della radiazione rosso-arancione emessa dal kripton¹³ $86\text{ }(^{86}\text{Kr})^{14}$ nella transizione¹⁵ non perturbata dal livello $2p_{10}$ a livello $5d_5$, quando la lampada al kripton è tenuta alla temperatura di 63,15 K.

L'incertezza con cui tale campione misurava il metro era di 0,01 μm , precisione mai raggiunta prima. Questo campione tornava alla natura e godeva delle quattro prerogative di base: precisione, accessibilità, riproducibilità, invariabilità.

Restava però la complessità eccessiva della procedura di misurazione (interferometro di Michelson¹⁶) e la precisione poteva essere migliorata.

Con la XV CGPM (1975) si stabilì, dopo complesse misure astronomiche, che la velocità della luce (e di ogni forma di radiazione elettromagnetica, come è appunto la luce) era di 299 792 458 m/s. In conseguenza di ciò, nel 1983, la XVII CGPM ha introdotto la seguente definizione di metro [101]:

il metro è la distanza percorsa nel vuoto dalla luce nell'intervallo di tempo di 1/299 792 458 secondi.

L'incertezza con cui tale campione misura il metro è di 0,004 μm , ovviamente questa nuova definizione annulla quella del 1960.

Per motivi di praticità la radiazione luminosa usata nel nuovo metro campione è quella emessa da un laser a elio¹⁷-neon¹⁸; di questi campioni ne esistono una quindicina di copie distribuite in tutti i continenti.

Per misure di controllo sono stati realizzati dei campioni materiali costituiti da blocchetti di acciaio di sezione rettangolare di varie misure, le cui superfici sono finissimamente lavorate (lavorazione a specchio). Mediante combinazione di più blocchetti è possibile ottenere qualsiasi lunghezza semplicemente premendoli l'uno contro l'altro¹⁹.

La precisione ottenibile con questi campioni secondari è di una parte su un milione, pertanto in riferimento a 1 metro l'incertezza risulta di 1 μm .

Le misure di lunghezza sono le misure metriche per eccellenza e su di loro si è fondato il sistema decimale di multipli e sottomultipli, a cui si applicano i prefissi del SI. Ovviamente, come in tutte le regole, anche qui c'è una eccezione: nella misura delle distanze astronomiche, data la loro entità, l'unità è l'anno-luce, ovvero la lunghezza del percorso compiuto in un anno da un fascio luminoso.

Abbiamo già detto che la luce viaggia a circa 300 000 000 m/s e quindi in un anno percorre $9,4608 \cdot 10^{15}$ m, in base ai prefissi SI dovremmo dire 9,4608 petametri, termine da nessuno usato!

Per dare un'idea sulle distanze astronomiche si può dire che Proxima Centauri, la stella di Alfa Centauri più vicina al Sole, dista da questo 4,3 anni-luce. Questa unità di misura di distanza, tempo-luce, può avere dei sottomultipli, ad esempio il Sole dista dalla Terra circa $150\,000\,000\,000$ m distanza che viene percorsa dalla radiazione solare in $(15 \cdot 10^{10} \text{ m} / 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}) = 500$ secondi-luce = 8,3 minuti-luce. Per inciso, questo risultato ci dice che quando osserviamo il Sole non vediamo ciò che il Sole è in quell'istante, ma ciò che era 8 minuti prima. La Luna dista dalla Terra $384\,400\,000$ m ovvero $(3,844 \cdot 10^8 \text{ m} / 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}) = 1,28$ secondi-luce; in altre parole vediamo la Luna "in differita" di circa un secondo!

Massa

Per questa grandezza non fu possibile trovare nessun oggetto naturale di riferimento pertanto, nel tempo, furono proposti campioni di diversa natura del tutto arbitrari. Quello di maggior successo fu il decimetro cubo di acqua alla temperatura di 4 °C, distillata e al livello del mare alla latitudine di 45°, successo dovuto al suo legame con il metro.

Nel 1889 tale unità fu presa come campione di massa col nome di kilogrammo; questo fu realizzato, in platino-iridio, sotto forma di un cilindro di 39 mm sia di diametro sia di altezza. Per evitare variazioni di massa dovute a reazioni chimiche fra campione e atmosfera, questo fu conservato, a Sèvres, sotto una triplice campana di vetro.

L'incertezza con cui tale campione rappresentava il kilogrammo era di circa 10 µg (1 parte su 10⁸).

Campione e nome vennero ratificati dalla III CGPM (1901) con la definizione [101]:

il kilogrammo è la massa del prototipo internazionale in platino-iridio conservato nel padiglione Breteuil a Sèvres.

Di questa grandezza sono discutibili il nome che nell'unità presenta il prefisso kilo e il legame ad altre due grandezze: la lunghezza (dimensione del cubo, 1 dm³, contenente l'acqua distillata) e la temperatura dell'acqua distillata (4 °C).

Attualmente il kilogrammo è rimasta l'unica unità legata a un campione materiale²⁰.

È in avanzata fase di studio un progetto che prevede di collegare il kilogrammo al numero di Avogadro²¹ mediante esperimenti basati sulla purezza chimica e sulla stabilità meccanica dei cristalli di silicio. In tal modo il kilogrammo potrebbe essere definito come il numero di atomi contenuti in un monocristallo di silicio; ciò richiede la precisa conoscenza della massa del silicio rispetto a quella del carbonio²² già misurata con una incertezza dell'ordine di 10⁻⁸. Anche il campione di massa potrebbe quindi essere definito in riferimento alla fisica atomica con tutti i vantaggi che è facile immaginare. [7 p. 66].

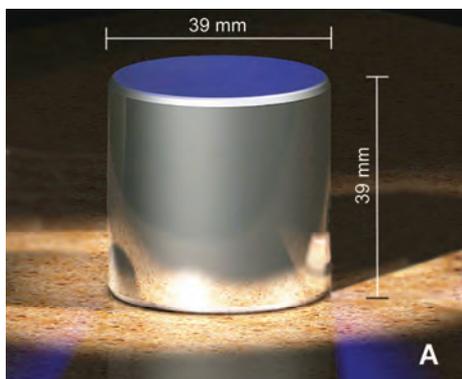


Figura 3.2 –
A) Campione di peso: 1 kg Elaborazione da [102];
B) Il campione protetto sotto tre campane di vetro.
Da [103].

Temperatura

La temperatura è una grandezza per la quale, a differenza della lunghezza e della massa, non è possibile definire un campione *naturale*, che serva come unità di misura. Per la temperatura possiamo solo definire condizioni particolari dello stato di aggregazione della materia²³ condizioni che, a parità di altri parametri, si ripetono sempre uguali a se stesse: *punti fissi*²⁴.

Poiché la temperatura definisce lo stato termico di un corpo in riferimento agli altri (il corpo B è più caldo di A ma più freddo di C: T_A minore di T_B minore di T_C) è possibile, confrontando le varie sostanze, fare una scala di punti fissi. Allora attribuendo a un punto fisso un valore numerico (del tutto arbitrario) che ne rappresenti lo stato termico (ovvero la temperatura) si possono stabilire le temperature degli altri: attribuendo valori crescenti a quelli sempre più caldi e decrescenti a quelli sempre più freddi.

È questa arbitrarietà, nella scelta dei valori da attribuire ai punti fissi, che nel tempo ha portato a differenti definizioni di unità di misura della temperatura.

- 1724, il medico tedesco G. Fahrenheit²⁵ attribuisce al punto triplo²⁶ dell'acqua distillata alla pressione atmosferica standard²⁷ la temperatura di 32 e al punto di ebollizione dell'acqua, nelle stesse condizioni di pressione, la temperatura di 212. L'intervallo fra questi due punti viene diviso in 180 parti uguali e ogni parte prende il nome di grado Fahrenheit (°F), le stesse divisioni vengono riportate sotto a 32 °F e sopra a 212 °F. Sotto a 0 °F si continua con la stessa scala ma si antepone al numero il segno – (ciò definisce le temperature negative).
- 1732, il fisico francese A. R. Réaumur²⁸ attribuisce valore di temperatura 0 al ghiaccio fondente (punto triplo dell'acqua) alla pressione atmosferica standard e valore 80 al punto di ebollizione dell'acqua, nelle stesse condizioni di pressione. L'intervallo fra questi due punti viene diviso in 80 parti uguali e ogni parte prende il nome di grado Réaumur (°R), le stesse divisioni vengono riportate sotto a 0 °R (col segno –) e sopra a 80 °R.
- 1742, l'astronomo svedese A. Celsius²⁹ attribuisce valore di temperatura 0 al ghiaccio fondente (punto triplo dell'acqua) alla pressione atmosferica standard e valore 100 al punto di ebollizione dell'acqua, nelle stesse condizioni di pressione. L'intervallo fra questi due punti viene diviso in 100 parti uguali e ogni parte prende il nome di grado Celsius (°C). Per questa divisione fra i “valori estremi dell'acqua” la scala Celsius viene definita centigrada. Gli stessi gradi vengono utilizzati sotto a 0 °C (col segno –) e sopra a 100 °C.
- 1847, il fisico irlandese W. Thomson³⁰ (Lord Kelvin) attribuisce valore 273,15 alla temperatura del punto triplo dell'acqua, alla pressione atmosferica standard, e valore 373,15 alla temperatura del punto di ebollizione dell'acqua nelle stesse condizioni di pressione. L'intervallo indicato (coincidente con l'intervallo stabilito da Celsius) viene diviso in 100 parti uguali e ogni parte prende il nome di grado Kelvin (°K), anche questa, come la Celsius, è una scala centigrada. Gli stessi gradi vengono utilizzati al di sotto di 273,15 °K e al di sopra di 373,15 °K. Lo zero di questa scala coincide con lo *zero assoluto*³¹ (che Lord Kelvin pone a –273,15 °C) e quindi la scala viene chiamata anche *scala assoluta* o delle *temperature assolute*. L'uguaglianza dell'ampiezza del grado Celsius e del grado Kelvin rende particolarmente agevole il passaggio da una scala all'altra: sommando 273,15 alla temperatura espressa in gradi Celsius si ottiene la temperatura in gradi Kelvin.

– 1954, la X CGPM stabilisce che [101]:

le temperature si misurano secondo la scala assoluta e l'unità di misura è il *grado Kelvin* ($^{\circ}\text{K}$).

Si stabilisce inoltre che il punto triplo dell'acqua (nelle condizioni di purezza e di pressione stabilite) è a $273,16\text{ }^{\circ}\text{K}$ (ovvero lo zero assoluto viene spostato da $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$). In base a questo vengono desunti i punti fissi di molte altre sostanze ed elementi: Scala Internazionale delle Temperature (ITS)³². Per effetto di questa "rivisitazione" dello zero assoluto la temperatura di ebollizione dell'acqua, alla pressione atmosferica standard, passa da $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $99,974\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nel 1967 la XIII CGPM conferma la definizione data nel 1954 e accettata nel 1960 nell'XI CGPM che istituisce l'SI, ma modifica il nome dell'unità da *grado Kelvin* a *kelvin* (K)³³.

le temperature si misurano secondo la scala assoluta e l'unità di misura è il kelvin.

La temperatura è l'unica grandezza fondamentale che non utilizza multipli e sottomultipli, nonostante che in natura si abbiano gamme di temperatura assai ampie: il punto triplo dell'ossigeno è $54,3584\text{ K}$ ($= -218,8016\text{ }^{\circ}\text{C}$), il ferro fonde a 1808 K , la fotosfera (strato dell'atmosfera solare corrispondente al disco visibile) ha una temperatura di circa 6000 K . In conseguenza di ciò per i millesimi di grado difficilmente si parla di "millikelvin (mK)"; ad esempio per due temperature che differiscono di $0,123\text{ K}$ non si dirà che differiscono di 123 mK ma si dirà che differiscono di 123 millesimi di kelvin.

Tempo

Alla fine del XVIII secolo il secondo fu definito come la $86\,400^{\text{a}}$ parte del *giorno solare medio*³⁴; purtroppo il moto di rotazione della Terra è influenzato dalle maree, dai venti, dai terremoti, ecc., e quindi il campione di tempo così definito risultava poco preciso. Si optò allora per il *giorno sidereo medio*³⁵, ma anche il moto di rivoluzione della Terra non è rigorosamente costante. In pratica il secondo sidereo risultava $0,977$ volte il secondo solare [7 p. 63].

Nel 1960 venne provvisoriamente definito il secondo come frazione $1/31\,556\,925,9747$ dell'*anno tropico*³⁶ 1900, scegliendo un particolare anno si rendeva, di fatto, il campione di tempo invariabile, ma non riproducibile in ogni momento.

Anche per il tempo si cercava un riferimento legato alla fisica atomica.

Nel 1967 la XIII CGPM adottò un nuovo campione per il secondo, definito come [101]:

*la durata di $9\,192\,631\,770$ oscillazioni della radiazione emessa dal cesio 133 (^{133}Cs) nella transizione non perturbata fra due specifici livelli*³⁷.

Un orologio al cesio commette un errore massimo di $1\cdot 10^{-12}\text{ s}$ pari a $1\text{ }\mu\text{s}$ ogni 12 giorni.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati orologi atomici con particolarissime stabilità e incertezze dell'ordine di 1 parte su 10^{13} , cioè un secondo ogni $300\,000$ anni (difficile da verificare!).

Anche il tempo, fra le grandezze fondamentali, non segue esattamente il sistema metrico decimale. Più esattamente il sistema si applica ai sottomultipli (abbiamo pertanto il milli-secondo, ms, il micro-secondo, μs , ecc.) ma non si applica, normalmente, ai multipli i quali

seguono, più o meno rigorosamente, il sistema sessagesimale per poi tornare a quello decimale. Abbiamo allora il minuto = 60 s, l'ora = 60 minuti, il giorno = 24 ore, la settimana = 7 giorni, il mese, che può essere 28, 30, 31 giorni, l'anno 365 giorni e *un po'*, il secolo 100 anni, il millennio 1000 anni, a seguire non si hanno più nomi specifici ma si parla di milioni di anni.

Questa *asimmetria* nei sottomultipli e nei multipli del secondo è dovuta ai diversi ambiti di utilizzo.

Le discipline scientifiche come la fisica, la chimica, ecc. utilizzano prevalentemente scale temporali molto brevi, fra loro solo gli astrofisici e i geologi usano tempi lunghi, molto lunghi.

Tempi lunghi, ma non troppo, sono usati prevalentemente nelle discipline umanistiche (paleontologia, archeologia, storia, ecc.), ma tutto si contiene fra qualche milione di anni a.C. a pochi secoli d.C.

Intensità di corrente

L'intensità di corrente è la quantità di carica elettrica (elettroni, o protoni, o ioni) che attraversa la sezione di un conduttore nell'unità di tempo. L'unità di corrente è l'ampere, fin dal 1880 si era data una definizione di campione di ampere ma l'incertezza su questo era intorno a 1 parte su 10^4 , eccessiva anche per le applicazioni più grossolane.

Nel 1946 viene data dalla CIPM una nuova definizione di ampere, recepita nel 1948 dalla IX CGPM [101] e introdotta nell'SI nel 1960:

l'ampere è l'intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori rettilinei, paralleli, di lunghezza infinita, di sezione trascurabile e posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro, nel vuoto, produce fra i due conduttori la forza³⁸ di $2 \cdot 10^{-7}$ N (newton) su ogni metro di conduttore.

(per le unità di misura si veda il Paragrafo 3.2.2).

Pertanto la misura di corrente si risolve con una misura di forza. La riproducibilità di questo campione è intorno a $\pm 4 \cdot 10^{-6}$.

Un secondo metodo per definire l'ampere era basato sulla legge di Ohm:

in un conduttore di resistenza 1Ω (ohm) sottoposto alla differenza di potenziale di 1 V (volt³⁹) scorre la corrente di 1 A (ampere).

Si trattava quindi di realizzare una resistenza campione (a filo) e una batteria campione (elettrochimica) e da queste ottenere il campione di corrente. Strada percorsa da molti istituti metrologici ma non accettata dalla CGPM che preferì legare la corrente alla forza di attrazione fra due conduttori, come detto poco sopra.

È nel 1990 che il BIPM di Sèvres adotta come campione di corrente quello fondato sulla legge di Ohm dove però: la resistenza elettrica standard è basata sull'effetto quantistico di Hall e la differenza di potenziale standard è basata sull'effetto quantistico di Josephson. Così facendo si è legata l'unità di corrente a due costanti atomiche:

- la carica elettrica dell'elettrone, $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19}$ C (coulomb)

- la costante di Planck, $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34}$ J s (joule secondo)

con una incertezza sulla misura di corrente di $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ (per le unità di misura derivate indicate sopra, si veda il Paragrafo 3.2.2).

Non è questa la sede per affrontare il legame fra la corrente elettrica e queste due costanti.

Intensità luminosa

Una prima definizione di candela, unità di misura dell'intensità luminosa, fu data nel 1967 durante la XIII CGPM:

la candela è l'intensità luminosa di una superficie di $1/600\,000\text{ m}^2$ di un corpo nero⁴⁰ alla temperatura di solidificazione del platino (2045 K), emessa in direzione perpendicolare alla superficie, alla pressione di 101 325 pascal.

Negli anni successivi, con il rapido sviluppo della radiometria, si sono realizzati campioni di candela senza dover ricorrere al corpo nero, secondo la seguente definizione:

la candela è l'intensità luminosa, in una assegnata direzione, di una sorgente che emette radiazione monocromatica di frequenza⁴¹ $540\,10^{12}$ Hz (hertz) e la cui intensità energetica in tale direzione è $1/683$ W/Sr (watt/steradiante).

(per le unità di misura si veda il paragrafo 3.2.2).

Questa definizione, poiché portava a campioni più rigorosi rispetto alla precedente, fu adottata dalla XVI CGPM del 1979 [101].

Quantità di sostanza

L'unità che esprime questa grandezza è la mole; essa fu accettata dalla XIV CGPM (1971) e introdotta nel SI nel 1972 per soddisfare le esigenze della chimica [101]:

la mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 12 g di carbonio ^{12}C ⁴²

L'incertezza con cui si esprime la mole campione è di $0,59$ su 10^6 .

Quando si indica la quantità di sostanza in moli, per passare alla massa, va indicato di quale entità elementare si tratta: atomi, molecole, ioni, elettroni, altre particelle o raggruppamenti di tali particelle. Il prodotto fra numero di moli e massa della particella considerata fornisce la massa, in grammi, della sostanza costituita dalle particelle.

3.2.2 Grandezze derivate.

Col termine dimensioni si indicano genericamente le caratteristiche estensionali dei corpi (lunghezza, larghezza, altezza). Questa definizione geometrica, intuitiva, consente di definire spazi, astratti, con più di tre dimensioni. In questa sede vogliamo evidenziare una fondamentale estensione del concetto di dimensione, proposta proprio dalla metrologia.

All'interno di ogni classe di grandezze omogenee ogni elemento può essere espresso in funzione di un qualsiasi altro elemento assunto come unità di misura. Quando più grandezze sono legate fra loro da una legge fisica non è necessario stabilire, per ciascuna, una unità di misura ma è possibile definire l'unità di alcune di esse e ricavare l'unità delle altre in relazione alle unità definite. Questa possibilità è legata alla natura stessa delle leggi fisiche le quali stabiliscono legami di proporzionalità, diretta o inversa, lineare o no, tra le grandezze e quindi tra le corrispondenti unità di misura. Le unità definite si chiamano fondamentali, quelle da esse dedotte prendono il nome di unità derivate [15, 16]. Consideriamo le misure: a, b, c, espresse nelle unità $[G_a]$, $[G_b]$, $[G_c]$ di tre grandezze G_a , G_b , G_c . Una qualsiasi grandezza G_d si dirà derivata dalle precedenti se la sua misura (indiretta) d è definibile come funzione delle misure di G_a , G_b , G_c , secondo la relazione:

$$d = a^\alpha b^\beta c^\gamma$$

dove α, β, γ sono numeri razionali (positivi o negativi) che prendono il nome di dimensioni della grandezza derivata G_d rispetto alle grandezze fondamentali G_a, G_b, G_c . Ciò posto, l'unità di misura di G_d è:

$$[G_d] = [G_a^\alpha G_b^\beta G_c^\gamma] \quad \text{che prende il nome di equazione dimensionale.}$$

Le sette grandezze fondamentali prescelte (tabella 3.1) sono quelle necessarie e sufficienti per esprimere tutte le grandezze fisiche che al momento sono state stabilite. In altre parole definite le unità di misura delle sette grandezze fondamentali, all'interno di un sistema coerente come è l'SI, possiamo stabilire le unità di misura di tutte le grandezze fisiche, coerentemente col sistema considerato. Questa procedura, a cui accenniamo brevemente in relazione alle grandezze fisiche più comuni, prende il nome di *analisi dimensionale* [7, 10, 11, 15, 16]. Lo studio delle dimensioni di una grandezza generica permette di valutare come varia la misura di detta grandezza quando si varino le unità delle grandezze fondamentali, ad esempio esprimendole in multipli o sottomultipli. Inoltre, poiché le formule fisiche sono sempre espresse come uguaglianza di due termini ($d = a^\alpha b^\beta c^\gamma$), una condizione necessaria (ma non sufficiente) per dire che la formula è scritta correttamente è che i due termini abbiano le stesse dimensioni.

Altro campo di applicazione dell'analisi dimensionale è nell'ambito dei sistemi fisici complessi che non consentono una trattazione completamente matematica. Infine l'analisi dimensionale dà un contributo determinante dello studio dei *modelli in scala*; ad esempio si analizza il comportamento di un sistema realizzato su piccola scala (modello, trattabile quindi in laboratorio) per ottenere informazioni utili per la realizzazione del sistema alla scala effettiva (scala reale).

Nei termini indicati e ponendo la convenzione che qualunque numero o simbolo elevato alla 0 vale 1, le dimensioni delle grandezze fondamentali possono essere indicate come in tabella⁴³ 3.3.

Tabella 3.3 – Dimensioni delle sette grandezze fondamentali del Sistema Internazionale.

[m]	$[m^1 kg^0 K^0 s^0 A^0 cd^0 mol^0]$
[kg]	$[m^0 kg^1 K^0 s^0 A^0 cd^0 mol^0]$
[K]	$[m^0 kg^0 K^1 s^0 A^0 cd^0 mol^0]$
[s]	$[m^0 kg^0 K^0 s^1 A^0 cd^0 mol^0]$
[A]	$[m^0 kg^0 K^0 s^0 A^1 cd^0 mol^0]$
[cd]	$[m^0 kg^0 K^0 s^0 A^0 cd^1 mol^0]$
[mol]	$[m^0 kg^0 K^0 s^0 A^0 cd^0 mol^1]$

Per praticità, per quanto stabilito sopra, si omettono sia le unità con esponente nullo sia l'esponente unitario positivo, che non influisce sulla base.

Definiamo adesso alcune grandezze derivate, o perché assai usate anche nel linguaggio comune o perché menzionate nelle pagine precedenti, senza la pretesa di rigore fisico-matematico ma solo per poterne esprimere le dimensioni [7, 8, 14].

- *Velocità*: rapporto fra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo

$$[v] = \left[\frac{\text{spazio}}{\text{tempo}} \right] = [\text{m kg}^0 \text{K}^0 \text{s}^{-1} \text{A}^0 \text{cd}^0 \text{mol}^0] = [\text{m s}^{-1}]$$

- *Accelerazione*: variazione della velocità in un dato intervallo di tempo

$$[a] = \left[\frac{\text{velocità}}{\text{tempo}} \right] = \left[\frac{\text{m s}^{-1}}{\text{s}} \right] = [\text{m s}^{-2}]$$

- *Forza*: “azione” da applicare a una massa, ferma o in moto uniforme, per produrre su questa una accelerazione

$$[F] = [\text{massa} \cdot \text{accelerazione}] = [\text{kg m s}^{-2}]$$

all'unità di misura della forza si è dato il nome di newton⁴⁴ pertanto possiamo scrivere:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m s}^{-2} ; [\text{kg m s}^{-2}]$$

Il peso è una particolare forza, ovvero è una massa sottoposta alla forza di gravità:

$$P = \text{massa} \cdot \text{accelerazione di gravità} = [\text{kg m s}^{-2}]$$

ovviamente il peso, avendo la stessa natura della forza prima definita va espresso in newton⁴⁵. Pertanto la massa di 1 kg sottoposta all'accelerazione di gravità $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ pesa:

$$P = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} = 9,81 \text{ newton}$$

- *Pressione*: forza esercitata sull'unità di superficie (di un corpo fermo)

$$[p] = [\text{forza} / \text{superficie}] = [\text{kg m s}^{-2} / \text{m}^2] = [\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}] \text{ oppure } [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Nota: avendo definito una unità derivata, il newton, questa può entrare nell'equazione dimensionale al posto dell'insieme delle unità fondamentali che la rappresentano. Questo è un criterio generale che si applica a tutte le grandezze derivate, ciò facilita molto la scrittura delle equazioni dimensionali.

All'unità di misura della pressione si è dato il nome di pascal⁴⁶

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / 1 \text{ m}^2 ; [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}]$$

- *Energia o lavoro*: è il prodotto fra la forza applicata a una massa e lo spostamento di questa

$$[E] = [\text{forza} \cdot \text{spostamento}] = [\text{kg m s}^{-2} \cdot \text{m}] = [\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}] = [\text{N} \cdot \text{m}]$$

vale anche qui, in riferimento al newton, quanto evidenziato nella nota alla pressione. All'unità di misura dell'energia si dà il nome di joule⁴⁷

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} ; [\text{N} \cdot \text{m}]$$

- *Potenza*: energia sviluppata o consumata nell'unità di tempo

$$[W] = [\text{energia} / \text{tempo}] = [\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}] = [\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}] = [\text{J s}^{-1}]$$

vale anche qui, in riferimento al joule, quanto riportato nella nota alla pressione. All'unità di misura della potenza si dà il nome di watt⁴⁸

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s} ; [\text{J s}^{-1}]$$

- *Frequenza*: è il numero di volte che un evento periodico si ripete nell'unità di tempo

$$[f] = [\text{numero di ripetizioni}/\text{tempo}]$$

essendo il numero di ripetizioni una quantità senza dimensioni (numero puro) la frequenza ha come dimensioni il reciproco di un tempo

$$[f] = [\text{tempo}^{-1}] = [\text{s}^{-1}]$$

All'unità di misura della frequenza si dà il nome di hertz⁴⁹, che quindi rappresenta la frequenza di un evento periodico che si ripete una volta al secondo

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$$

- *Carica elettrica o quantità di elettricità*: è il prodotto della corrente per la sua durata

$$[C] = [\text{corrente} \cdot \text{tempo}] = [A \cdot s]$$

All'unità di misura della carica elettrica si dà il nome di coulomb⁵⁰, che quindi rappresenta la carica trasportata da un ampere in un secondo

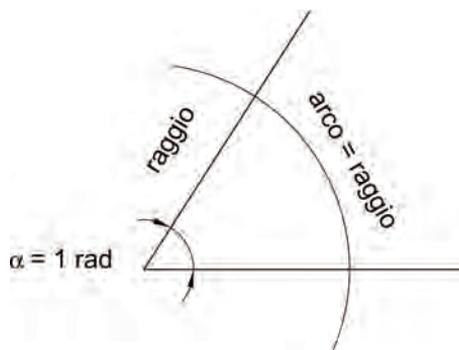
$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$$

- *Angolo piano*: l'unità di misura di questa grandezza è il radiante che è definito come angolo avente il vertice al centro di una circonferenza sulla quale intercetta un arco di lunghezza uguale al raggio della circonferenza stessa (figura 3.3).

In base alla definizione un angolo piano α si esprime in radianti dividendo la lunghezza dell'arco che esso sottende per quella del raggio che determina l'arco stesso:

$$\alpha \text{ rad} = \text{lunghezza arco} / \text{raggio}$$

Figura 3.3 – L'angolo $\alpha = 1 \text{ rad}$ intercetta su una circonferenza di raggio r arbitrario un arco di lunghezza pari al raggio. Poiché l'intera circonferenza sottende un angolo di 2π radianti, la precedente relazione ci dice che la circonferenza vale $C = 2\pi r$.



Si osservi che essendo il radiante il rapporto di due grandezze omogenee (due lunghezze) dimensionalmente va espresso come $[m^1 \cdot m^{-1}] = [m^0]$ ovvero è una grandezza senza dimensioni (adimensionale).

Il radiante è poco usato al di fuori della matematica e della fisica. Nella pratica è molto usato il grado sessagesimale (simbolo: $^\circ$)⁵¹ che stabilisce l'angolo giro pari a 360° ; da ciò è immediato il legame fra radiante e grado sessagesimale:

$$1 \text{ rad} = 57,2958^\circ$$

Il grado sessagesimale è ammesso legalmente tra le unità fuori dal Sistema Internazionale e come il radiante è adimensionale.

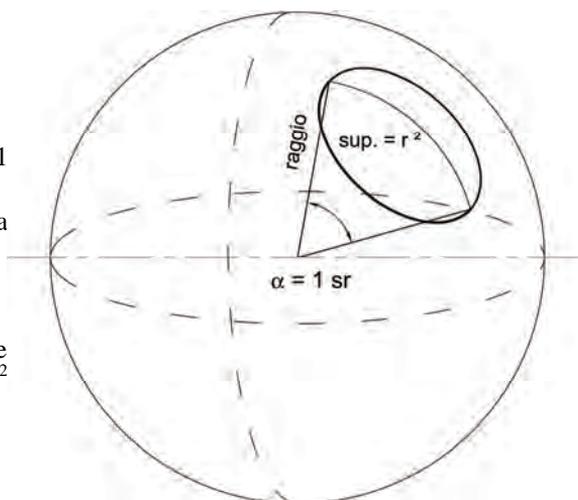
È del tutto evidente che il radiante non è metrico decimale e che per esso non si può parlare di multipli e sottomultipli.

- *Angolo solido*: l'unità di misura di questa grandezza è lo steradiante che è definito come angolo solido al vertice di un cono che dal centro di una sfera intercetta su questa una calotta la cui area è uguale a quella di un quadrato il cui lato ha la lunghezza del raggio della sfera stessa (figura 3.4).

In base alla definizione un angolo solido α si esprime in steradiani dividendo la superficie della calotta che esso sottende per il quadrato del raggio che determina la calotta stessa:

$\alpha \text{ sr} = \text{superficie calotta} / \text{raggio al quadrato}$

Figura 3.4 – L'angolo solido $\alpha = 1$ intercetta su una sfera di raggio arbitrario una calotta di area pari a quadrato del raggio della sfera. Poiché l'intera sfera sottende un angolo solido di 4π steradiani, la precedente relazione ci dice che la superficie sferica vale $S = 4\pi r^2$



Si osservi che essendo lo steradiante il rapporto di due grandezze omogenee (due superfici) dimensionalmente va espresso come $[\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}] = [\text{m}^0]$ ovvero è una grandezza senza dimensioni (adimensionale).

Lo steradiante, come il radiante, non è metrico decimale e quindi è privo di multipli e sottomultipli.

Anche per le unità delle grandezze derivate sono stati realizzati i relativi campioni.

A conclusione di questo paragrafo possiamo far notare che nel Sistema Internazionale con le 7 unità fondamentali convivono ad oggi (il dettaglio è in [14] pagg. 208-239) le seguenti unità derivate:

- 32 unità della meccanica,
- 15 unità della termodinamica,
- 29 unità dell'elettromagnetismo,
- 5 unità della fotometria,
- 7 unità della chimica,
- 15 unità della radioattività e dell'irraggiamento,
- 9 unità dell'acustica,
- 2 unità adimensionali per la misura degli angoli,

per un totale di 121 unità SI.

Svariati sono i testi in cui sono riportate tabelle di conversione delle grandezze derivate dalle unità *tradizionali* a quelle SI [7, 14,8].

Di tutte le grandezze derivate solo 22 hanno un nome proprio (alcuni sono stati citati); l'elenco completo è riportato in tabella 3.4 [17].

Tabella 3.4 – Unità SI derivate con nomi e simboli propri.

Grandezza	Unità		Espressione in SI	
	nome	simbolo	altre unità	unità di base
1) Angolo piano	radiante	rad		m/m
2) Angolo solido	steradiane	sr		m ² /m ²
3) Frequenza	hertz	Hz		s ⁻¹
4) Forza	newton	N		m kg s ⁻²
5) Pressione, tensione (meccanica)	pascal	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
6) Energia, lavoro, quantità di calore	joule	J	N m	m ² kg s ⁻²
7) Potenza, flusso radiante	watt	W	J/s	m ² kg s ⁻³
8) Carica elettrica, quantità di elettricità	coulomb	C		s A
9) Differenza di potenziale elettrico, forza elettromotrice, tensione elettrica	volt	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
10) Capacità elettrica	farad	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
11) Resistenza elettrica	ohm	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
12) Conduttanza elettrica	siemens	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
13) Flusso di induzione magnetica	weber	Wb	V s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
14) Induzione magnetica	tesla	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
15) Induttanza	henry	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
16) Flusso luminoso	lumen	lm	cd sr	cd
17) Illuminamento	lux	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
18) Attività radiattiva riferita al radionuclide	becquerel	Bq		s ⁻¹
19) Dose assorbita, energia comunicata massica, kerma	gray	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
20) Dose equivalente	sievert	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
21) Attività catalitica	katal	kat		s ⁻¹ mol
22) Temperatura Celsius	grado Celsius	°C		K

3.3 Considerazioni sul Sistema Internazionale.

3.3.1 Norme di scrittura.

Le unità del Sistema Internazionale prevedono norme di scrittura che devono essere utilizzate, soprattutto se si esce dal proprio contesto nazionale, in quanto esse sono universalmente riconosciute. Rispettarle è fondamentale, se un documento o un rapporto viene scritto non rispettando le regole dell'SI, può essere annullato, un errore di scrittura in

una misura è ben più grave di un semplice errore grammaticale perché potrebbe dare un'informazione sbagliata o diversa rispetto a quella che si intendeva fornire⁵².

- Le unità devono essere sempre scritte in carattere tondo minuscolo, prive di accenti e di altri segni grafici (dieresi, cedilla, ø danese, ecc.); per esempio si scrive ampere e non ampère, né Ampère.
- I simboli si devono scrivere con l'iniziale minuscola, tranne quelli di unità derivanti dai nomi propri: così K per kelvin, ma cd per candela.
- Non si fa il plurale, neppure con la s finale, delle unità di misura derivate da nomi propri: 5 metri ma non 5 volts. Non si fa il plurale dei simboli: 5 kg e non 5 kgs.
- I simboli non devono essere mai seguiti dal punto: perciò m e non m., kg e non kg., fa eccezione il caso in cui un periodo termina con il simbolo di una unità di misura.
- I simboli devono seguire il valore numerico e mai precederlo: così 3,5 m e non m 3,5.
- Per separare la parte intera da quella decimale, si può utilizzare, sulla linea di scrittura, o una virgola o un punto.
- Per facilitare la lettura, i numeri possono essere divisi in gruppi di tre cifre e questi gruppi non devono essere separati né da punti né da virgole.
- L'unità di misura, quando usata in un contesto discorsivo, deve essere sempre scritta per esteso: si dirà "il pascal è l'unità SI di pressione" e non "il Pa è l'unità SI di pressione". Nelle didascalie delle formule, per brevità, sono accettabili le locuzioni del tipo "con T espresso in °C" oppure "dove M rappresenta la massa espressa in kg": in questi contesti la lettera sostituisce il valore numerico.
- Nella scrittura con simboli di unità composte da più unità fondamentali non si devono usare trattini, ma solo spazi bianchi o punti a mezz'altezza (punto moltiplicatore): così si dovrà scrivere N m, oppure N·m, ma non N-m. La mancanza dello spazio fra le unità di misura può portare a errori grossolani, ad esempio: m Ω (= m x ohm) è l'unità di misura della resistività, eliminando lo spazio risulta mΩ che va interpretato come milliohm.
- A fine riga non si deve separare il numero dall'unità di misura. A tale proposito, nella scrittura computerizzata, esiste un comando chiamato spazio unificatore⁵³.
- I numeri vanno scritti in cifre solo se rappresentano una misura: 4 metri, ma non 4 campioni.
- Il quadrato, il cubo, ecc. di una grandezza si esprime mettendo l'esponente 2, 3 ecc.: quindi 10 m² e 2 m³ e non 10 mq e 3 mc o, peggio ancora, ml per metro (lineare) che, oltretutto, così scritto, significa millilitro essendo l il simbolo di litro.
- Se accompagnato dal numero il prefisso che moltiplica l'unità di misura per 1000 (= 10³) si scrive kilo, se non c'è nessun riferimento numerico il prefisso si scrive chilo: *aveva camminato per 5 kilometri, aveva camminato per chilometri e chilometri.*
- Vi sono anche quantità adimensionali quali, ad esempio, quelle espresse in percentuale di un'altra delle stesse dimensioni (es. l'umidità relativa esprime, in percentuale, il rapporto fra la pressione di vapore d'acqua presente in un dato volume, a una certa temperatura, e la pressione che avrebbe il vapore se, in quelle stesse condizioni, fosse saturo); anche il simbolo % segue la normativa che presiede alla scrittura delle unità di misura: ad esempio si scriverà 30 % e non 30%, senza spazio fra il numero e il simbolo.

Concludiamo questo paragrafo con una considerazione.

Certe unità di misura stentano a morire ma, volendo farle vivere per forza, almeno rendiamo dignitosa la loro esistenza scrivendole correttamente: se una temperatura è di 4 °C non scriviamola 4° C che significa 4 gradi geometrici centesimali (è una scala di misura, poco usata, degli angoli che considera l'angolo retto di 100 gradi).

3.3.2 Pregi e difetti.

Nelle definizioni delle grandezze fondamentali e derivate si condensa lo sforzo di scienziati e tecnici, dopo Galilei⁵⁴ e Newton, di individuare ed enucleare le entità legate ai fenomeni fisici. A tal proposito basti ricordare la difficoltà dell'uomo antico di differenziare la distanza dal tempo di percorrenza (anche oggi, ad esempio, scriviamo nelle guide alpine: distante un'ora e mezzo), difficoltà dell'uomo comune attuale di far distinzione fra massa e peso, fra temperatura e calore, fra potenza e lavoro, fra forza ed energia, fra energia meccanica e termica.

Il Sistema Internazionale è il più vasto sistema che abbia valore internazionale, tuttavia non è completo poiché non comprende tutte le scienze e le tecniche coltivate oggi dall'uomo.

Il Sistema Internazionale è decimale, poiché adotta come multipli e sottomultipli le potenze di dieci con esponenti interi positivi e negativi.

Il Sistema Internazionale è coerente, poiché il prodotto o il rapporto di due o più unità SI dà vita a una nuova unità SI. Per esempio il rapporto spazio/tempo dà la velocità:

1 metro al secondo = 1 m / 1 s.

L'SI, fissando le sette grandezze fondamentali, ha contribuito a mettere chiarezza nelle unità di misura; tuttavia restano ancora molte cose da fare [1]:

- applicare appieno l'SI in tutte le relazioni verbali e scritte, (libri, manuali, rapporti di studio, lezioni, giornali, stampa divulgativa, articoli, ecc.) e in tutti gli oggetti (scale di strumenti, targhe di macchine, fogli tecnici, ecc.)
- eliminare grandezze spurie e confuse, unità di misura non coerenti, non decimali, non assolute, non razionalizzate.
- costituire *un sistema completo* che introduca altre grandezze fondamentali per comprendervi anche discipline ancora fuori dalla sfera dell'azione SI, magari anche nelle discipline collegate con le scienze biologiche ed umane in genere.

Ma come tutte le invenzioni e le realizzazioni dell'uomo anche il Sistema Internazionale ha i suoi limiti e i suoi inconvenienti. Una delle scelte più azzardate è stata il chilogrammo: senza cambiare nome è passato da unità di misura delle forze ad unità di misura delle masse. Poi, come se non bastasse, ha nel nome il prefisso kilo cioè, stando alle regole di scrittura dell'SI, ci porterebbe a chiamare la sua millesima parte millikilogrammo, mentre invece la chiamiamo grammo, cioè col nome dell'unità di misura di un altro sistema (C.G.S.) ormai ampiamente in disuso. Con l'SI rimane il chilogrammo-massa (semplicemente chilogrammo) e sparisce il chilogrammo-forza che si esprime in newton.

Tuttavia sussistono difficoltà nel parlare corrente che associa ancora, con motivazioni storiche e consuetudini dure a morire, alla grandezza peso la misura in chilogrammi.

Mi pesi 1 kg di pane: con questa frase si ordina una quantità di pane che vale dal punto di vista nutritivo in relazione alla massa e dal punto di vista del trasporto in relazione

al peso. Si dirà un giorno *Mi massi 1 kg di pane?* Si inventerà il verbo *massare* per misurare la massa? Come si ordinerà il pane in una ipotetica panetteria del futuro? [1].

Al momento continuiamo a comprare chilogrammi di pane. Stando alle norme SI non dobbiamo dire *Mi pesi un kilogrammo di pane* ma *Mi pesi 9,806 newton* (1 kg-forza = 9,806 N) *di pane* in quanto il peso è una particolare forza (generata dall'attrazione di gravità) e come tutte le forze si esprime in newton.

Forse un po' più coraggio nella scelta dei nomi (lasciare kilogrammo per la forza, grandezza derivata, e altro nome, anche newton, per la massa) avrebbe provocato un tradimento storico ma avrebbe favorito l'adozione dell'SI.

Il chilogrammo come unità di misura della massa sembra ormai un fatto irreversibile: sarà necessario che anche i tecnici e le persone comuni si allineino con gli scienziati a considerare le masse come grandezze fondamentali e le forze, compresi i pesi, come grandezze derivate.

A creare confusione e incertezze hanno contribuito anche le varie unità *fuori sistema* però legalmente ammesse, quelle *accettate in casi particolari*, quelle da *abrogare entro una certa data*, quelle ammesse a *titolo transitorio*, ecc.

L'unificazione europea avvenuta nell'ambito della CEE⁵⁵ ha avuto importanti conseguenze per la metrologia e in particolare per il Sistema Internazionale di unità; infatti dal 1993 tutte le comunicazioni scientifiche, commerciali e industriali tra i vari Paesi membri della CEE devono parlare la stessa lingua: quella del Sistema Internazionale.

La CEE ha emanato fin dal 1971 attraverso il suo Consiglio alcune Direttive che avevano come obbiettivo quello di riavvicinare i Paesi membri nell'impiego delle unità di misura del SI.

Le Direttive CEE suddividono le unità di misura in cinque gruppi:

- 1 quelle del SI, obbligatorie per tutti gli stati membri;
- 2 quelle fuori sistema, ammesse però legalmente tra le unità SI;
- 3 quelle da abrogare entro una data fissata;
- 4 quelle da mantenere temporaneamente in uso per difficoltà oggettive nella loro immediata eliminazione da parte di certi Paesi della CEE, comunque da abrogare entro una data massima di volta in volta precisata;
- 5 quelle fuori sistema ammesse solo nei settori applicativi.

Gli obblighi di adozione riguardano gli strumenti di misura, le misurazioni e le unità di misura impiegate nel circuito economico, nei settori della sanità e della sicurezza pubblica, nelle operazioni di carattere amministrativo.

Per quanto riguarda invece i divieti, le Direttive della CEE hanno tollerato che le giacenze di magazzino di strumenti tarati nelle vecchie unità di misura potessero essere smaltite fino ad esaurimento, ovviamente con una data di scadenza. La scadenza non è mai stata chiara e le giacenze sono risultate pressoché illimitate.

Il testo di ogni Direttiva viene inviato ai Paesi membri con un preciso invito a legiferare in merito entro una certa data e con l'obbligo di comunicare le date dei relativi provvedimenti legislativi adottati. I paesi che non rispettano le scadenze imposte dalla CEE sono soggetti a sanzioni economiche.

Ogni Stato può però introdurre, accanto alle unità rese obbligatorie dalla CEE, le così dette Indicazioni Aggiuntive, ovvero altre unità già in uso in tale Stato e il cui prolungato impiego potrebbe rendersi necessario per documentate esigenze industriali, commerciali o scientifiche [7].

Ovviamente tutto questo non facilita l'unificazione né al livello della ricerca né nell'uso pratico: come si può pretendere che la sarta o il falegname non usino più come unità di misura il centimetro (mal sopportato dal Sistema Internazionale perché non esprime un sottomultiplo decimale con esponente multiplo di 3) con i medici che continuano a usare la caloria (facendo confusione fra grande caloria e piccola caloria) quando questa unità di misura dell'energia è stata vietata fin dall' 1/1/1978 e sostituita dal joule. I medici, e solo loro, inoltre usano per la misura della pressione il millimetro di mercurio [mm Hg] che è una delle unità ammesse ma è fuori dal Sistema Internazionale che prevede il pascal. È del programma *Medicina 33* (RAI 2 del 30/4/2013) l'uso del simbolo mcg per indicare i microgrammi [μg]. Mentre è televisivamente comune la locuzione *emme elle* per indicare i millilitri [ml].

È un principio generale: la gente va educata al linguaggio universale della scienza, adattare il linguaggio a discutibili semplificazioni (che nulla semplificano) è fortemente diseducativo. Semplificare è giusto, banalizzare e travisare, no!

Le cose si complicano poi andando a confrontare le diverse nazioni che hanno accettato il Sistema Internazionale, alcune, come ad esempio l'Inghilterra, hanno in pratica, come già nel 1897, mantenuto il vecchio sistema in concomitanza col nuovo: in quella Nazione esiste ancora il gallone (morto l'1/1/1995) e la pinta (deceduta il 30/9/1995); i condizionatori pompano nell'ambiente aria fredda la cui energia termica si esprime ancora in BTU (British Thermal Unit), abrogata l'1/1/1980. Per rimanere in ambito anglo-americano accenniamo alla scala termometrica ancora in uso negli USA. È la scala Fahrenheit per la quale l'acqua solidifica a 32 °F e bolle a 212 °F, ovvero con intervallo di 180 °F. Non essendo centigrada, il passaggio da questa alla scala SI, la Kelvin, o a quella legalmente ammessa, la Celsius, è più complesso al punto tale che la scala Fahrenheit non è stata ammessa e dal 27/7/1976 doveva essere abbandonata.

Nonostante ciò per gli americani l'acqua continua a solidificare a 32 gradi e loro si ammalano se la febbre supera i 98,6 gradi (ovviamente Fahrenheit = 37 °C). Sempre in USA le superfici agrarie si continuano a misurare in acri (1 acro = 4047 m²) unità di misura utilizzata fino al 30/09/1995, anche in Inghilterra.

Tutto il mondo continua a misurare la produzione di petrolio in barili⁵⁶.

Le *categorie professionali* sembrano non avere intenzione di rinunciare a certe loro unità (dei medici abbiamo già detto). I marinai di ogni ordine e grado continuano a misurare le distanze in miglia marine (vietate dall'1/1/1978) unità connessa al nodo che misurava, e purtroppo indica ancora, la velocità delle navi.

Gli aviatori volano in tutto il mondo misurando, ancora, la quota in piedi (unità abolita il 30/9/95).

Gli idraulici misurano il diametro dei tubi in pollici (con multipli e sottomultipli in base 2) mentre la lunghezza di questi è espressa in metri. In conseguenza di ciò gli schermi di TV, computer, ecc. si misurano in pollici anche se il "tubo" catodico è ormai inesistente.

Restano poi incomprensibili certe concessioni, perché gli orafi e i gioiellieri possono continuare, intrepidi, a usare i carati (oro a 18 o 24 carati in termini di purezza e pietre preziose in carati in termini di dimensioni), mentre i carbonai e i legnaioli non possono usare il quintale (= 100 kg). Il quintale è morto ma sopravvive la tonnellata, ciò evidentemente è dovuto al pasticcio del chilogrammo peso come unità: abolendo la tonnellata i 1000 kg avremmo dovuto chiamarli kkg.

Le mancate applicazioni dell'SI e le sue incomprensioni, qui indicate, sono solo alcuni esempi dei molti possibili.

Corretto invece che, fra le unità di tempo, siano fuori dall'SI ma legalmente autorizzate: minuto, ora, giorno. La loro esclusione dall'SI è dovuta solamente al fatto che non sono nel sistema decimale.

Nonostante tutto il Sistema Internazionale, per quanto riguarda le unità fondamentali è, almeno nelle nazioni che lo hanno ufficialmente accettato, in buona parte applicato. Non altrettanto si può dire in riferimento alla nomenclatura delle grandezze derivate: vi sono divergenze, anche marcate, fra italiano, inglese e francese, divergenze che provocano non poche complicazioni nelle traduzioni.

Solo alcuni esempi:

- in Italia abbiamo la *velocità*, gli inglesi distinguono fra *velocity* equivalente alla nostra velocità (intesa come grandezza vettoriale) e *speed* (intendendo la caratteristica di suddetto vettore che noi chiamiamo *intensità della velocità* o *modulo della velocità*);
- in Italia definiamo *quantità di moto* il prodotto fra massa e velocità, gli inglesi chiamano questo prodotto *momentum*;
- in italiano il momento (*false friends* del precedente) è il prodotto fra una forza e la lunghezza del braccio che la applica. Gli inglesi chiamano questo prodotto *moment*, creando confusione con *momentum*.

Le cose si complicano ancora di più nei termini che definiscono le caratteristiche metrologiche e di impiego degli strumenti di misura; ma l'argomento esula dai limiti di questo lavoro.

Bestiario metrologico.

In Italia i mezzi di comunicazione (stampa quotidiana e periodica, radio e televisione) non fanno nulla per una corretta diffusione della normativa metrica vigente, con la conseguenza che la stragrande maggioranza dei cittadini, tra i quali anche operatori di vari settori più o meno direttamente coinvolti nella metrologia, sono totalmente ignoranti in materia; buona parte degli stessi insegnanti, a partire dalle elementari per finire alle superiori, per non parlare di molti docenti universitari, non conosce a fondo la corretta simbologia delle unità di misura (e qui va fatto un appunto sia sulla scarsa sensibilità degli editori tecnico-scientifici - che rifiutano sistematicamente pubblicazioni aggiornate in materia - sia a molti autori che impiegano nei loro testi unità di misura obsolete o fuorilegge). Molti ritengono indifferente l'impiego di un simbolo al posto di un altro o l'impiego di un'unità di misura per una grandezza diversa da quella per la quale è stata adottata, essendo convinzione diffusa che i responsabili degli enti metrologici si divertano a cambiare ogni tanto la simbologia, come in una sorta di gioco dei bussolotti.

Vale la pena di citare alcuni esempi: i quotidiani sportivi esprimono la durata della corsa usando il simbolo " per i secondi e il simbolo ' per i minuti, ignorando che " indica il secondo d'angolo, mentre ' indica il minuto d'angolo; del tutto risibile, poi, che la velocità di un'auto venga espressa in kmh. E ancora, nelle scuole elementari si continua a insegnare al bambino il miriametro, multiplo del metro scomparso fin dal 1960, mentre in edilizia si insiste nell'indicare il metro col simbolo ml (che invece rappresenta il millilitro) e il metro quadrato con mq (che invece rappresenta il milliquintale, ovvero l'ettogrammo!). Ma gli esempi negativi si possono moltiplicare a piacere: articolisti di quotidiani che esprimono la potenza di una centrale elettrica in kilowattora⁵⁷ anziché in kilowatt, idraulici che misurano la pressione dell'acqua in un acquedotto in kili, meteorologi che esprimono la pressione in atmosfere⁵⁸, costruttori di strumenti di misura che continuano imperturbati a incidere sui quadranti dei manometri⁵⁹ la aberrante scritta kg/cmq, riuscendo con encomiabile analfabetizzazione metrica a commettere tre errori in un sol colpo⁶⁰. [7]

3.3.3 Gli sviluppi del Sistema Internazionale.

Dalla Conferenza del 1875 ad oggi nel campo delle misure si sono fatti notevoli progressi; lo scopo futuro del Sistema Internazionale sarà sempre quello di mantenere il suo valore globale e di ampliarlo, seguendo le necessità di una sempre maggiore globalizzazione e di una società in continua evoluzione che ha bisogno sempre di nuove e più precise misure.

Come già detto in precedenza il Sistema Internazionale è una tappa della metrologia e non un traguardo, motivo per cui non deve suscitare stupore il fatto che i campioni e le unità che conosciamo potrebbero essere soggetti a modifiche; ad esempio dal 2005 sono iniziati i lavori che dovranno portare alla modifica del campione del kilogrammo, dell'ampere e del kelvin.

Il fatto che si tratti di una tappa e non di un traguardo si capisce anche dalle nuove adesioni che il Sistema Internazionale continua a ricevere. Secondo dati aggiornati al 2013⁶¹, dai diciassette Stati firmatari della Convenzione del Metro del 1875 (tabella 3.5), si è passati oggi a ben cinquantacinque Stati Membri (tabella 3.6) e trentasette Stati Associati (tabella 3.7). Ormai molti di questi paesi possiedono importanti centri di metrologia che sono in collegamento tra loro e con i vari organismi internazionali, e ciò contribuisce a dare una certa stabilità al Sistema.

Purtroppo non tutti gli stati membri si sono dotati (o se lo sono la disattendono) di una legislazione in grado di imporre l'utilizzo dell'SI, in particolare il Regno Unito di Gran Bretagna e Irlanda del nord e gli Stati Uniti d'America che in pratica, come abbiamo visto, continuano imperterriti a utilizzare anche le unità tradizionali.

Tabella 3.5 – Il 20 maggio 1875 diciassette Stati firmarono, a Parigi, la Convenzione del Metro [104].

Stati firmatari della Convenzione del Metro	
Argentina	Portogallo
Austria - Ungheria	Russia
Belgio	Spagna
Brasile	Stati Uniti d'America
Danimarca	Svezia - Norvegia
Francia	Svizzera
Germania	Turchia
Italia	Venezuela
Perù	

Tabella 3.6 – Al 6 febbraio 2013 ci sono 55 Stati membri del BIPM. I nomi degli Stati qui sotto riportati sono quelli attuali, che possono differire da quelli degli Stati al momento dell'adesione al BIPM [105].

Stati Membri e data di adesione al BIPM					
Arabia Saudita	2011	Grecia	2001	Repubblica Ceca	1922
Argentina	1877	India	1957	Repubblica Dominicana	1954
Australia	1947	Indonesia	1960	Romania	1884
Austria	1875	Iran (Repubblica Islamica di)	1975	Russia (Federazione)	1875
Belgio	1875	Irlanda	1925	Serbia	2001
Brasile	1921	Israele	1985	Singapore	1994
Bulgaria	1911	Italia	1875	Slovacchia	1922
Canada	1907	Kazakhstan	2008	Spagna	1875
Cile	1908	Kenya (Repubblica di)	2010	Stati Uniti d'America	1878
Cina	1977	Malesia	2001	Sud Africa	1964
Colombia (Repubblica della)	2013	Messico	1890	Svezia	1875
Corea (Repubblica di)	1959	Norvegia	1875	Svizzera	1875
Croazia	2008	Nuova Zelanda	1991	Thailandia (Regno di)	1912
Danimarca	1875	Olanda	1929	Tunisia	2012
Egitto	1962	Pakistan	1973	Turchia	1875
Finlandia	1923	Polonia	1925	Ungheria	1925
Francia	1875	Portogallo	1876	Uruguay (Repubblica Orientale dell')	1908
Germania	1875	Regno Unito di Gran Bretagna e Irlanda del nord	1884	Venezuela (Repubblica Bolivariana del)	1879
Giappone	1885				

Tabella 3.7 – Al 6 febbraio 2013 ci sono 37 Stati associati alla CGPM. I nomi degli Stati qui sotto riportati sono quelli attuali, che possono differire da quelli degli Stati al momento dell'associatura alla CGPM [105].

Stati Associati alla CGPM		
Albania (Repubblica di)	Giamaica	Perù (Repubblica di)
Bangladesh (Repubblica Popolare del)	Hong Kong (Cina)	Repubblica Araba di Siria
Bielorussia (Repubblica di)	Lettonia (Repubblica di)	Repubblica Georgiana
Bolivia (Stato Plurinazionale di)	Lituania (Repubblica di)	Repubblica Jugoslava di Macedonia (Costituenda)
Bosnia ed Erzegovina	Malta (Repubblica di)	Seychelles (Repubblica delle)
Botswana (Repubblica di)	Mauritius (Repubblica di)	Slovenia (Repubblica di)
CARICOM (Comunità Caraibica)	Moldova (Repubblica di)	Sri Lanka
Costa Rica (Repubblica di)	Montenegro (Repubblica di)	Taiwan (Taipei cinese)
Cuba (Repubblica di)	Namibia (Repubblica di)	Ucraina
Ecuador (Repubblica di)	Oman (Sultanato di)	Viet Nam
Estonia (Repubblica di)	Panamà (Repubblica di)	Zambia (Repubblica di)
Filippine	Paraguay (Repubblica di)	Zimbabwe (Repubblica di)
Ghana (Repubblica di)		

L'attività dei metrologi ai nostri tempi è davvero molto intensa, essi devono garantire un livello di precisione sempre maggiore e devono tenersi sempre aperti alle nuove esigenze della società, della scienza e della tecnica; oggi abbiamo bisogno di misure sempre più precise e anzi in alcuni contesti il margine di precisione raggiunto dalle misure appare essere appena sufficiente.

Sicuramente la disciplina che attualmente ha richieste maggiori nell'ambito della metrologia è la chimica, non a caso uno scopo del BIPM è quello di estendere anche a questo campo un accordo internazionale come il MRA (*Mutual Recognition Agreement*)⁶².

Un'altra grande sfida alla metrologia è lanciata dalla medicina e dalla fisica ambientale: la prima con i suoi strumenti che richiedono controlli continui, la seconda con la complessità dei sistemi di monitoraggio.

Nell'ambito della fisica ambientale, in particolare nel contesto della meteorologia, la XXIII CGPM (2007), ricordando le risoluzioni della XXI CGPM (1999) sulla necessità di utilizzare le unità del SI nelle ricerche sulle risorse terrestri e l'ambiente, accolse favorevolmente il progetto di organizzare, in collaborazione con l'OMM (*Organisation Météorologique Mondiale*), una conferenza internazionale sul ruolo della metrologia negli studi dei cambiamenti climatici globali. A tale proposito venne raccomandato agli organismi coinvolti di dare disposizioni affinché tutte le misure eseguite nelle osservazioni utilizzabili per gli studi di climatologia, fossero esse terrestri o spaziali, dovevano essere assolutamente conformi alle indicazioni del SI.

È del 2011 (XXIV CGPM) la dichiarazione del BIPM di voler trattare, nel periodo 2013-2016, le questioni metrologiche legate ai cambiamenti climatici e al riscaldamento del pianeta.

Per comprendere il livello di globalizzazione, di precisione e di sicurezza raggiunto dalla metrologia, nonché la fiducia che ormai riveste questa scienza a livello internazionale, possiamo portare l'esempio della costruzione dell'airbus A380, il più grande aereo di linea europeo⁶³. Alla sua costruzione contribuirono Inghilterra, Germania, Spagna e Francia, dove i pezzi costruiti nelle varie nazioni furono assemblati. Una collaborazione commerciale a questi livelli sarebbe stata impossibile non troppo tempo fa, quando ancora non si aveva una piena fiducia e una piena eguaglianza nell'ambito delle misure, ma oggi grazie all'organizzazione internazionale della metrologia e ai vari laboratori nazionali coinvolti si è raggiunto un livello di stabilità che consente collaborazioni internazionali, come è avvenuto in questo caso.

L'unificazione metrologica è un percorso teoricamente e strumentalmente concluso, ma non lo è applicativamente. Le tradizioni e le eccessive concessioni fatte dai governi alle categorie professionali, hanno rallentato l'applicazione e la diffusione dell'SI.

Il Sistema Internazionale non è certo ai primi passi ma per diventare internazionale deve prima diventare nazionale.

Dal 2004 il 20 maggio, in ricordo della Convenzione del Metro del 20 maggio 1875, si celebra la Giornata Mondiale della Metrologia, proponendo un tema specifico, organizzata da BIPM e OIML (*Organisation Internationale de Métrologie Légale*).

Per il 2013 il tema è *La Metrologia nella vita di tutti i giorni* [106].

Andando indietro nel tempo i temi sono stati:

2004 *Che cosa è la Metrologia?*

2005 *Fiducia globale attraverso la tracciabilità dell'SI*

2006 *Un mondo di Metrologia al servizio del mondo*

2007 *Le misure dell'ambiente*

2008 *Nessun gioco senza misure*

2009 *Le misure nel commercio*

2010 *Misura nella scienza e nella tecnica – un ponte per l'innovazione*

2011 *Misure chimiche per la nostra vita e il nostro futuro*

2012 *Noi misuriamo per la vostra sicurezza.*

3.3.4 Il futuro della metrologia.

L'unificazione metrologica è stata veramente un lungo percorso storico-geografico, che però non si è ancora concluso e che ha raggiunto traguardi diversi nelle diverse nazioni. Abbiamo visto, nei capitoli precedenti, tentativi di unificazione a varie scale: singole nazioni, gruppi di nazioni aggregate da eventi politici, unificazioni internazionali.

Il primo atto significativo, in questa direzione, è stato, senza dubbio la definizione del Sistema Metrico Decimale che però da solo non è stato in grado di internazionalizzare la metrologia. Una evoluzione del Sistema Metrico Decimale si è avuta con il Sistema Internazionale, anche se esso ha favorito troppo il mondo dei fisici trascurando le esigenze di altre discipline; ciò è risultato sempre più evidente man mano che altri rami della scienza ponevano la misura come base metodologica⁶⁴.

Le concessioni fatte dal Sistema Internazionale nell'uso di certe unità di misura si sono rese necessarie perché la scelta delle unità SI non è sempre stata felice, almeno non per tutte le applicazioni. Ad esempio il pascal (unità di misura della pressione) è troppo piccolo e costringe

il meteorologo, ligio all'SI, ad adottare locuzioni, se non errate, certamente bizzarre. La pressione atmosferica, escludendo il bar e il suo sottomultiplo millibar, espressa in pascal porta a numeri molto grandi: la pressione standard risulta di 101 325 pascal che se anche espressa in kilopascal allontana molto dal “comune sentire” dei meteorologi che hanno adottato l'*escamotage* di utilizzare al posto del millibar l'ettopascal. Brutta dicitura perché utilizza un multiplo di 10^2 quando il Sistema Internazionale consiglia l'uso di esponenti multipli di 3.

Mentre il fisico accetta tranquillamente l'imposizione metrologica del joule per l'energia, questa unità è poco gradita ai frequentatori delle discipline biologiche, medici in testa, che da sempre usano la caloria (e, per inciso, misurano la pressione sanguigna in millimetri di mercurio).

L'accettazione di cambiamenti metrologici da parte dei fisici, data la loro robusta base matematica, provoca loro un disturbo del tutto trascurabile. Per un biologo e un medico, che non hanno la stessa *agilità numerica*, cambiare unità di misura è una iattura che può portare a gravi conseguenze.

Ancora legata alla formazione di base: il cittadino che ha sempre pagato l'energia elettrica in kilowattora si perderebbe, ancor di più, all'interno di una bolletta espressa in megajoule.

In sintesi se dal punto di vista fisico è risibile avere una stessa grandezza espressa con diverse unità (energia espressa in joule, in calorie, in wattora), può non esserlo se le diverse unità con cui si indica la stessa grandezza, esprimono campi applicativi diversi, in un certo senso anche per le unità fisiche possiamo usare la locuzione latina *nomina sunt consequentia rerum*.

A questo punto però sorge il problema in quali casi si possono accettare più unità per una stessa grandezza? E da questo discende: chi deve prendere queste decisioni? E ancora: che cosa fare se le decisioni prese e le scelte fatte vengono disattese?

Ovviamente qui ci troviamo in una zona di confine fra la metrologia e la giurisprudenza e solo una loro integrazione può dare risposte ai quesiti sopra enunciati. A questo fine è dal 1955 che opera l'OIML (*Organisation Internationale de Métrologie Légale*) di cui si parlerà nel capitolo seguente.

Vogliamo chiudere questo capitolo dicendo che l'universalità, tanto sognata da Talleyrand nel lontano 1790 e riassunta nella celebre frase di Condorcet *a tutti gli uomini e a tutti i tempi*, potrebbe non essere così lontana dal diventare una realtà: basterebbe un po' di buona volontà da parte di tutti noi, almeno nella metrologia scientifica.

3.4 Note.

¹ Una cronologia, di sintesi, degli eventi principali che hanno segnato la storia e il percorso geografico verso l'unificazione metrologica è riportata nell'Appendice 3.5.2 di questo capitolo.

² La *Convenzione del Metro*, è il trattato che ha creato il *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), un'organizzazione intergovernativa sotto l'autorità della Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM) e la supervisione del Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM). Il BIPM ha l'autorità per agire nel campo della metrologia mondiale; in particolare per quanto riguarda le norme delle misure, a cui sono richieste esattezze sempre crescenti negli ambiti più ampi e più vari. La Convenzione fu firmata a Parigi nel 1875 da diciassette Stati. Fu così istituito il BIPM e se ne stabilì le modalità di

funzionamento. La Convenzione ebbe così una struttura permanente finalizzata ad avere un'azione comune, fra gli Stati Membri, per tutte le questioni relative alle unità di misura. Il BIPM ha attualmente 55 Stati membri, tra cui i principali paesi industrializzati.

³ In realtà la proposta per la sua adozione risale al 1873 e venne fatta da parte della *British Association for Advancement of Science* al fine di porre un ordine nella pluralità di sistemi che si era creata. L'intento era comunque quello di far dipendere tutte le grandezze fisiche da lunghezza, massa e tempo [3].

⁴ Il merito venne attribuito a Gauss, il quale suggerì come derivare dalle tre unità di misura fondamentali, non solo tutte le unità meccaniche ma anche quelle magnetiche ed elettriche. Ma in questo modo si venivano a creare per l'elettromagnetismo almeno tre sistemi [3].

Carl Friedrich Gauss, (Braunschweig, 1777 – Gottinga, 1855) fisico e matematico tedesco; diede contributi fondamentali in entrambi i campi. Integrò (fra il 1870 e il 1880) il vigente Sistema delle misure, limitato alle unità di uso corrente nella vita comune, con altre unità usate anche nella fisica.

⁵ Platino, simbolo Pt: è un metallo splendente, duttile e malleabile, fonde a 1768,2 °C, riconosciuto come elemento chimico nel 1748. Viene messo in lega con l'iridio che ne aumenta la durezza e ne migliora la resistenza alla corrosione da parte degli agenti chimici.

⁶ Iridio, simbolo Ir: è un metallo, simile al platino, che fonde a 2466 °C, riconosciuto come elemento chimico nel 1803. È spesso aggiunto in lega al platino per migliorarne la durezza e la resistenza alla corrosione da parte degli agenti chimici.

⁷ Cesio, simbolo Cs: metallo alcalino scoperto nel 1860, di colore argenteo, tenero, fonde a basse temperature 28,44 °C, buon conduttore di corrente elettrica, emette elettroni per semplice illuminazione.

⁸ L'ohm, simbolo Ω esprime la misura di resistenza elettrica grandezza che quantifica l'opposizione che fanno i conduttori a lasciarsi attraversare dalla corrente elettrica.

Questa grandezza deve il suo nome al fisico e matematico tedesco Georg Simon Ohm (Erlangen, 1789 – Monaco di Baviera, 1854). Basandosi su una lunga e rigorosa sperimentazione, Ohm definì con chiarezza i concetti di intensità di corrente e di forza elettromotrice e formulò la legge che stabiliva una relazione di proporzionalità lineare diretta fra la differenza di potenziale V (tensione elettrica), applicata attraverso un conduttore di resistenza R, e la corrente elettrica di intensità I che lo attraversa: $V = I R$ (legge di Ohm). Questo risultato ebbe fondamentale importanza nello sviluppo dell'elettrologia teorica e applicata.

⁹ L'ampere, simbolo A, esprime il flusso di elettroni (o più in generale la carica elettrica) che attraversa la sezione di un conduttore nell'unità di tempo, ovvero la corrente elettrica.

Questa grandezza deve il suo nome al fisico francese André-Marie Ampère (Poleymieux-au-Mont-d'Or 1775 – Marsiglia, 1836). Ampère si dedicò allo studio delle relazioni fra elettricità e magnetismo, e allo sviluppo degli studi di elettromagnetismo. Riuscì a formulare su basi matematiche la legge fondamentale dell'elettrodinamica. Stabilì, tra l'altro, un legame tra effetti elettrici e magnetici, mostrando che un circuito percorso da corrente è equivalente a un ago magnetico (principio di equivalenza di Ampère).

¹⁰ Multipli e sottomultipli ci suggeriscono di ricordare che: moltiplicare un numero o un simbolo per un numero o un simbolo con esponente negativo equivale a dividere il primo numero o simbolo per il secondo ma con esponente positivo

$$5 \cdot 10^{-2} = 5 / 10^2 = 5 / 100 = 0,05$$

$$X \cdot 10^{-4} = X / 10^4 = X / 10000 = 0,000X$$

$$X \cdot Y^{-n} = X / Y^n$$

Viceversa dividere per un numero o simbolo con esponente negativo vale moltiplicare per lo stesso numero o simbolo ma con esponente positivo

$$X / Y^{-n} = X \cdot Y^n$$

¹¹ Poiché le Istituzioni e gli Enti che, dall'entrata in vigore del Sistema Internazionale, si sono formalizzati sono molti, nell'Appendice 3.5.1 di questo capitolo, è riportato un quadro di sintesi dei più importanti.

¹² Qualsiasi corpo a temperatura superiore allo zero assoluto irradia nello spazio circostante *energia radiante* o più brevemente *radiazione*. Un modello matematico, che spiega un gran numero di fenomeni attinenti alla radiazione, attribuisce a questa natura ondulatoria, con chiara analogia ad altri fenomeni naturali come il propagarsi della perturbazione prodotta da un sasso lanciato in uno specchio d'acqua.

Rifacendosi a questo esempio di facile visualizzazione si può osservare che nel moto ondoso ogni particella d'acqua oscilla intorno alla posizione di equilibrio iniziale in un tempo caratteristico detto periodo (T). È allora evidente che se la durata temporale di una oscillazione è T, nell'unità di tempo si avranno 1/T oscillazioni. Il numero di oscillazioni nell'unità del tempo prende il nome di frequenza dell'onda (f). Lo spazio percorso durante il tempo T dalla perturbazione che si propaga è chiamato lunghezza d'onda (λ), che ovviamente viene a coincidere con la distanza fra due creste successive dell'onda.

Se indichiamo con c la velocità di propagazione dell'onda abbiamo allora:

$$c = \lambda / T = \lambda \cdot f$$

Come già detto (*mutatis mutandis*) questa descrizione può essere applicata anche al propagarsi della radiazione emessa dai corpi non allo zero assoluto. In questo caso non si tratta di onde meccaniche (come quelle del "sasso nello stagno") ma di onde elettromagnetiche (ovvero della stessa natura delle onde che stanno alla base del funzionamento di: radio, tv, telefonini, forni a micro-onde, apparecchi radiografici a raggi X, ecc.).

Un aspetto che semplifica l'analisi delle onde elettromagnetiche rispetto alle altre è che la velocità dell'onda è praticamente uguale, e costante, nel vuoto e in aria ($c = 300\,000$ km/s, circa).

¹³ Krypton, simbolo Kr: insieme ad elio (He), neon (Ne), argo (Ar), xeno (Xe), radon (Rn), costituisce il gruppo dei gas nobili, ovvero di quei gas che difficilmente reagiscono con altri elementi o composti chimici. Questo gas incolore, scoperto nel 1898, ha la temperatura critica a $-64,14$ °C (temperatura a cui si ha il passaggio dallo stato di gas a quello di vapore in presenza di liquido) e solidifica a $-157,36$ °C.

¹⁴ Per la nomenclatura degli elementi chimici abbiamo usato le regole stabilite dalla Commissione di Nomenclatura inorganica della Unione Internazionale di Chimica Pura e Applicata (IUPAC) del 1959, riviste nel 1971 e 1990 [12]. Esempio:



rappresenta la molecola, biatomica, dello zolfo S₂, due volte ionizzata (2+), nella quale ciascun atomo ha numero atomico (numero di protoni = 16) e numero di massa 32 (somma del numero di protoni e di neutroni presenti nel nucleo dell'atomo).

¹⁵ Qui e altrove citiamo alcune condizioni di fisica atomica, nelle quali i campioni furono o sono definiti, solamente per far notare come talvolta precisione e complessità vadano di pari passo. Per questa complessità il campione di lunghezza ora descritto è stato successivamente abbandonato.

Per chi, ricordandosi un po' di fisica della materia, voglia approfondire suggeriamo di leggere [2] o collegarsi al sito [118].

¹⁶ Albert Abraham Michelson nato a Strzelno Prussia (odierna Polonia) nel 1852. Si trasferì da bambino negli Stati Uniti dove morì a Pasadena, California, nel 1931. Fisico sperimentale nel 1878 fornì un accurato metodo per la misura della velocità della luce. Nel 1881 inventò l'interferometro (che da lui prende il nome) con cui effettuò un esperimento per rilevare l'eventuale moto della Terra rispetto all'etere cosmico. Nel 1890 suggerì l'applicazione del suo metodo interferenziale per le misure astronomiche; nel 1920 eseguì con questo metodo la misura del diametro di alcune grandi stelle. In collaborazione con altri studiosi, applicò i metodi interferometrici alla misura della rigidità e della viscosità della Terra. Nel 1907 gli fu assegnato il premio Nobel per la fisica.

¹⁷ Elio, simbolo He: insieme a neon (Ne), argo (Ar), kripton (Kr), xeno (Xe), radon (Rn), costituisce il gruppo dei gas nobili, ovvero di quei gas che difficilmente reagiscono con altri elementi o composti chimici. Questo gas incolore scoperto, nel Sole nel 1868, e isolato nel 1895 solidifica a $-272,22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

¹⁸ Neon, simbolo Ne: insieme ad elio (He), argo (Ar), kripton (Kr), xeno (Xe), radon (Rn), costituisce il gruppo dei gas nobili, ovvero di quei gas che difficilmente reagiscono con altri elementi o composti chimici. Questo gas incolore, scoperto nel 1898, ha la temperatura critica a $-228,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura a cui si ha il passaggio dallo stato di gas a quello di vapore in presenza di liquido) e solidifica a $-248,59\text{ }^{\circ}\text{C}$.

¹⁹ La levigatezza delle superfici dei blocchetti è tale che accostandone uno a un altro, tutta l'aria interposta viene espulsa ed è quindi la stessa pressione atmosferica che comprime i due blocchetti [7 p. 63]

²⁰ Il campione conservato a Sevrés (e a maggior ragione le sue repliche distribuite ai vari Stati) ha mostrato nel tempo una variazione di peso dovuta, secondo vari autori, a contaminazioni di vapori di mercurio [5] e a carbonati [6] sempre presenti nell'aria, che si legano alla superficie del campione. Diverse procedure di pulizia sono state proposte: dalle più semplici [9] alle più complesse [4].

Tutto ciò ribadisce la necessità di *dismettere*, anche per la massa, i campioni materiali (artefatti) e passare a riferimenti basati su costanti fisiche atomiche.

²¹ Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro, conte di Quaregna e Cerreto (Torino, 1776 – Torino, 1856), chimico e fisico italiano. Si dedicò allo studio dei rapporti tra l'elettricità e la chimica, pubblicando nel 1809 una memoria in cui spiegava le affinità chimiche con modelli elettrici. Nel 1811 formulò il principio fondamentale della fisica e della chimica dei gas che, conteneva le basi assiomatiche della chimica moderna. La legge di Avogadro afferma che volumi uguali di gas diversi, alla stessa temperatura e alla stessa pressione, contengono lo stesso numero di molecole. Avogadro ebbe alcuni incarichi pubblici fra cui quello di presidente della Commissione pesi e misure e in quel ruolo ebbe il merito di introdurre il sistema metrico decimale in Piemonte.

Il numero di Avogadro ($6,02252 \pm 0,00028$) 10^{23} esprime il numero di molecole (o atomi) contenute in una quantità di sostanza (o elemento) pari a una grammomolecola (o grammoatomo).

La grammomolecola (o grammoatomo) è una quantità di sostanza (o elemento), espressa in grammi, pari al peso molecolare (o atomico) della sostanza (o elemento). Una tale quantità prende il nome di mole, questa, pur avendo massa diversa per le diverse molecole (o atomi) che la compongono, ha sempre lo stesso numero di componenti, appunto il numero di

Avogadro. Tale numero risulta dall'aver definito che una mole di carbonio 12 (^{12}C) abbia esattamente una massa di 12 grammi.

²² Carbonio, simbolo C: si trova in natura in forma di elemento chimico come grafite e come diamante. In forma combinata: nei carboni fossili, negli idrocarburi, nei carbonati (es. calcare) e nell'atmosfera come anidride carbonica (CO_2). Il carbonio è alla base di tutta la chimica organica. Sotto forma di diamante è noto da circa 6000 anni.

²³ La materia può presentarsi nello stato: solido (avente volume e forma propria), liquido (avente volume proprio ma non forma), aeriforme (non ha né volume né forma propria); i tre stati di aggregazione dipendono fortemente dalla temperatura a cui si trova la materia e, in quantità minore, dalla pressione a cui è sottoposta. Modificando questi due parametri si può provocare il passaggio della materia da uno stato di aggregazione all'altro.

²⁴ Per punti fissi si intendono le temperature alle quali avvengono i cambiamenti di stato di aggregazione della materia durante i quali, nonostante si fornisca o si sottragga energia termica, non vi è cambiamento di temperatura, ad esempio: passaggio dallo stato solido a quello liquido (fusione) e viceversa (solidificazione), passaggio dallo stato liquido a gassoso (evaporazione) e viceversa (liquefazione); e altri processi termici, come ad esempio l'ebollizione.

²⁵ Daniel Gabriel Fahrenheit (Danzica, 1686 – L'Aia, 1736) fisico e ingegnere tedesco. Realizzò il termometro ad alcol (1709) e il termometro a mercurio (1714) e mise a punto la scala di temperatura Fahrenheit, tutt'ora utilizzata negli Stati Uniti e in altri Stati minori. Fece parte della *Royal Society*.

²⁶ Il punto triplo di una sostanza è rappresentato dalla temperatura alla quale coesistono, in equilibrio termodinamico, le fasi solida, liquida e aeriforme, di tale sostanza. Nel caso dell'acqua (intesa come acqua pura, senza alcun soluto al suo interno) si parla indifferentemente di punto triplo o di ghiaccio fondente alla pressione atmosferica di 1013,25 mbar o più correttamente 101 325 pascal.

²⁷ Fino al XVIII secolo si sarebbe detto: alla pressione atmosferica del livello del mare a 45° di latitudine, a mezzogiorno di una giornata di cielo limpido. Poi, più sinteticamente, si è detto alla pressione standard di 1 atmosfera, oggi, decaduta l'atmosfera, si dice alla pressione di 101 325 pascal.

²⁸ René-Antoine Ferchault de Réaumur (La Rochelle, 1683 – Saint-Julien-du-Terroux, 1757) fisico e naturalista francese. Inizialmente i suoi studi furono diretti alla matematica e in particolare alla geometria; successivamente si dedicò alla meteorologia dove mise a punto un termometro ad alcol con la scala che prende il suo nome. Fece parte dell'*Académie des Sciences*.

²⁹ Anders Celsius (Uppsala, 1701 – Uppsala, 1744) fisico e astronomo svedese. Insegnò all'università di Uppsala e fondò l'osservatorio astronomico della città svedese. Effettuò numerosissime osservazioni sulle aurore boreali, che pubblicò nel 1733. Nel 1736-37 partecipò alla spedizione organizzata dall'*Académie des Sciences* di Francia in Lapponia per la misura del grado di meridiano; i risultati della spedizione confermarono l'ipotesi di Newton sullo schiacciamento terrestre ai poli. Nel 1742 propose una scala di temperatura centigrada, ora universalmente adottata, e la cui unità di misura, in suo onore, prende il nome di grado Celsius.

³⁰ William Thomson Lord Kelvin (Belfast, 1824 – Netherhall, Largs, Scozia, 1907) fisico britannico, ebbe la cattedra di fisica all'università di Glasgow. Rifacendosi ai precedenti studi di Carnot, approfondì criticamente il concetto di temperatura e giunse a introdurre la

scala termodinamica assoluta, la cui unità di misura fu successivamente denominata kelvin. Proseguì, sino agli ultimi tempi della sua vita, ricerche sui maggiori problemi della fisica: la costituzione della materia, l'elettromagnetismo, le onde elettriche e luminose, la struttura e il divenire dell'universo. Dal 1890 fu presidente della *Royal Society*. Nel 1892 fu nominato pari d'Inghilterra con il titolo di barone di *Kelvin of Largs* per i suoi meriti scientifici.

³¹ Lo zero assoluto è la temperatura alla quale l'energia molecolare di un qualunque sistema raggiunge il valore minimo (un tempo considerato nullo). Lo zero assoluto è sperimentalmente e concettualmente irraggiungibile e pertanto nella scala kelvin non esistono temperature negative.

³² La Scala di Temperatura Internazionale (ITS - *International Temperature Scale* [112]), che ha subito ulteriori revisioni nel corso di Conferenze successive (1948, 1954, ..., 1990), è lo standard che:

- fissa i punti di riferimento per la taratura (punto di fusione, punto triplo, punto di ebollizione, ecc.);
- definisce le equazioni ed i metodi da utilizzare per calcolare le temperature intermedie (interpolazione);
- definisce gli strumenti da usare per la realizzazione della scala di temperatura.

Nella tabella sono riportati certi punti fissi di alcune sostanze

Sostanza	Punto Fisso	T (K)
Idrogeno	triplo	13,8033
Neon	triplo	24,5561
Ossigeno	triplo	54,3584
Argon	triplo	83,8058
Mercurio	triplo	234,3156
Acqua	triplo	273,16
Gallio	fusione	302,9146
Indio	fusione	429,7485
Stagno	fusione	505,078
Zinco	fusione	692,677
Alluminio	fusione	933,473
Argento	fusione	1234,93
Oro	fusione	1337,33
Rame	fusione	1357,77

³³ Nella tabella sono riportate le relazioni fra le temperature espresse in kelvin, in gradi Celsius e in gradi Fahrenheit. Mettere x uguale alla temperatura nell'unità data, per ottenere y, la stessa temperatura, nell'unità cercata.

Per convertire → in ↓	K	°C	°F
kelvin	$y = x$	$y = x + 273,16$	$y = \frac{5}{9}(x + 459,688)$
gradi Celsius	$y = x - 273,16$	$y = x$	$y = \frac{5}{9}(x - 32)$
gradi Fahrenheit	$y = \frac{9}{5}x - 459,688$	$y = \frac{9}{5}x + 32$	$y = x$

³⁴ Considerando il moto apparente del Sole lungo l'equatore, si definisce giorno solare medio l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi del Sole per il meridiano del luogo di osservazione.

³⁵ Considerando il moto orbitale della Terra intorno al Sole, si definisce giorno sidero l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi di una stessa stella dal punto di osservazione terrestre.

³⁶ L'anno tropico è l'intervallo di tempo fra due passaggi consecutivi del Sole all'equinozio di primavera (21 marzo, ma in un momento del giorno che cambia di anno in anno e si ripete ogni 4 anni).

³⁷ Il campione di secondo è definito come la durata di 9 192 631 770 oscillazioni della radiazione non perturbata emessa dall'atomo di ¹³³Cs nello stato fondamentale ²S_{1/2} nella transizione dal livello iperfine F=4, M=0 al livello iperfine F=3, M=0 [7 pag. 64]. Qui, come già detto nel paragrafo relativo al campione di lunghezza definito attraverso il kripton 86, le indicazioni dei livelli di transizione sono date per evidenziare la complessità a cui ci si deve spingere per indicare un campione naturale rispondente alla condizioni di precisione, accessibilità, riproducibilità, invariabilità.

³⁸ Un conduttore percorso da corrente genera intorno a sé un campo magnetico, come fa l'espansione polare di una calamita. Se i conduttori sono due e sono posti paralleli fra loro e sufficientemente vicini, essi si attraggono se percorsi da corrente nello stesso verso, si respingono se percorsi da corrente in senso opposto.

³⁹ La causa che provoca un flusso di cariche elettriche (cioè una corrente elettrica) è un agente fisico denominato *tensione elettrica* o *forza elettromotrice* o *differenza di potenziale*; l'unità di misura di questa grandezza è, nel Sistema Internazionale il volt:

$$1 \text{ V} = 1 \text{ A} \cdot 1 \Omega$$

ovvero il volt, unità derivata, è la differenza di potenziale che si instaura ai capi di un conduttore di resistenza elettrica 1 ohm, unità derivata, quando questo è percorso da una corrente di 1 amper, grandezza fondamentale. L'unità deve il suo nome al fisico italiano Alessandro Volta (Como, 1745 – Como, 1827). Divenuto professore di fisica sperimentale all'Università di Pavia, compì importanti esperienze sulla dilatazione dell'aria e introdusse i concetti di capacità elettrica e di tensione elettrica. Negli stessi anni in cui Volta svolgeva le sue ricerche di elettrologia, Galvani scoprì un tipo di fenomeno elettrico completamente nuovo, che interpretò come la prova dell'esistenza di una elettricità di origine animale. Volta ne confutò l'interpretazione, attribuendo la causa dei fenomeni elettrici al contatto di metalli diversi. Fu proprio in conseguenza della polemica con Galvani, che Volta realizzò (1799 – 1800) il primo generatore statico di energia elettrica (la *pila di Volta*) usando dei dischetti di ferro e di zinco alternati e separati da strati di panno imbevuto di una soluzione acquosa di acido solforico. La pila di Volta aprì la strada all'impiego pratico dell'elettricità.

⁴⁰ Si definisce corpo nero un corpo che assorbe tutta la radiazione incidente su di esso, senza rifletterne nessuna parte. Si può dimostrare che un "perfetto assorbitore" è anche un "radiatore perfetto". Il concetto teorico di corpo nero è ben approssimato dal Sole che può essere considerato un corpo nero in quanto assorbe tutta la radiazione incidente senza rifletterla, ma allo stesso tempo emette luce propria.

Il corpo nero, quindi, occupa un posto speciale nella fisica teorica perché il suo potere assorbente è costante e assume sempre il valore massimo consentito.

⁴¹ Dato il legame fra frequenza f e lunghezza d'onda λ di un'onda elettromagnetica:

$$c = \lambda \cdot f = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}, \text{ con } c \text{ velocità della radiazione}$$

nel caso in esame $\lambda = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} / 540 \cdot 10^{12} \text{ Hz} = 556 \text{ nm}$ lunghezza d'onda della radiazione considerata.

⁴² Da questa definizione di mole e dalla legge di Avogadro si deduce che 1 mole è una quantità di sostanza pari a un numero di Avogadro ($6,02252 \cdot 10^{23}$) di entità elementari. Questi concetti sono un po' più ampiamente trattati nel paragrafo 3.2.1 Sottoparagrafo dei campioni di *Massa*.

⁴³ È convenzione, abbastanza seguita internazionalmente, indicare le dimensioni di una grandezza, fondamentale e no, racchiuse in parentesi quadra

⁴⁴ Sir Isaac Newton (Woolsthorpe-by-Colsterworth, 1642 – Londra, 1727) matematico, fisico, filosofo naturale, astronomo, teologo e alchimista inglese; considerato uno dei maggiori geni di tutti i tempi, contribuì in maniera fondamentale a più di una branca del sapere. Fu Presidente della *Royal Society*. Nei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (pubblicata nel 1687) descrisse la legge di gravitazione universale e, attraverso le sue leggi del moto, stabilì i fondamenti per la meccanica classica. Newton fu il primo a dimostrare che la luce bianca è composta dalla somma (in frequenza) di tutti gli altri colori, e avanzò l'ipotesi che la luce fosse composta da particelle, da ciò prese origine la teoria corpuscolare della luce in contrapposizione ai sostenitori della teoria ondulatoria della luce. Oggi la meccanica quantistica parla di dualismo onda-particella anche se i fotoni hanno poco in comune con i corpuscoli ipotizzati da Newton.

⁴⁵ Si presti attenzione al fatto che grandezze rappresentate dalle stesse dimensioni possono non avere la stessa natura fisica: ad esempio uno spazio L percorso da un corpo, con moto uniforme, in un determinato tempo t ci dice che la velocità del corpo è

$$v = L/t = [\text{m s}^{-1}]$$

L'altezza h di un uomo divisa per la sua età è dimensionalmente ancora $[\text{m s}^{-1}]$, ma questo rapporto non fornisce la velocità dell'uomo (neppure in termini di velocità di accrescimento poiché quando l'uomo ha raggiunto il massimo sviluppo l'accrescimento in altezza è nullo).

⁴⁶ Blaise Pascal (Clermont-Ferrand, 1623 – Parigi, 1662) matematico, fisico, filosofo e teologo francese. Studioso precocissimo, si dedicò inizialmente alle scienze naturali e a quelle applicate. Progettò e realizzò una macchina calcolatrice per effettuare le addizioni e le sottrazioni. Nei suoi studi sui fluidi chiarì i concetti di pressione e vuoto, ampliando il lavoro di Torricelli; in tale ambito formulò il principio secondo il quale la pressione esercitata in un punto qualunque di un liquido incomprimibile, si trasmette inalterata in tutti gli altri punti di tale liquido (*Principio di Pascal*). Negli ultimi anni della sua vita si dedicò alla filosofia e alla teologia; le lettere e gli appunti su queste tematiche furono raccolte e pubblicate postume (1669) nei *Pensées* (Pensieri), opera fra le più importanti del pensiero occidentale.

⁴⁷ James Prescott Joule (Salford, 1818 – Sale, 1889) fisico inglese. Autodidatta, effettuò importanti ricerche di termodinamica e di elettricità; pose le basi sperimentali della teoria meccanica del calore, eseguendo, tra l'altro, la prima determinazione diretta dell'equivalente termico del lavoro meccanico. Con questa esperienza mise le basi sperimentale del principio di conservazione dell'energia. Joule enunciò la legge relativa agli effetti termici delle correnti elettriche (effetto Joule). Di fondamentale importanza i suoi studi, condotti in collaborazione con lord Kelvin, sull'energia interna dei gas.

⁴⁸ James Watt (Greenock, 1736 – Handsworth, 1819) ingegnere scozzese. Lavorò in un laboratorio di manifattura meccanica presso l'università di Glasgow, interessandosi agli studi sul calore con lo scopo di migliorare il rendimento della pompa a vapore di Newcomen (usata solo per l'estrazione di acqua dalle miniere). Questi studi lo portarono nel 1769 a brevettare una macchina a vapore molto più efficiente che, perfezionata in seguito, rappresentò lo schema base per tutti i motori alternativi a vapore. A Watt si deve l'introduzione di una unità di misura, *horsepower* cavallo vapore britannico, per valutare la potenza prodotta dalle macchine a vapore.

⁴⁹ Heinrich Rudolf Hertz (Amburgo, 1857 – Bonn, 1894) fisico tedesco. Per primo provò sperimentalmente l'esistenza delle onde elettromagnetiche (previste teoricamente da Maxwell alcuni anni prima) utilizzando un apparato di sua costruzione, successivamente determinò la velocità, e le varie modalità di propagazione, delle onde elettromagnetiche. Ad Hertz si deve anche la scoperta dell'effetto fotoelettrico (la cui spiegazione teorica fu successivamente elaborata da Albert Einstein) osservando che oggetti elettricamente carichi perdevano la carica se esposti alla luce ultravioletta. In suo onore, nel Sistema Internazionale la frequenza è misurata in hertz.

⁵⁰ Charles Augustin de Coulomb (Angoulême, 1736 – Parigi, 1806) fisico e ingegnere francese. Con la legge che prende il suo nome, Coulomb viene considerato il fondatore della teoria matematica dell'elettricità e del magnetismo. Dimostrò fra l'altro che le cariche elettriche si distribuiscono unicamente sulla superficie di un conduttore. Fu componente dell'*Académie des Sciences*. In suo onore l'unità di misura della carica elettrica, nell'SI, si chiama coulomb.

Legge di Coulomb: la forza che si esercita tra due cariche elettriche puntiformi, poste nel vuoto a una certa distanza l'una dall'altra, è direttamente proporzionale al prodotto delle due cariche e inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

⁵¹ Il simbolo ° è analogo a quello dei gradi termici ma per gli angoli è posto in alto a destra, senza spazio, del numero che esprime l'angolo (es. 45°), mentre per le temperature è in alto a sinistra dell'unità utilizzata (es. 45 °C).

⁵² Si ricordi il satellite *Mars Climate Orbiter* citato nel paragrafo 2.5.4

⁵³ La combinazione dei tasti in Word è: maiuscolo+Ctrl+barra spaziatrice

⁵⁴ Galileo Galilei (Pisa, 1564 – Arcetri, Firenze, 1642) fisico, filosofo, astronomo e matematico. Per il suo trattato *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai moti locali* è considerato il padre della scienza moderna. In questa opera Galilei analizza spiega e dimostra i principi scientifici della fisica, della dinamica dei movimenti e della scienza delle costruzioni. Sul metodo scientifico (*metodo galileiano*) si veda Capitolo Primo, nota 15.

L'importanza che Galilei attribuisce alle misure nelle esperienze empiriche lo si può evincere già dal titolo della sua opera *Il Saggiatore, nel quale con bilancia squisita e giusta si ponderano le cose contenute nella Libbra*, intendendo che le osservazioni empiriche vanno misurate con uno strumento di precisione come il saggiatore (piccola bilancia di precisione per saggiare i metalli preziosi) e non con la libbra ovvero un'imprecisa stadera.

⁵⁵ La Comunità Economica Europea (CEE) è diventata Unione Europea (UE) il 1 novembre 1993, con l'entrata in vigore del trattato di Maastricht firmato il 7 febbraio 1992.

⁵⁶ 1 barile = 158,98 litri se si tratta di greggio, 119,24 litri per altri liquidi, in USA. Altri valori per liquidi in altre nazioni.

⁵⁷ Il kilowattora esprime una potenza (espressa in kilowatt) moltiplicata per un tempo (espresso in ore) quindi è la misura di una energia e non di una potenza.

⁵⁸ Unità abolita l'1/1/1978.

⁵⁹ Misuratori di pressione.

⁶⁰ A beneficio di chi non riesce a vedere i tre errori li esplicitiamo qui di seguito:

- primo errore: l'unità di misura della pressione (= forza agente sull'unità di superficie) è il pascal;
- secondo errore: kg è il simbolo della massa non della forza, che si esprime in newton;
- terzo errore: la superficie va espressa in cm², cmq è inesistente.

⁶¹ I dati presentati sono reperibili sul sito ufficiale del *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) [108]

⁶² *Mutual Recognition Agreement* [114]: Accordo di Mutuo Riconoscimento dei campioni nazionali di misura e dei certificati di taratura e misura emessi dagli Istituti Metrologici Nazionali.

⁶³ L'Airbus A380, prodotto dalla Airbus Industries, è un aereo di linea quadrireattore a doppio ponte, in grado di trasportare 853 persone in versione charter o 525 nella tipica configurazione a tre classi. Il primo Airbus 380 è entrato in servizio nel 2007.

L'A380 è, per dimensioni, il più grande aereo di linea (lunghezza 79,4 m, altezza 24,1 m, apertura alare 79,8 m) superato solo in lunghezza di 3,4 metri dal Boeing 747-8 intercontinental. Inoltre è il primo per numero massimo di passeggeri. L'equipaggio è costituito da 4 piloti e 22 assistenti di volo.

Alcune caratteristiche relative al volo:

Raggio a pieno carico	10 400	km
Velocità massima	1090	km/h
Velocità di crociera	1041	km/h
Quota di crociera	13 000	m
Massa massima al decollo	590 000	kg
Capacità massima combustibile	310 000	litri
Carico utile	152 400	kg

⁶⁴ Lord Kekvin nel volume 1 dell'*Electrical Units of Measurement* dice:

When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in your thoughts advanced to the state of Science.

La traduzione in italiano è riportata nella prefazione.

3.5 Appendici.

Questo paragrafo è stato redatto da Gianni Fasano che ha integrato: M. Fazio, *SI, MKSA, CGS & Co. Dizionario e manuale delle unità di misura* (1995, Zanichelli Editore, Bologna) e S. Sartori (a cura di), *Le misure nella scienza, nella tecnica, nella società* (1979, Paravia, Torino) con i dati reperibili nel sito del *Bureau International des Poids et Mesures* (www.bipm.org).

3.5.1 Glossario delle sigle citate.

Sigla	Nome e sede	attività
BIML [107]	<i>Bureau International de Métrologie Légale</i> , 11, rue Turgot 75009 Paris - France	L'Ufficio Internazionale di Metrologia Legale costituisce una segreteria permanente dello OIML; esso centralizza i lavori realizzati dalle segreterie locali dei paesi membri, coordina tutte le attività dell' OIML e pubblica la rivista specialistica <i>Le Bulletin de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale</i> .
BIPM [108]	<i>Bureau International des Poids et Mesures</i> (Laboratorio Internazionale dei Pesi e delle Misure) Pavillon de Breteuil F-92312 Sèvres Cedex France	Gode dello status di extraterritorialità; impiega oltre 70 persone di diversa nazionalità. Tutti gli Stati membri della Convenzione contribuiscono al suo finanziamento (la dotazione annuale per il 2005 superava i 10 milioni di euro). Compiti del BIPM sono: stabilire i campioni primari e le scale delle grandezze fisiche; conservare e diffondere i prototipi internazionali; effettuare confronti tra campioni internazionali e nazionali; coordinare la scelta delle tecniche di misurazione; realizzare e coordinare la misurazione delle costanti fisiche fondamentali.
CEE [109]	(vedi in tabella UE)	La Comunità europea costituiva il <i>Primo pilastro</i> dell'Unione europea. Considerata la più importante delle Comunità europee, essa nasce il 25 marzo 1957, quando sei Stati (Belgio, Francia, Germania, Italia, Lussemburgo, Paesi Bassi) firmano i trattati di Roma, trattati che entrano in vigore il 1° gennaio 1958, dando così vita effettiva alla Comunità economica europea (CEE). La parola economica fu rimossa dal nome a seguito del Trattato di Maastricht (1992) che fece della Comunità europea il <i>Primo pilastro</i> dell'azione dell'Unione europea.
CGPM [110]	<i>Conférence Générale des Poids et Mesures</i> (Conferenza Generale Dei Pesi e delle Misure). Le riunioni avvengono presso la sede del BIPM	Organismo che opera a livello diplomatico, composto da rappresentanti di tutti i Paesi aderenti alla Convenzione del Metro. Il suo compito principale (oltre a quello fondamentale di promuovere ricerche volte ad assicurare lo sviluppo e il miglioramento del SI) è definire risoluzioni di portata internazionale in base ai risultati metrologici via via raggiunti. La CGPM si riunisce a Parigi ogni 4 - 6 anni. Nel 1960, in occasione, dell'XI riunione, le nazioni ad essa aderenti si impegnarono a introdurre nei propri Paesi l'SI, inteso come <i>insieme di definizioni e di regole che forniscono il mezzo per ottenere tutte le unità necessarie nella fisica, nella chimica e nella tecnologia in modo coerente e omogeneo</i> .

<i>Sigla</i>	<i>Nome e sede</i>	<i>attività</i>
CIPM [111]	<i>Comité International des Poids et Mesures.</i> (Comitato Internazionale dei Pesì e delle Misure) Le riunioni avvengono presso la sede del BIPM	È costituito da 18 persone provenienti dagli Stati membri della Convenzione del Metro; il suo compito principale è assicurare l'attuazione delle delibere della CGPM; si riunisce annualmente presso il BIPM e discute i rapporti preparati dai suoi nove Comitati Tecnici Consultivi. Negli ultimi anni sono state fondate anche organizzazioni di cooperazione metrologica di tipo continentale, come ad esempio l'EUROMET (<i>European Collaboration on Measurements Standards</i>) per l'Europa (recentemente divenuta EURAMET), alla quale se ne sono aggiunte progressivamente altre, tra cui: APMP <i>Asia-Pacific Metrology Programme</i> ; COOMET <i>Euro-Asia Cooperation of National Metrological Institutions</i> ; NORAMET <i>North American Cooperation in Metrology</i> ; SIM <i>Inter-American System of Metrology</i> ; SADC MET <i>Southern African Development Community Cooperation in Measurements Traceability</i> . Tutte sono su base volontaria e sono impegnate in programmi di ricerca e, soprattutto, nell'organizzazione e svolgimento di confronti internazionali dei campioni.
ITS [112]	vedi CGPM	<i>International Temperature Scale</i> dopo varie revisioni nel corso delle diverse CGPM (1948, 1954, ..., 1990), ha stabilito uno standard che: - fissa i punti di riferimento per la taratura (punto di fusione, punto triplo, punto di ebollizione, ecc.) - definisce le equazioni ed i metodi da utilizzare per calcolare le temperature intermedie (interpolazione) - definisce gli strumenti da usare per la realizzazione della scala di temperatura
IUPAC [113]	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i> IUPAC Secretariat 104 T.W. Alexander Drive, Building 19 Research Triangle Park, NC 27709, USA	L'Unione Internazionale di Chimica Pura e Applicata sviluppa gli aspetti delle scienze chimiche e contribuisce all'applicazione della chimica al servizio dell'Umanità. È un organismo, scientifico internazionale, non governativo che analizza e affronta le questioni globali che coinvolgono le scienze chimiche.
MRA-CIPM [114]	<i>Mutual Recognition Arrangement - CIPM</i>	È una emanazione del CIPM che si occupa dei campioni di misurazione nazionali e dei certificati di taratura emessi dagli Istituti Metrologici Nazionali (NMI). L'accordo, siglato il 14 ottobre 1999 presso il BIPM, è il più importante accordo dopo la firma della Convenzione del Metro (1875). L'MRA non è un trattato diplomatico, ma un reciproco riconoscimento in base al quale gli organismi nazionali della metrologia scientifica e industriale possono ritenere validi i certificati di taratura emessi dai loro omologhi in Paesi diversi. La validità di tali accordi è legata in gran parte all'accuratezza dei campioni di misura nazionali mantenuti dagli NMI. Tutto ciò mira a facilitare gli scambi commerciali e le relazioni industriali.

Sigla	Nome e sede	attività
NMI [115]	<i>National Metrology Institutes</i>	Raggruppa gli Istituti Nazionali di Metrologia degli Stati membri della Convenzione del Metro e gli Stati associati del CGPM.
OIML [116]	<i>Organisation Internationale de Métrologie Légale</i> (Organizzazione Internazionale di Metrologia Legale) BIML - 11, rue Turgot 75009 Paris - France	È una organizzazione intergovernativa che opera dal 1955 con lo scopo di coordinare e armonizzare a livello internazionale le regole amministrative e tecniche applicate alle misure e agli strumenti di misura approvati dalle diverse nazioni. L'Organizzazione comprende 59 Stati Membri e 54 membri corrispondenti. Lo scopo di questa armonizzazione è quella di facilitare il commercio tra le nazioni non solo per gli strumenti di misura ma anche per tutte le operazioni riguardanti le misure. Per ottenere ciò l'OIML stabilisce raccomandazioni internazionali. Le lingue ufficiali dello OIML sono francese e inglese. L'Organizzazione opera tramite una segreteria permanente, con sede a Parigi chiamata <i>Bureau International de Métrologie Légale</i> (BIML)
OMM [117]	<i>Organisation Météorologique Mondiale</i> 7bis, avenue de la Paix, Case postale No. 2300, CH-1211 Geneva 2, Switzerland	L'Organizzazione Meteorologica Mondiale (in inglese <i>World Meteorological Organization - WMO</i>) è un'agenzia delle Nazioni Unite. La sua è una voce autorevole sullo stato e il comportamento dell'atmosfera terrestre, la sua interazione con gli oceani, il clima che si produce e la conseguente distribuzione delle risorse idriche. L'OMM, a cui aderiscono 190 nazioni (al 22 settembre 2012), ha avuto origine dall' <i>International Meteorological Organization (IMO)</i> del 1873. Fondata nel 1950, come agenzia specialistica delle Nazioni Unite, divenne operativa nel 1951 per la meteorologia (tempo e clima), l'idrologia e le scienze geofisiche.
UE [109]	Tel. 00 800 6 7 8 9 10 11	L'Unione europea (UE) è un partenariato economico e politico, unico nel suo genere, tra 27 paesi. Nel 1958 fu creata la Comunità Economica Europea (CEE), che intensificò la cooperazione economica tra: Belgio, Francia, Germania, Italia, Lussemburgo e Paesi Bassi. Da allora, fu creato un grande mercato unico, che nel tempo sviluppò le proprie potenzialità. Ma quella che era nata come un'unione puramente economica è anche diventata col tempo un'organizzazione attiva in tutti i settori, dagli aiuti allo sviluppo alla politica ambientale. Per riflettere questo cambiamento, nel 1993 il nome CEE è stato sostituito da Unione europea (UE).

3.5.2 Momenti topici del percorso storico-geografico dell'Unificazione Metrologica.

2700 a.C.

I Cinesi fissano un campione universale: una canna di bambù che dava il campione di lunghezza quando la distanza tra due nodi era tale che soffiando nella canna veniva emessa una nota prestabilita.

Anno 0

Siamo in un periodo in cui gli Ebrei conservano nel Tempio i campioni delle principali unità, i Romani in Campidoglio; in seguito i campioni verranno custoditi in chiese, palazzi reali o importanti monumenti per sottolinearne l'inviolabilità.

789

Carlo Magno decreta l'impiego di unità identiche in tutto il Regno, ma alla sua morte tutto torna come prima.

1350

La pila di Carlo Magno, campione di peso (massa), è formata da tredici pesi, per un totale di 25 libbre, che si incastrano l'uno nell'altro; è stata un riferimento costante nella realizzazione del kilogrammo campione del 1793.

1389

Il 29 dicembre Amedeo VII promulga l'editto per la Savoia che impone di riferire tutti i campioni per le misure di peso e di capacità a quelli di Chambéry, allo scopo di razionalizzare le transazioni commerciali.

È la prima volta nel mondo che viene tentata per legge l'unificazione dei pesi e delle misure.

1585

Il fisico-matematico Simone Stevino (Bruges 1548 - L'Aia o Leida 1620) propone un sistema decimale di pesi.

1612

Il 5 giugno in Piemonte viene pubblicato l'editto di Sua Altezza Serenissima, il duca Carlo Emanuele, che ordina di riferire tutti i pesi e le misure a una uniformità di valori e di nomi, secondo tabelle di conversione allegate all'editto.

1660

La Royal Society, di Londra, propone come campione di lunghezza il cosiddetto pendolo al secondo, proposta ripresa da Picard e da Huygens: un pendolo che batte il secondo (ovvero con periodo 2 s) e il cui filo doveva essere lungo 0,994 m, alla latitudine di Londra.

1670

Il primo tentativo di sistema metrico risale al francese G. Mouton, che propone di adottare come unità di lunghezza l'arco di 1 minuto di un meridiano terrestre. Mouton propone in seguito di adottare come campione di lunghezza $1/10\,000$ di tale arco, la cui lunghezza coincideva con quella di un pendolo che a Lione compiva 3959,2 oscillazioni in mezz'ora.

Nello stesso anno Jean Picard, astronomo di Parigi, propone di fissare l'unità di lunghezza

come la lunghezza di un pendolo che, a 45° di latitudine e al livello del mare, batte il secondo. È la prima idea di ricerca dei fenomeni fisici naturali sui quali basare la definizione delle unità fondamentali: dall'unità di tempo e dall'esistenza di un campo di accelerazione di gravità costante, si deduce l'unità di lunghezza.

1675

Tito Livio Burattini pubblica un trattato nel quale riprende l'idea di Picard e propone per la nuova unità il nome di metro cattolico, nel senso di misura universale. È in questo lavoro che per la prima volta la parola metro viene usata come neologismo per indicare la lunghezza e non più la misura in generale.

Nell'opera di Burattini vengono con chiarezza esposti due principi fondamentali della metrologia: universalità e invariabilità dei pesi e delle misure.

1747

Viene proposto come campione di lunghezza il pendolo che, lungo la linea equatoriale, batte il secondo e si eseguono esperimenti a Quito (Ecuador, sulle Ande, alle coordinate 0° 15' 0" sud 78° 35' 24" ovest a la quota di 2850 metri sul livello del mare).

1748

Il platino viene riconosciuto come elemento chimico e ne vengono apprezzate la resistenza sia meccanica sia agli agenti corrosivi.

1754

Nell'*Encyclopedie*, di Diderot e D'Alembert, alla voce *décimal*, sono illustrati i vantaggi di un sistema di misura basato sulla suddivisione decimale.

1789

Il 24 luglio alla Camera dei Comuni inglese viene presentata una memoria per proporre il cambiamento dal vigente sistema di misura al sistema metrico. Purtroppo a ciò si oppone il ministro degli esteri.

1790

Analoga proposta è discussa dal Congresso degli Stati Uniti d'America, ma senza successo. Nello stesso anno, in Francia, Talleyrand propone all'Assemblea Nazionale l'adozione delle unità di Parigi su tutto il territorio nazionale; la proposta viene respinta, ma l'Assemblea Nazionale emana un decreto con il quale adotta come campione di lunghezza il pendolo al secondo alla latitudine di 45°.

Da questo momento la Francia continua da sola sulla strada del Sistema Metrico Decimale. L'Accademia delle Scienze nomina una prima commissione che adotta una scala decimale per tutti i pesi e le monete; una seconda commissione della quale fanno parte Laplace, Lagrange, Monge e Condorcet, ha l'incarico di fissare l'unità di lunghezza fra le tre che avevano fino ad allora destato maggior interesse: il pendolo al secondo, il quarto di equatore e il quarto di meridiano. Scartato il pendolo perché legato a misure di tempo, scartato il quarto di equatore perché scomodo da misurare, l'Assemblea Nazionale, su proposta dell'Accademia delle Scienze, adotta il quarto di meridiano terrestre come base di un istituendo nuovo sistema metrico e definisce il metro, utilizzando questa parola per indicare l'unità fondamentale di lunghezza, secondo la proposta fatta nel 1675 da Tito Livio Burattini.

1791

Gli astronomi J. B. Delambre e F. P. Méchain sono incaricati dall'Accademia delle Scienze francese, di eseguire la misura dell'arco di meridiano terrestre, passante da Parigi, compreso fra Dunquerque e Barcellona.

Il lavoro impegna i due scienziati per 10 anni e porta alla definizione del rapporto tra la nuova unità metro e l'antica unità legale francese (la *toise*). Contemporaneamente A. L. de Lavoisier e R. J. Haiiy sono incaricati della determinazione della massa di un volume d'acqua noto, e di definirne operativamente l'unità precedente chiamata *grave*.

1792

Estensione del Sistema Decimale e delle riforme metriche al calendario, al giorno, alla circonferenza e alle unità monetarie. Viene proposto, per gli angoli, il grado decimale che, secondo il proponente, presenta il vantaggio che un centesimo di grado, alla latitudine di Parigi, corrisponde a un arco di meridiano di 1 km.

La proposta non fu accettata pertanto, per semplificare i calcoli della navigazione, venne introdotto il miglio marino (1852 m) che corrisponde all'arco di 1 minuto del meridiano medio terrestre.

1793

1 agosto; in Francia è adottato, per legge, il sistema di Pesi e Misure fondato sulla misura del meridiano terrestre e sulla divisione decimale. Come frutto dell'illuminismo si impone l'idea dei campioni naturali.

Con l'adozione, da parte della Convenzione Nazionale, del nuovo Sistema Metrico Decimale (SMD) si definisce il kilogrammo come il peso, nel vuoto, di un decimetro cubo di acqua distillata alla temperatura di 0 °C. Viene decimalizzata la scala termometrica con l'introduzione del grado Celsius, centigrado, al posto del grado Réaumur, ottantigrado. Viene inoltre proposta la decimalizzazione del giorno con la dicitura: *Il giorno è diviso in 10 ore, l'ora comprende 100 minuti decimali*.

Il decreto non fu però mai attuato salvo che con l'adozione del calendario Repubblicano del 24 novembre.

1795

Il 7 aprile, in Francia, una legge, provvedimento fondamentale per la metrologia, istituisce il SMD, con la tabella ufficiale delle unità dei multipli e dei sottomultipli. Si noti che, mentre nel 1793 l'unità di massa era stata definita come il decimetro cubo d'acqua ..., nel 1795 si era passati al centimetro cubo con la seguente curiosa motivazione: ... *perché la scala dei pesi è molto più estesa di quella di tutte le altre specie di misure*.

Un articolo della legge del 1795 precisava che il metro campione doveva essere realizzato con regolo di platino.

1799

10 dicembre; adozione in Francia dei campioni di misura, in platino, del metro e del kilogrammo, i cosiddetti campioni degli Archivi. Inizia l'era dei prototipi e il trionfo del positivismo.

Il primo metro campione è una sbarra di platino a sezione rettangolare di 25,3 x 4 mm; il kilogrammo è invece un cilindro di platino di diametro e di altezza di 39 mm, la cui massa è riferita alla massa di un decimetro cubo di acqua alla temperatura della sua massima densità (4 °C).

1805

Ripristino, in Francia, del calendario Gregoriano che, adottato dai paesi cattolici nel 1582, era stato abolito in quello stato nel 1793.

1812

In Francia il 12 febbraio viene raggiunto un compromesso: l'impero dichiara la sua fedeltà al SMD ma consente di utilizzare come multipli e sottomultipli anche elementi non decimali. Permettendo l'utilizzo dei nomi tradizionali ripristina, in un certo senso, le condizioni del 1790.

1816

Belgio, Olanda e Lussemburgo adottano il SMD.

1837

Il 4 luglio, Luigi Filippo di Francia emana un decreto con il quale si sancisce il ritorno al Sistema Metrico Decimale dal 1 gennaio 1840.

1845

11 settembre; in Piemonte si decreta l'adozione del SMD a partire dal 1 gennaio 1850.

Il sistema verrà esteso a tutti i territori annessi, seguendo, passo per passo, l'unificazione italiana.

1849

La Spagna adotta il SMD, ma ritarda l'applicazione di 5-6 anni rispetto alla data prevista del 1852. Con lei il SMD viene applicato anche dagli stati americani di lingua spagnola.

1851

La Prima Esposizione Universale di Londra evidenzia l'esigenza di internazionalizzare il SMD, fino ad allora rimasto entro i confini della Francia, con poche eccezioni.

1852

Il Portogallo adotta il SMD, ma prevede una fase transitoria di 10 anni.

La definitiva accettazione arriverà dopo varie proroghe. Col Portogallo il SMD viene applicato anche dagli stati americani di lingua portoghese.

1863

Kelvin propone un sistema basato su: metro, grammo, secondo.

L'1 gennaio, l'Italia adotta il SMD sancito dalla legge 132 del 28 luglio 1861. L'adozione del Sistema viene confermata nel 1890 con il Testo Unico del 23 agosto (Regio Decreto n. 7088) che fra l'altro istituisce l'Ufficio Centrale Metrico per il controllo di tutti campioni impiegati nelle attività commerciali.

1864

La Gran Bretagna consente l'impiego del SMD creando non pochi conflitti con canadesi, statunitensi e sudafricani.

1866

Gli USA consentono l'impiego del SMD, ma in pratica viene usato solo per il commercio con l'estero.

1868

Gli Stati Tedeschi adottano il SMD rendendolo obbligatorio dal 1° gennaio 1872.

1869

Il governo francese propone la Commissione Internazionale del Metro per la costruzione dei campioni internazionali.

1870

Il governo francese convoca la Commissione Internazionale del Metro, ma la riunione va deserta per lo scoppio della guerra tra Francia e Germania.

1871

L'Austria adotta il SMD.

1872

Il governo francese convoca, per la seconda volta, la riunione della Commissione Internazionale del Metro, sono rappresentati 30 paesi. Gli scienziati che vi partecipano, pur dichiarando di non poter garantire l'accettazione dell'unificazione metrica da parte dei propri governi, in tre anni di lavoro gettano le basi della Convenzione del Metro.

1873

Il governo francese convoca a Parigi una conferenza diplomatica sui problemi della metrologia.

1874

L'Ungheria adotta il SMD.

1875

20 maggio; i plenipotenziari di 17 stati, firmano a Parigi la Convenzione del Metro e sanciscono la nascita del *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) come organo scientifico permanente con sede a Parigi. I suoi compiti istituzionali sono inizialmente limitati alla realizzazione, al miglioramento e alla conservazione, nonché alla distribuzione internazionale dei due campioni esistenti.

Le prime copie del metro e del kilogrammo campione, da distribuire ai paesi aderenti alla Convenzione del Metro, furono realizzate basandosi sui prototipi degli Archivi del 1799.

In figura 3.5 sono mostrati i primi Stati firmatari della Convenzione del Metro:

- in America: Argentina, Brasile, Perù, Stati Uniti d'America, Venezuela
- in Europa: Austria-Ungheria, Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Portogallo, Russia, Spagna, Svezia-Norvegia, Svizzera, Turchia

Nel tempo, fino al 6 febbraio 2013, altri stati sono diventati membri del BIPM per un totale di 55 (vedi tabella 3.6).

1876

Ginevra adotta il SMD ed entra a far parte della Convenzione del Metro.

1881

17 settembre; si inaugura a Parigi il primo Congresso Internazionale di Elettricità, vi partecipano 28 paesi e viene adottato il sistema CGS. Il nome è tratto dalle iniziali delle tre grandezze scelte come unità di base del sistema: centimetro (cm), grammo massa (g) e secondo (s). Il Sistema viene usato prevalentemente dai fisici essendo le sue unità troppo piccole per le applicazioni pratiche. L'importanza del CGS è solamente storica in quanto è il primo SMD organizzato intorno a delle unità fondamentali tramite le quali sono derivabili tutte le altre grandezze fisiche (meccaniche ed elettriche).

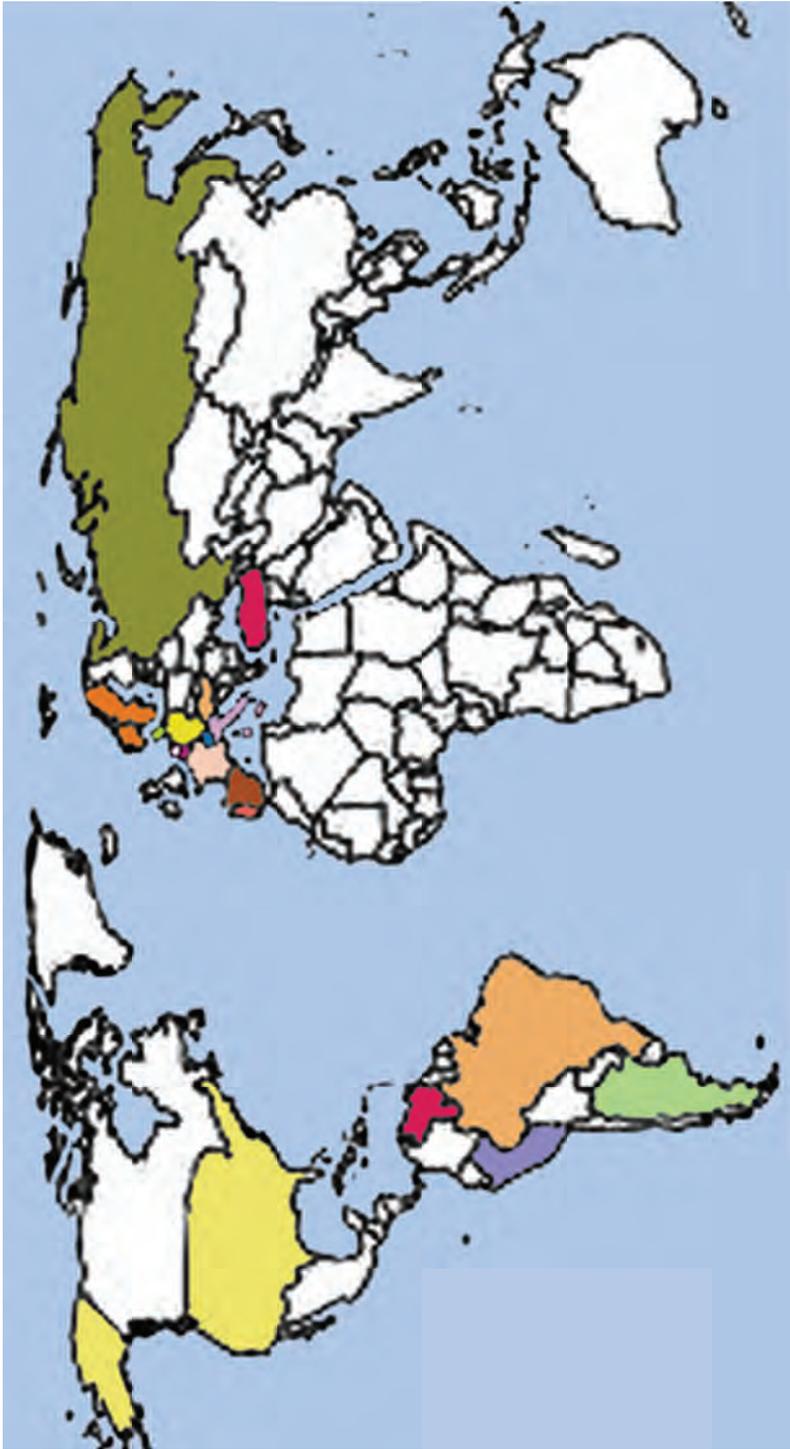


Figura 3.5 – I primi diciassette Stati firmatari della Convenzione del Metro del 20 maggio 1875:

- in America: Argentina, Brasile, Perù, Stati Uniti d'America, Venezuela ;
- in Europa: Austria-Ungheria, Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Portogallo, Russia, Spagna, Svezia-Norvegia, Svizzera, Turchia.

1884

Il Regno Unito aderisce alla Convenzione del Metro.

1889

Settembre; a Parigi, la prima *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM) sancisce l'adozione dei prototipi internazionali in platino-iridio come campioni del metro e del kilogrammo e procede all'assegnazione, per sorteggio, delle copie dei prototipi agli stati aderenti alla Convenzione del Metro.

1890

Il 23 agosto; in Italia, si conferma l'adesione al SMD con il testo unico del regio decreto n. 7088 (vedi 1863). Viene istituito l'Ufficio Centrale Metrico per il controllo di tutti i campioni impiegati nelle attività commerciali.

1892

A. A. Michelson effettua le prime misure interferometriche di lunghezza del metro, impiegando la radiazione rossa del cadmio. Occorreranno quasi 70 anni perché la metrologia ufficiale accolga la sua proposta.

1893

Il quarto Congresso Internazionale di Elettricità si svolge a Chicago; vengono fissate e definite le unità elettriche internazionali in funzione delle unità elettromagnetiche del sistema CGS.

1900

La Russia zarista utilizza il SMD come segno di modernizzazione del paese pur non rendendolo obbligatorio.

1901

31 ottobre; Giovanni Giorgi presenta al Congresso dell'Associazione Elettrotecnica Italiana la sua idea per l'attuazione di un nuovo sistema. Egli propone di sostituire le unità del sistema CGS, troppo piccole, con il metro (m), il kilogrammo-massa (kg) e il secondo (s). Inoltre suggerisce l'aggiunta di una quarta unità fondamentale, un'unità elettrica, l'ohm. Il Sistema sarà adottato dalla Commissione Elettrotecnica Internazionale nel 1935.

1922

L'Unione Sovietica rende obbligatorio il SMD.

1927

Estensione dei compiti del BIPM alle unità elettriche.

1935

La Commissione Elettrotecnica Internazionale approva il sistema proposto da Giorgi nel 1901 col nome di Sistema Giorgi, questo costituisce il primo Sistema a quattro unità fondamentali.

L'11 aprile viene costituito a Torino l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris che inizia attività metrologiche nell'ambito delle grandezze: elettriche, fotometriche, di tempo e di frequenza.

1937

Estensione dei compiti del BIPM alle unità fotometriche.

1946

Il *Comité International des Poids et Mesures* CIPM sostituisce le unità internazionali con le unità assolute. Nasce anche la nuova candela.

1948

La nuova candela si chiama ora solo candela e si dà la definizione elettrodinamica dell'ampere. Si stabilisce inoltre che per facilitare la lettura, i numeri possono essere divisi in gruppi di tre cifre e questi gruppi non devono essere separati né da punti né da virgole.

1950

L'unità fondamentale elettrica del Sistema Giorgi, l'ohm, viene sostituita dall'ampere e il Sistema prende il nome di MKSA (metro, kilogrammo massa, secondo, ampere).

1954

La X CGPM adotta sei unità di base per un sistema pratico di unità di misura: lunghezza, massa, temperatura, tempo, corrente elettrica, intensità luminosa.

1955

Viene fondata la *Organisation Internationale de Métrologie Légale* (OIML) con lo scopo di coordinare e armonizzare a livello internazionale le regole amministrative e tecniche applicate alle misure e agli strumenti di misura approvati dalle diverse nazioni. L'Organizzazione opera tramite una segreteria permanente, con sede a Parigi chiamata *Bureau International de Métrologie Légale* (BIML).

1959

Dopo un lungo percorso di avvicinamento al SMD, iniziato nel 1908, la Cina lo rende obbligatorio.

1956

Nasce il secondo definito in riferimento all'anno tropico.

1960

11-20 ottobre; con l'XI CGPM, a Parigi, nasce il Sistema Internazionale di Unità abbreviato in SI che adotta le sei unità fondamentali del 1954 e due unità supplementari (angolo piano e solido). Di tutte queste stabilisce unità di misura, multipli e sottomultipli.

Viene data una nuova definizione di unità di lunghezza in termini della lunghezza d'onda, nel vuoto, della radiazione arancione del cripto 86.

Inizia così il processo di ritorno ai campioni naturali con il progressivo abbandono dei prototipi artefatti.

Il BIPM dovrà occuparsi anche delle radiazioni ionizzanti.

1965

24 maggio; il governo inglese annuncia in Parlamento la decisione di favorire l'adozione in Inghilterra del SMD. La riforma sarà completata entro il 1980. Da notare che il Regno Unito aveva aderito alla Convenzione del Metro fin dal 1884.

1967

Nasce il secondo basato sull'atomo di cesio.

1968

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche italiano istituisce l'Istituto di Metrologia con sede in

Torino, fondendo e ampliando i preesistenti Istituto Dinamometrico e Istituto Termometrico. Questo Istituto si affianca all'Istituto Elettrotecnico Nazionale sempre con sede in Torino. L'Italia si allinea così alle altre nazioni industrializzate che dispongono di un laboratorio nazionale di metrologia: Stati Uniti, Inghilterra e Germania dall'inizio del secolo; Canada, Australia, Giappone, Russia intorno agli anni trenta; Francia e Cina dopo il 1950.

1971

Nasce la mole come unità di misura di quantità di sostanza, XIV CGPM. Il 18 ottobre il consiglio della Comunità Economica Europea (CEE) emana la direttiva n. 354 per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri, relative alle unità di misura. La direttiva, modificata il 27/7/1976, impone l'adozione obbligatoria del sistema SI entro il 31 dicembre 1979. Gli Stati Membri, e quindi anche l'Italia, dovranno vietare l'impegno di molte unità di misura *pratiche*, le più importanti delle quali sono: il kilogrammo-forza, la caloria, l'atmosfera, l'ångstrom, il millimetro di mercurio, il cavallo vapore ecc.

1972

18 agosto; il Senato degli Stati Uniti d'America adotta il progetto di legge che vara un programma decennale per la conversione (volontaria) al SMD. Da notare che gli Stati Uniti furono tra i firmatari originali della Convenzione del Metro nel 1875.

1975

La XV CGPM stabilisce l'unità di misura per la radiazione ionizzante, vedi 1960.

1978

14 aprile; il Governo italiano emana un decreto legge (il n. 122) per l'adeguamento della legislazione italiana alla direttiva CEE n. 354/71 sulle unità di misura. Il decreto contiene anche norme sull'inquadramento del personale dell'Ufficio Centrale Metrico. L'opposizione dei Sindacati su questa parte costringe il Governo a ritirare il decreto durante la discussione in commissione al Senato.

1979

XVI CGPM: nuova definizione della candela.

1982

12 agosto; il Sistema Internazionale viene definitivamente adottato in Italia, con DPR n. 802 (Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 302 del 3/11/1982).

1983

Nasce il metro basato sulla radiazione laser.

1995

La XX CGPM decide di sopprimere la categoria delle unità supplementari e interpretare radiante e steradiano (vedi 1960) come unità derivate adimensionali.

1999

14 ottobre; nell'ambito del *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM) viene firmato il più importante accordo dopo la Convenzione del Metro (1875) che stabilisce l'istituzione del *Mutual Recognition Arrangement*. L'MRA si dovrà occupare dei campioni di misurazione nazionali e dei certificati di taratura emessi dagli Istituti Metrologici Nazionali (NMI).

2003

La XXII CGPM dichiara che il simbolo per separare la parte decimale dalla parte intera, di un numero, può essere una virgola o un punto, sulla linea di scrittura. Si ribadisce inoltre quanto affermato nella IX Conferenza del 1948: per facilitare la lettura, i numeri possono essere divisi in gruppi di tre cifre e questi gruppi non devono essere separati né da punti né da virgole.

2007

La XXIII CGPM considerato:

- che il chilogrammo è l'unica unità ancora definita a partire da un oggetto materiale (artefatto), prototipo internazionale di chilogrammo (II CGPM-1889 e III CGPM-1901), ovvero non è ancora basata su costanti fisiche fondamentali spazio-temporali indipendenti;
 - che le definizioni di ampere, kelvin e mole, sono condizionate dalla definizione di chilogrammo;
- chiede ai rappresentanti degli Istituti Nazionali di Metrologia di proporre una nuova definizione di chilogrammo, da discutere, possibilmente, nell'ambito della XXIV CGPM.

2011

Due sono le risoluzioni principali della XXIV CGPM:

- la volontà del BIPM di trattare, nel periodo 2013 - 2016, le questioni metrologiche legate ai cambiamenti climatici e al riscaldamento del pianeta;
- la raccomandazione che sia adottato, in tutte le applicazioni della metrologia alla geofisica e alla geodesia, l'ITRS (*International Terrestrial Reference System*) come unico sistema di riferimento internazionale. Ciò a vantaggio sia dell'unificazione dei sistemi di navigazione e di misura del tempo sia dei sistemi di interoperatività.

2013

Al 6 febbraio 2013 ci sono 55 Stati membri del BIPM (vedi tabella 3.6) e 37 Stati associati alla CGPM (vedi tabella 3.7).

3.6 Bibliografia e siti Internet.

- [1] Anonimo (1999) – *Parole... di uno strumentista* Hartmann & Braun Italia S.p.A
- [2] I. Bertini, C. Luchinat, F. Mani, (2011) – *Chimica*, CEA, Milano.
- [3] A. Calcatelli, C. Gentile, M. Ravagnan (1984) – *Il sistema internazionale di unità di misura. Attuale organizzazione internazionale e nazionale italiana della metrologia*, monografia n. 3 della Mostra sulla metrologia, scienza e tecnica della misura CNR-Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti, Torino.
- [4] P. Cumpson, N. Sano (2013) – *Stability of reference masses V: UV/ozone treatment of gold and platinum surfaces*, Metrologia vol. 50 (1) pag. 27-36
- [5] P. J Cumpson, M. P. Seah (1994) – *Stability of reference masses I: Evidence for possible variations in the mass of reference kilograms arising from mercury contamination*, Metrologia vol. 31 (1), pag. 21-26
- [6] S. Davidson (2003) – *A review of surface contamination and the stability of mass standards*, Metrologia vol. 40 (6) pag. 324-338
- [7] M. Fazio (1995) – *SI, MKSA, CGS & Co. Dizionario e manuale delle unità di misura*, Zanichelli, Bologna.

- [8] F. Filippi (1981) – *Prontuario delle Unità di misura e conversione in unità del Sistema Internazionale*, Hoepli, Milano.
- [9] G. Girard (1990) – *Le nettoyage-lavage des prototypes du kilogramme au BIPM*, Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres - France
- [10] S. Longo (2011) – *Analisi Dimensionale e Modellistica Fisica*, Springer, Milano
- [11] F. Malara (2009) – *Sistemi di Misura ed Analisi Dimensionale*, consultato il 03-01-2013 su
<http://www.smfn.unical.it/files/fl78/4980Sistemidimisura.pdf>
- [12] J. A. McCleverty, N. G. Connelly (2001) – *Nomenclature of Inorganic Chemistry II. Recommendations 2000* The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK consultato l'8-01-2013 su
<http://old.iupac.org/publications/books/author/mccleverty.html>
- [13] E. Perucca (1966) – *Des origins de la métrologie au Système International (SI)*, UTET, Torino.
- [14] S. Sartori, a cura di (1979) – *Le misure nella scienza, nella tecnica, nella società. Manuale di metrologia*, Paravia, Torino.
- [15] M. Severi (1985) – *Introduzione alla sperimentazione fisica*, Zanichelli, Bologna.
- [16] G. Toraldo di Francia (1976) – *L'indagine del mondo fisico*, Einaudi editore, Torino.
- [17] *Le Système international d'unités(SI)* 8^e édition (2006), BIPM, Sèvres, consultato il 10-11-2012 su
<http://www.bipm.org/fr/si/>
- [101] http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/appendix1/
- [102] (11-12-12) GNU Free Documentation License
<https://it.wikipedia.org/wiki/File:CGKilogram.jpg>
- [103] (11-12-12) <http://blogs.triplelearning.com/wp-content/uploads/2011/01/kilogram.jpg>
- [104] http://www.bipm.org/en/convention/member_states/original_seventeen.html
- [105] http://www.bipm.org/en/convention/member_states/
- [106] (11-12-12) <http://www.worldmetrologyday.org>
- [107] <http://www.oiml.org/about/biml.html?langue=fr>
- [108] <http://www.bipm.org/>
- [109] http://europa.eu/index_it.htm
- [110] <http://www.bipm.org/en/convention/cgpm/>
- [111] <http://www.bipm.org/en/committees/cipm/>
- [112] http://www.bipm.org/en/si/history-si/temp_scales/
- [113] <http://www.iupac.org/>
- [114] <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/>
- [115] http://www.bipm.org/en/cipm-mra/logo/authorized_users.html
- [116] <http://www.oiml.org>
- [117] www.wmo.int
- [118] (10-01-2013) <http://www.chimica-online.it/download/configurazione-elettronica.htm>

CAPITOLO QUARTO

IL SISTEMA LEGALE DELLE UNITÀ DI MISURA

Ilaria Lolli

*Il y a une infinité de mesures différentes parmi les seigneurs.
L'on demande que toutes les mesures soient réduites à celles du roi*

C'è una infinità di misure differenti tra i signori.
Si chiede che tutte le misure siano ricondotte a quelle del re.

Cahier de doléances Quimper (Briec), 1789

4.1 L'organizzazione internazionale della metrologia e lo sviluppo della metrologia legale.

La data del 20 maggio 1875, giorno in cui diciassette Stati, fra cui l'Italia¹, sottoscrivono a Parigi la Convenzione del metro, rappresenta simbolicamente il momento in cui si pongono le basi per la collaborazione a livello internazionale in materia di pesi e misure.

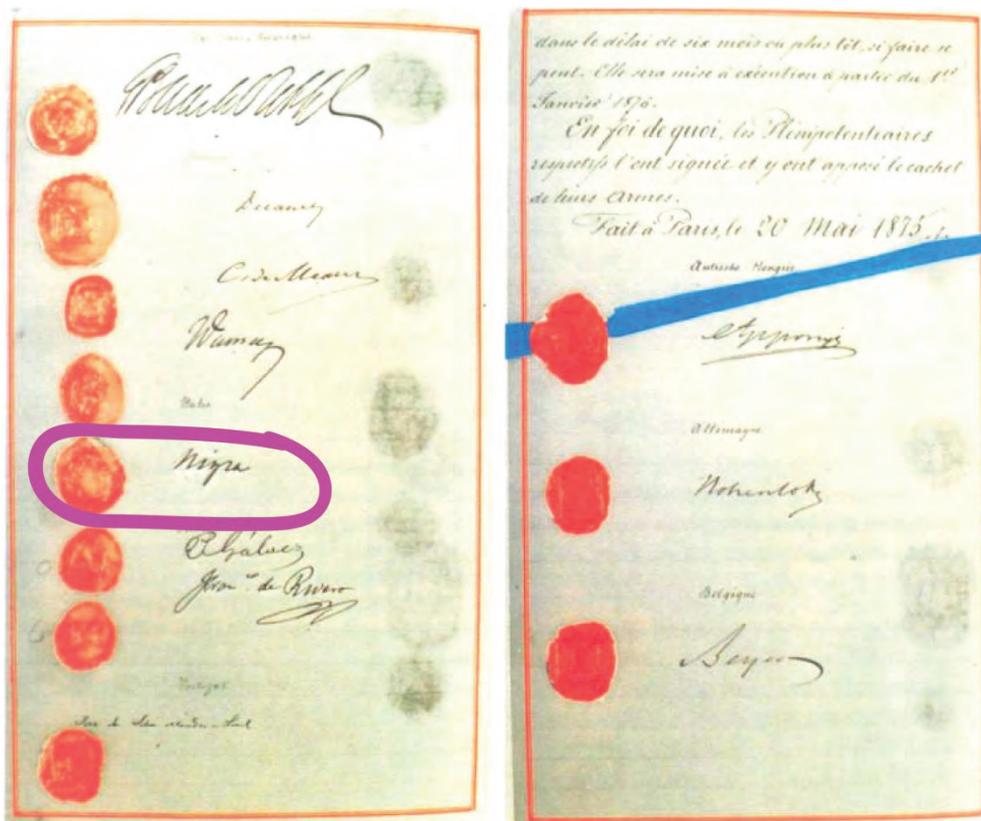


Fig. 4.1 – Il 20 maggio 1875, su proposta del governo francese, i plenipotenziari di diciassette stati firmarono, a Parigi, la Convenzione del Metro a cui aderì il Regno d'Italia con la firma di Costantino Nigra² (evidenziata a sinistra). Elaborato da [104]

È infatti con la Convenzione che si dà vita a quella che, ancora oggi, costituisce l'ossatura fondamentale della organizzazione internazionale della metrologia, fondata su tre organismi, la Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM, *Conférence Générale des Poids et Mesures*), il Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM, *Comité International des Poids et Mesures*), l'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure (BIPM, *Bureau International des Poids et Mesures*)³.

La CGPM, presieduta dal Presidente dell'Accademia delle Scienze di Parigi (art.4 della Convenzione), è composta da soggetti designati dai Governi degli Stati membri (art.3 della Convenzione). Alla data del 22 ottobre 2012, come già ricordato, gli Stati membri erano 54. Ai delegati degli Stati membri si aggiungono poi, in qualità di osservatori, i rappresentanti degli Stati e dei soggetti economici accettati quali Associati⁴, attualmente 37.

Spetta alla CGPM, che si riunisce almeno ogni quattro anni, discutere e sollecitare, anche sulla base di un rapporto elaborato dal CIPM, la adozione delle misure reputate necessarie per la diffusione ed il miglioramento del Sistema Internazionale (SI), che dovrebbe costituire un sistema condiviso di unità di misura e di regole metrologiche⁵. A questo scopo spetta ancora alla CGPM adottare le decisioni riguardanti il funzionamento ed i programmi del BIPM in materia di studi metrologici.

A sua volta, il CIPM, che si riunisce una volta all'anno, è formato da 18 esperti, ciascuno proveniente da un diverso Stato membro (alcuni posti sono riservati ai Paesi che dimostrano di possedere una adeguata capacità metrologica, attestata dalla esistenza di laboratori metrologici nazionali, gli altri posti sono elettivi, salva ratifica della CGPM) e vengono attribuiti a rotazione agli altri Paesi.

Rientrano fra i compiti del CIPM quello di preparare le raccomandazioni della CGPM e di curare l'attuazione delle sue delibere, dirigere e vigilare sulle attività del BIPM, oltre che emanare raccomandazioni sui campioni delle unità e sui metodi di misura.

Il CIPM si avvale della collaborazione di nove Comitati tecnici consultivi⁶, composti da specialisti nei diversi settori, oltre che di comitati congiunti, per la trattazione di temi generali e trasversali⁷.

Sono invece affidati al BIPM, che, come già detto, opera sotto la direzione e la vigilanza del CIPM, a sua volta sottoposto alla autorità della CGPM, i seguenti compiti:

- stabilire i campioni primari e le scale delle grandezze fisiche;
- conservare e disseminare i prototipi internazionali;
- effettuare confronti periodici fra campioni internazionali e nazionali;
- coordinare la scelta delle tecniche di misurazione;
- effettuare e coordinare la misurazione delle costanti fisiche.

Recentemente sono state istituite altre organizzazioni di cooperazione metrologica a livello regionale, impegnate in programmi di ricerca e nella organizzazione di confronti internazionali dei campioni.

Alla prima di queste organizzazioni, denominata EURAMET (*European Association of national Metrology institutes*)⁸ altre se ne sono aggiunte in seguito: APMP (*Asia-Pacific Metrology Programme*); COOMET (*Euro-Asia Cooperation of national Metrological institutions*); NORAMET (*North American cooperation in Metrology*); SIM (*Sistema Interamericano de Metrología*); SADC MET (*Southern African Development Community cooperation in Measurements Traceability*).

Come emerge dalla gran parte dei documenti approvati, uno degli scopi fondamentali di questi organismi è quello di stimolare gli Stati ad adottare un sistema di unità di misura condivise, attraverso apposite norme, che dovrebbero risultare le uniche applicabili agli strumenti di misura, ai risultati delle misure effettuate, alle indicazioni di quantità espresse in unità di misura.

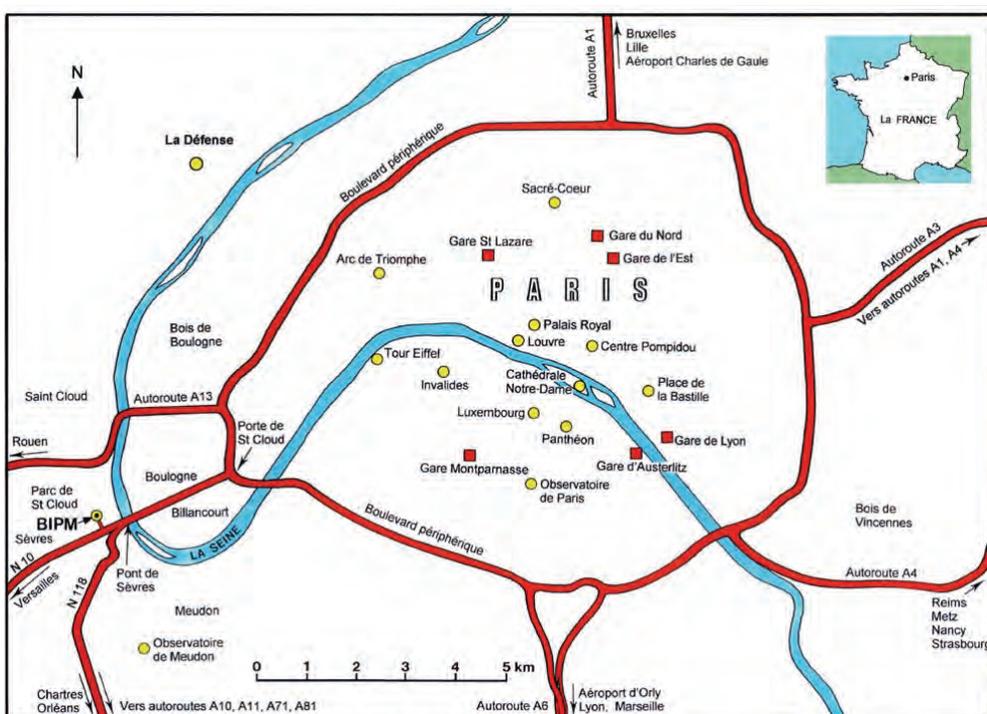


Figura 4.2 – Il *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) si trova nel *Parc de Saint-Cloud*, a Sèvres nella periferia occidentale di Parigi. L'edificio principale è il *Pavillon de Breteuil*, che è stato affidato al CIPM dal 1875. Nel corso degli anni, con l'incrementarsi delle attività del BIPM, si è resa necessaria la realizzazione di nuovi padiglioni. Al BIPM lavorano più di 70 persone di diverse nazionalità. Il finanziamento per il 2013 è superiore a dieci milioni di euro. Da [105, 106]

In proposito pare senz'altro interessante quanto si legge in un documento approvato dal CIPM nel 2007, in particolare al paragrafo 2.1, significativamente intitolato *The growing demand for reliable and comparable measurements results*⁹, là dove si sottolinea come la diffusione a livello mondiale di un sistema di misure basato sul SI appaia non solo essenziale per il commercio di beni e servizi, ma risulti fondamentale anche in altri ambiti, quali: salute; cibo, agricoltura e biotecnologie; tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni; energia; ambiente; trasporti; ricerca spaziale e sicurezza. *Even in a world where national policies tend towards deregulation*, si legge nel documento, *specifications and legal requirements still play an essential role*¹⁰.

Questo stesso tipo di considerazioni muove anche un organismo quale l'OIML (*Organization International de Métrologie Légale*), nato con lo scopo dichiarato di promuovere la metrologia legale, come denuncia il suo stesso nome.

Istituita con una convenzione siglata a Parigi il 12 ottobre 1955, l'OIML si propone di favorire l'armonizzazione da parte degli Stati firmatari delle regole in materia di unità di misura, di strumenti di misura e di misure¹¹. Oggi aderiscono alla OIML 57 Paesi, fra cui l'Italia, mentre 65 sono gli Stati ammessi come osservatori. L'OIML agisce attraverso un Segretariato permanente, il *Bureau International de Métrologie Légale* (BIML), con funzioni di coordinamento della attività della organizzazione ed anche delle sue rappresentanze negli Stati membri. Le sue principali articolazioni interne sono:

- la *International Conference of legal metrology*, formata da rappresentanti dei Governi dei Paesi membri; la Conferenza si riunisce ogni quattro anni ed ha il compito di adottare le decisioni fondamentali concernenti l'organizzazione, fra cui in particolare l'approvazione del bilancio, la definizione delle linee di azione e la adozione delle *International Recommendations* (OIML R), attraverso le quali si indicano le caratteristiche metrologiche degli strumenti di misura, nonché metodi ed equipaggiamento necessari per verificarne la conformità;
- l'*International Committee of Legal Metrology* (CIML), esercita funzioni di vigilanza sulle attività tecniche dell'organizzazione ed approva le raccomandazioni (elaborate dai gruppi di lavoro) che saranno adottate dalla Conferenza;
- il *CIML Presidential Council* è un gruppo costituito dal Presidente e dal vice-presidente del CIML e da un numero limitato di membri del CIML nominati dal Presidente in riferimento alle competenze specifiche, che agisce come struttura di supporto al Presidente stesso.

In molte occasioni l'OIML ha affrontato la questione della diffusione di un sistema omogeneo di unità di misura, in ultimo nel recentissimo *Considerations for a Law on Metrology*, OIML D 1, *edition 2012 (E)*¹². Si tratta di un documento approvato dal CIML al suo 47° incontro a Bucarest (Romania) nell'ottobre 2012¹³, nel quale si cerca di fornire una risposta ad una serie di quesiti: che cosa è la metrologia? perché una legge in metrologia? che cosa è la metrologia legale?

Relativamente al primo quesito, su cosa debba intendersi per metrologia, la risposta è la seguente: *Metrology is the science of measurement and its applications. Metrology includes all theoretical and practical aspects of measurement, whichever the measurement uncertainty and field of application* (punto 2.1)¹⁴.

Quanto poi agli altri quesiti, sul perché sia da ritenersi necessaria una legge in metrologia e che cosa debba intendersi in definitiva per metrologia legale, la risposta

dell'OIML è molto articolata e richiama anche le conclusioni dello studio di John Birch, dal titolo *Benefit of Legal Metrology for the Economy and Society* (Beneficio della Metrologia Legale per l'economia e la società, detto anche *Birch Report*), redatto nel 2003 per conto del CIML¹⁵.

*La metrologia è molto ampia, si legge nel documento dell'OIML, dal momento che esistono molte cose che possono essere misurate, molti modi differenti per compiere le misurazioni e addirittura modi differenti in cui i risultati delle misurazioni possono essere espressi*¹⁶.

Ciò detto, secondo l'OIML molte applicazioni della metrologia rilevano da un punto di vista giuridico e molteplici sono i vantaggi che possono derivare dalla adozione di una *legge sulla metrologia*, che definisca le unità di misura legali e stabilisca come debbano essere effettuate ed interpretate le misure.

I vantaggi sono senz'altro evidenti, come sottolineano sia il documento dell'OIML che il *Birch Report*, in ambito economico:

- a) riduzione dei costi delle controversie e delle transazioni commerciali¹⁷;
- b) tutela dei consumatori¹⁸;
- c) parità di condizioni nel commercio¹⁹;
- d) controllo delle frodi;
- e) esazione di imposte (dirette ed indirette) basate su misure²⁰;
- f) vantaggi legati alla esportazione di beni²¹;
- g) sostegno del commercio di strumenti di misura.

A tali vantaggi, si legge ancora nel documento dell'OIML, altri poi se ne aggiungono, quelli che il *Birch Report* inquadra come *benefici per la società in generale*. Rientrano fra questi, a titolo di esempio:

- h) il miglioramento delle condizioni di salute dei singoli individui²²;
- i) il supporto alle attività di prevenzione e controllo per la tutela della salute e della sicurezza (*safety*) collettive²³;
- j) il supporto alle attività di monitoraggio e di controllo per la tutela dell'ambiente;
- k) il supporto alle attività di produzione di alimenti²⁴.

Ciò detto, cosa è dunque la metrologia legale?

Secondo l'OIML (vedi il punto 2.5 dell'OIML D 1): *Legal metrology is the practice and the process of applying regulatory structure and enforcement to metrology. It comprises all activities for which legal requirements are prescribed on measurement, units of measurement, measuring instruments or systems and methods of measurements, these activities being performed by or on behalf of governmental authorities, in order to ensure an appropriate level of confidence in measurements results in the national regulatory environment*²⁵.

Ne consegue, rileva ancora l'OIML, che la metrologia legale trova applicazione non solo in ambito commerciale, in particolare quando le forze presenti sul mercato non sono organizzate e/o non hanno le conoscenze necessarie o sono in posizione di disparità reciproca, ma anche quando si deve garantire la protezione dei singoli individui e della società nel suo insieme (è questo il caso delle misurazioni effettuate a tutela della salute, della sicurezza pubblica o dell'ambiente), soprattutto quando vi sia un conflitto di interessi e sia pertanto necessaria la presenza di un soggetto terzo che assicuri una verifica imparziale.

È peraltro evidente, sottolinea l'OIML, che la scelta degli ambiti nei quali si potrebbe ritenere necessario intervenire con norme di metrologia legale è rimessa alle valutazioni politiche del legislatore, al quale spetterà decidere quali settori di mercato siano rilevanti per l'economia e, più in generale, di quali interessi (dei singoli individui o della collettività) si debba garantire il perseguimento.

Quanto or ora detto porta a soffermarsi su un ultimo punto. Partendo dal presupposto che il ricondurre nell'alveo del giuridicamente rilevante (e quindi della metrologia legale) quanto elaborato dalla metrologia scientifica è scelta rimessa, in ultima analisi, alla discrezionalità del legislatore, non è detto che fra i due *mondi*, quello della metrologia scientifica e quello della metrologia legale, vi sia sempre una perfetta corrispondenza. A prescindere dal tempo che fisiologicamente può essere necessario prima che una norma giuridica recepisca le indicazioni e le sollecitazioni del mondo scientifico, eventuali *asimmetrie* fra i due sistemi, quello delle *unità di misura scientifiche* e quello delle *unità di misura legali*, potrebbero anche essere il frutto di una valutazione discrezionale del legislatore.

Di questo sembra essere perfettamente consapevole l'OIML, che in materia di *unità di misura legali* sembra aver assunto posizioni originali e potremmo dire più *morbide* rispetto a quelle fatte proprie dagli altri organismi internazionali, la cui attività è volta esplicitamente a favorire la diffusione del SI.

Di particolare interesse, a questo proposito, è un documento dell'OIML del 2007, nel quale si affronta proprio la questione dell'eventuale mantenimento di unità di misura diverse da quelle del SI. Nell'*International document OIML D 2 (Consolidated Edition 2007)*, intitolato *Legal units of measurement*²⁶, infatti, dopo aver ribadito che il SI dovrebbe essere utilizzato come base per le normative nazionali sulle unità di misura legali, mentre le unità di misura diverse da quelle dovrebbero essere abbandonate, l'OIML sostiene peraltro che, in certi casi, dovrebbe essere consentito considerare come *unità di misura legali* anche unità di misura diverse da quelle incluse nel SI²⁷. Sarebbe questo il caso, si legge ancora nel documento, del kilowattora (kW · h). Da qui un elenco abbastanza consistente di unità di misura il cui uso dovrebbe essere, quantomeno temporaneamente, consentito (vedi Annex A).

Anche nel successivo documento OIML D 1, già ampiamente ricordato, l'OIML continua a riconoscere quali unità di misura legali (cfr. il punto 3.4) oltre a quelle del SI e le così dette *customary units*, ossia, ad esempio, quelle utilizzate nel commercio internazionale, o in settori specifici quali la navigazione marittima o aerea, la tutela della salute, le applicazioni militari o la sicurezza (*safety*), le unità utilizzate per indicare quantità non incluse nel SI²⁸.

Questo *scollamento* che può determinarsi fra *metrologia scientifica* e *metrologia legale* è la diretta conseguenza del limite che accompagna l'azione dei diversi organismi che, a livello internazionale, mirano a promuovere la diffusione del SI, limite costituito dalla non vincolatività delle risoluzioni da essi adottate. Tali documenti infatti, in assenza di sanzioni che ne possano assicurare la prescrittività, rimangono sul piano della *soft law*, e la loro attuazione è rimessa, come si è detto, alla discrezionalità degli Stati membri.

Ben altro peso assumono invece sotto il profilo giuridico, stante la loro efficacia vincolante, le direttive comunitarie con le quali, a partire dagli anni '70 del secolo scorso, il legislatore comunitario ha inteso armonizzare il sistema delle unità di misura in uso negli Stati membri.

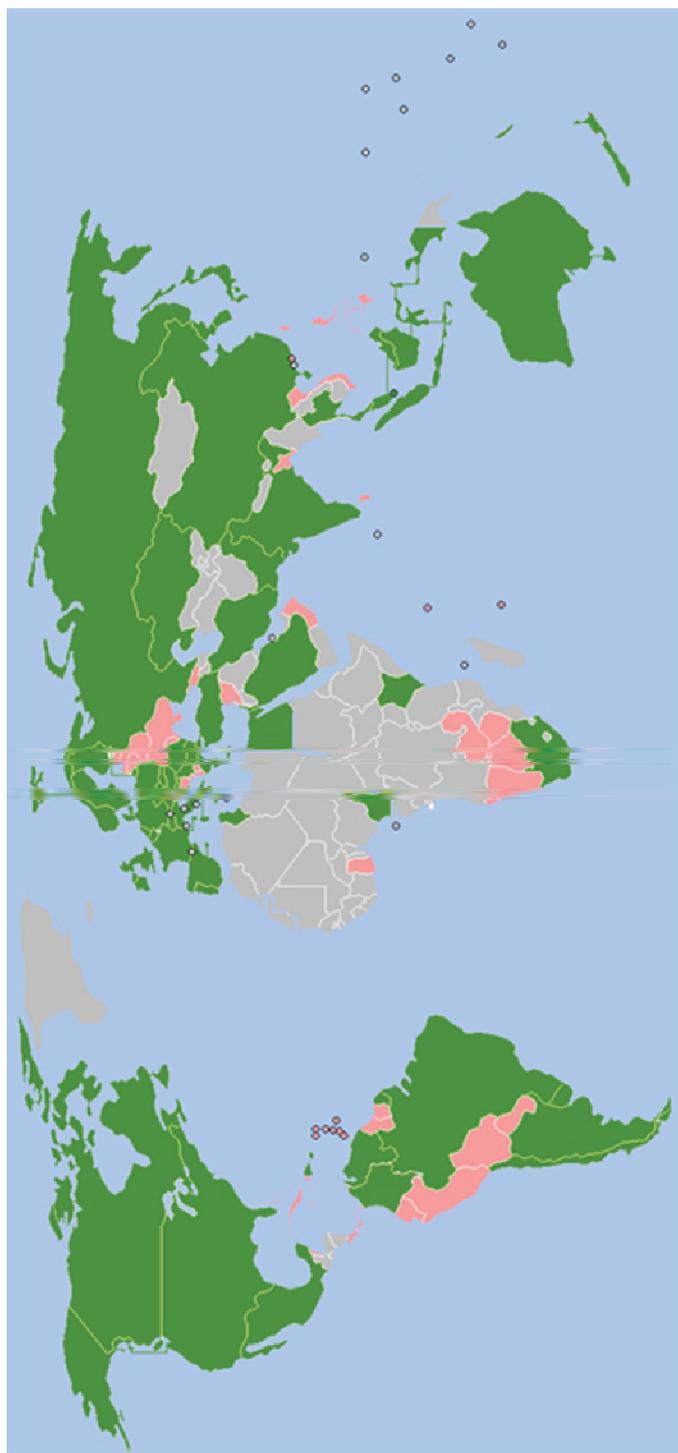


Figura 4.3 – 20 maggio 1875 i plenipotenziari di diciassette Stati firmano a Parigi la Convenzione del Metro e sanciscono la nascita del *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM):

- in America: Argentina, Brasile, Perù, Stati Uniti d’America, Venezuela ;
- in Europa: Austria-Ungheria, Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Portogallo, Russia, Spagna, Svezia-Norvegia, Svizzera, Turchia.

Alla data del 6 febbraio 2013 gli Stati membri del BIPM erano diventati 55 (in verde nella figura) mentre altri 37 erano Associati (in rosa nella figura), ovvero autorizzati a partecipare ai lavori in qualità di osservatori. Elaborazione da [107].

4.2 La metrologia legale nella normativa comunitaria.

La direttiva del Consiglio 71/354/CEE testimonia della raggiunta consapevolezza, anche a livello comunitario, della necessità di assicurare un sistema omogeneo di unità di misura, che, come si legge nel primo *considerando*, unitamente alle norme, già adottate e da emanare, nel settore degli strumenti di misura e dei metodi di controllo metrologico, rimuova gli ostacoli alle transazioni commerciali²⁹.

La direttiva trova la sua ragion d'essere (cfr. il secondo *considerando*) nel fatto che gli Stati membri, pur essendo soggetti alle risoluzioni internazionali emanate dalla CGPM istituita dalla Convenzione del metro del 1875, alla quale hanno aderito, non hanno ancora provveduto a regolamentare in maniera uniforme le unità di misura, ed in particolare la loro denominazione, i loro simboli ed il loro impiego.

In attuazione della direttiva, pertanto, gli Stati membri dovranno (cfr. art.1) rendere obbligatorie, entro cinque anni dalla data di entrata in vigore della direttiva stessa, le unità di misura di cui al Capitolo I dell'Allegato³⁰, con i relativi simboli, e, correlativamente, vietare, dopo il 31 dicembre 1977 al più tardi, le unità di misura, nomi e simboli di cui al capitolo III³¹. Il Consiglio si riserva invece di riesaminare, entro il 31 dicembre 1977, la situazione delle unità e dei nomi di unità di cui al Capitolo II³².

Peraltro, si specifica (cfr. l'art. 1, 3° comma) che l'impiego delle unità di misura temporaneamente mantenute (quelle cioè di cui ai capitoli II e III) non potrà essere consentito se non negli Stati membri nei quali le stesse erano già autorizzate all'atto della entrata in vigore della direttiva stessa.

In virtù di quanto dispone l'art.2 della direttiva, gli obblighi riguardano gli strumenti di misura utilizzati, le misurazioni effettuate e le indicazioni di grandezza espresse in unità utilizzate nel circuito economico, nei settori della sanità e della sicurezza pubbliche, nonché le operazioni di carattere amministrativo.

Infine, resta comunque salvo l'impiego di unità diverse da quelle rese obbligatorie che siano prescritte da convenzioni o accordi internazionali nei settori della navigazione marittima ed aerea e del traffico ferroviario (cfr. art.3).

A seguito, da un lato, della adesione alla Comunità, a partire dal 1° gennaio 1973, del Regno Unito di Gran Bretagna e di Irlanda del Nord, della Danimarca, dell'Irlanda e della Norvegia e, dall'altro lato, della adozione di nuove risoluzioni internazionali da parte della XV Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (Parigi, 27 maggio 1975), la direttiva 71/354/CEE viene poi modificata dalla direttiva del Consiglio 76/770/CEE, che da un lato prevede, per gli Stati che non abbiano già provveduto, nuovi termini per l'introduzione delle nuove unità di misura e, dall'altro lato, tenendo conto sia delle misure in uso nel mondo anglosassone sia delle novità che hanno interessato il SI, introduce modifiche significative in ordine alle unità di misura il cui uso dovrà essere reso obbligatorio o, viceversa, da vietare. La direttiva impone pertanto agli Stati membri (cfr. art.1) di rendere obbligatorio, entro il 21 aprile 1978, l'impiego delle unità di misura di cui al Capitolo A della direttiva stessa³³; di vietare l'impiego, dopo il 31 dicembre 1977 al più tardi, delle unità di misura di cui al Capitolo B³⁴; di vietare l'impiego, dopo il 31 dicembre 1979 al più tardi, delle unità di misura di cui al Capitolo C³⁵. La direttiva riporta poi un ulteriore elenco, al Capitolo D, relativo ad unità di misura la cui situazione sarà esaminata entro il 31 dicembre 1979³⁶.

Ad integrazione di quanto già previsto dalla direttiva del 1971, l'art.2 della direttiva del 1976 prevede infine che gli Stati membri potranno comunque consentire l'uso

di prodotti, attrezzature e strumenti per i quali si utilizzano unità di misura non autorizzate, a condizione che siano stati immessi sul mercato anteriormente alle date previste dalla direttiva del 1971.

La direttiva 71/354/CEE, così come modificata dalla direttiva 76/770/CEE, verrà poi abrogata dalla direttiva 80/181/CEE, la quale, ancorché più volte modificata ed integrata (dalla direttiva 85/1/CEE, dalla direttiva 89/617/CEE, dalla direttiva 1999/103/CE, dalla direttiva 2009/3/CE), costituisce tuttora la normativa comunitaria di riferimento in materia di unità di misura.

Peraltro, proprio per la difficoltà di ricostruzione di un quadro normativo così complesso e frammentato, nel 2010 la Commissione europea ha elaborato una proposta di direttiva, la COM(2010) 507 definitivo, per la codificazione della direttiva 80/181/CEE. Poiché, come è noto, in sede di codificazione non può essere apportata alcuna modificazione di carattere sostanziale, essendo consentite le sole modifiche formali necessarie ai fini della codificazione stessa, la proposta di direttiva, per quanto priva di efficacia, costituisce un documento di indubbia utilità ai fini della ricostruzione del quadro normativo.

Ciò premesso, la normativa comunitaria, come detto, poggia ancora oggi sulla direttiva del 1980, così come modificata ed integrata.

Secondo quanto previsto dall'art. 1 della direttiva, le unità di misura legali che devono essere utilizzate per esprimere grandezze sono quelle di cui al Capo I dell'Allegato I, che contiene anche le relative definizioni. In particolare, il Capo I include:

- le Unità SI di base³⁷ (punto 1.1);
- le Unità derivate³⁸ SI (punto 1.2.1);
- i prefissi ed i loro simboli che servono a designare taluni multipli e sottomultipli decimali³⁹ (punto 1.3.);
- i nomi ed i simboli speciali autorizzati di multipli e sottomultipli decimali di unità SI (punto 1.4.).

A queste si aggiungono poi:

- le Unità definite in base alle unità SI, ma che non sono multipli o sottomultipli decimali di queste (punto 2);
- le Unità utilizzate con il SI, i cui valori nel SI sono ottenuti sperimentalmente (punto 3);
- le Unità e nomi di unità ammessi unicamente in settori di applicazione specializzati (punto 4);
- le Unità composte (punto 5).

In taluni Stati, ossia in quelli nei quali esse erano autorizzate alla data del 21 aprile 1973, alle unità di misura legali di cui al capo I devono poi aggiungersi le unità di misura di cui al Capo II dell'Allegato I.

Si tratta di unità di misura in uso nel Regno Unito ed in Irlanda⁴⁰, per le quali era stato originariamente previsto che i due Stati potessero fine alla loro utilizzazione. La direttiva 2009/3/CE ha però disposto che esse potessero essere mantenute, sebbene solo per gli impieghi specializzati, dal momento che, come si legge nel 1° *considerando* della direttiva, *l'esperienza ha dimostrato che le esenzioni, per il loro carattere locale e il numero limitato dei prodotti interessati, se mantenute non comporteranno ostacoli non tariffari al commercio e che non è perciò necessario porvi fine.*

Giova infine ricordare, sempre a questo proposito, che la direttiva del 1980 aveva

incluso fra le unità di misura da sopprimere anche l'acro, utilizzato nelle registrazioni catastali, ma la direttiva 2009/3/CE, muovendo dalla constatazione che tale unità di misura non risulta più utilizzata, dispone la abrogazione della esenzione.

Una volta individuate e definite le unità di misura, l'art.2, 1° comma, della direttiva 80/181/CEE specifica che gli obblighi derivanti dall'art.1 riguardano gli strumenti di misura impiegati, le misurazioni effettuate e le indicazioni di grandezza espresse in unità di misura.

Peraltro, confermando quanto già previsto dalla direttiva del 1971, l'art.2, 2° comma, della direttiva 80/181/CEE consente, nei settori della navigazione marittima ed aerea e del traffico ferroviario, l'impiego di unità diverse da quelle rese obbligatorie dalla direttiva stessa, a condizione che siano previste da convenzioni o da accordi internazionali che vincolano l'Unione Europea o gli Stati membri.

A sua volta, anche l'art.4 introduce una deroga al divieto di cui all'art.1, consentendo l'impiego di unità di misura che non sono legali o hanno cessato di esserlo nel caso in cui si tratti di (cfr. 1° comma):

- a) prodotti ed attrezzature già immessi in commercio e/o in servizio al 20 dicembre 1979;
- b) pezzi e parti di prodotti e di attrezzature necessari per completare o per sostituire pezzi o parti di prodotti e di attrezzature di cui alla lettera a).

La deroga può peraltro essere esclusa nel caso di dispositivi di indicazione degli strumenti di misura, per i quali lo Stato membro può prescrivere l'impiego di unità di misura legali (cfr. il 2° comma).

L'art. 3 della direttiva affronta la delicata questione delle così dette indicazioni aggiuntive, ipotesi che ricorre (cfr. il 1° comma) nel caso in cui una indicazione espressa con una unità di misura di cui al Capo I della direttiva (ossia una unità di misura legale) sia accompagnata da una o più indicazioni espresse con unità che non figurano allo stesso Capo I.

Il problema non è di poco conto. Alcuni Paesi terzi, infatti, come si legge nel 4° *considerando* della direttiva 1999/103/CE, non accettano nei propri mercati i prodotti recanti indicazioni apposte unicamente nelle unità legali; nel caso in cui si vietasse la apposizione di indicazioni supplementari, le imprese europee che esportano i loro prodotti in tali Paesi si troverebbero in una situazione di svantaggio.

Da qui la scelta del legislatore comunitario di autorizzare l'impiego di tali indicazioni aggiuntive (cfr. l'art.3, 2° comma), a condizione che le indicazioni espresse con unità di misura diverse da quelle legali siano riportate in caratteri di dimensioni inferiori o al massimo uguali a quelle dei caratteri della corrispondente indicazione in unità di misura legali (art.3, 3° comma).

Permane peraltro il *favor* nei confronti delle unità di misura legali. In caso di contrasto, infatti, secondo quanto dispone l'art.3, 3° comma si dovranno ritenere prevalenti le indicazioni espresse utilizzando le unità di misura legali rispetto alle indicazioni aggiuntive.

Ad ogni modo, infine, premesso che (cfr. il 9° *considerando* della direttiva 80/181/CEE), l'impiego sistematico di indicazioni aggiuntive a tutti gli strumenti di misura e, tra l'altro, agli strumenti medici, non è auspicabile, sempre l'art.3, 2° comma, prevede che gli Stati membri possano esigere che (sul proprio territorio, come specifica il citato *considerando*) gli strumenti di misura rechino le indicazioni di grandezza in un'unica unità di misura legale.

4.3. La metrologia legale nell'ordinamento italiano.

4.3.1 Il sistema delle unità di misura legali nel Regno d'Italia.

Con legge del 28 luglio 1861 n.132 (*Legge sui pesi e sulle misure*) il neo-istituito Parlamento riconosceva il Sistema metrico decimale quale sistema legale delle unità di misura del Regno d'Italia, fissando al 1° gennaio 1863 il termine ultimo per la sua introduzione nel Regno delle Due Sicilie, unico peraltro, fra gli Stati preunitari annessi, nel quale risultavano ancora in vigore le vecchie unità di misura⁴¹.

Infatti, a parte l'eccezione rappresentata, come detto, dal Regno delle Due Sicilie, il Sistema metrico decimale era stato ormai introdotto (o reintrodotta⁴²) in tutti gli Stati che ora costituivano il Regno, anche se in molti casi si era trattato di una adozione solo formale, dal momento che poi, all'atto pratico, si continuavano ad usare le antiche unità di misura ed i vecchi pesi⁴³.

Ad ogni modo, il Regno di Sardegna aveva adottato il Sistema metrico decimale con un Regio Editto dell'11 settembre 1845⁴⁴, mentre nel Ducato di Modena e Reggio ed in quello di Parma e Piacenza erano stati due decreti ducali, entrambi del 17 ottobre 1849, a renderlo obbligatorio a partire dal 1° gennaio 1852⁴⁵.

E se nello Stato Pontificio⁴⁶ il Sistema metrico decimale era stato introdotto già nel 1848, per entrare in vigore a partire dal 1° gennaio 1850⁴⁷, la Toscana si era invece adeguata al nuovo sistema di unità di misura con un certo ritardo. Se infatti già nel 1782 una Notifica del Granduca Pietro Leopoldo aveva previsto la *Unificazione dei pesi e delle misure delle città del Granducato alle misure in essere presso la città di Firenze*, solo un decreto del Governo dell'11 gennaio 1860, poco prima cioè del plebiscito del marzo 1860, aveva sancito il passaggio al Sistema metrico decimale anche nei territori di quello che era stato il Granducato di Toscana⁴⁸.

Ciò detto, una delle cose che risalta con una certa immediatezza dalla lettura della legge del 1861 è la data della sua approvazione (luglio 1861), appena pochi mesi dopo la prima seduta del Parlamento del Regno d'Italia, il 18 febbraio 1861. Era davvero giustificata tanta sollecitudine da parte del legislatore post-unitario? Evidentemente sì.

Come sottolinea S. Cassese⁴⁹, mentre infatti, all'atto della costituzione del Regno, interi settori dell'ordinamento (pubblica amministrazione, apparato giudiziario e giustizia, rapporti tra poteri pubblici e cittadini) non venivano sostanzialmente toccati o venivano comunque regolati in maniera frammentaria ed inorganica, sicché la costruzione del nuovo Stato risultava, ad alcuni anni dalla sua costituzione, ancora incompleta, si volle invece intervenire in maniera significativa in ambito economico, allo scopo di giungere alla unificazione economica ed alla creazione di un mercato nazionale paragonabile, per estensione, a quelli delle altre nazioni europee, protetto verso l'esterno da efficaci barriere doganali ma privo di barriere interne.

Ciò non solo avrebbe dovuto contribuire allo sviluppo della produzione e del commercio, obiettivo gradito alla classe politica dominante del Regno, borghesia e grandi proprietari terrieri, ma avrebbe anche potuto, sia pur indirettamente, assicurare maggiori entrate allo Stato attraverso un adeguato sistema di imposizione fiscale⁵⁰.

Da qui, come ricorda ancora S. Cassese⁵¹, una cospicua produzione normativa in materia di sistemi monetari e zecca, bilancio, debito pubblico e buoni del tesoro, demanio, dogane, imposte e tasse, gioco del lotto, privative di sali e tabacchi, ordinamento del tesoro,

disciplina della contabilità generale dello Stato, appalti e lavori pubblici, Camere di commercio, telegrafo, poste e ferrovie e, per l'appunto, pesi e misure.

Il Sistema metrico decimale finiva dunque per costituire un tassello significativo nella costruzione dell'unità d'Italia; peraltro un'unità economica, prima ancora che istituzionale e culturale⁵².

Così, a mano a mano che nuovi territori venivano acquisiti al Regno d'Italia, a questi si estendeva il Sistema metrico decimale quale sistema legale delle unità di misura. Solo per i territori acquistati a seguito della *Terza guerra di indipendenza* (ossia *le provincie venete e quella di Mantova*) venne tuttavia adottata una legge *ad hoc*, la legge 11 marzo 1869, n.4941, che estese a questi l'ambito di applicazione della legge n.132 del 1861. Al contrario, nessuna legge sancì il passaggio al Sistema metrico decimale di Roma e di quanto rimaneva dello Stato Pontificio a seguito della così detta presa di Roma (1870), come pure dei territori passati all'Italia alla fine del primo conflitto mondiale.

Nello Stato Pontificio infatti, come si è detto, sebbene all'atto pratico continuassero ad essere usate le antiche unità di misura, in realtà il Sistema metrico decimale era stato formalmente introdotto già nel 1848, sicché una legge parve forse superflua. Anche per i territori acquisiti a seguito del primo conflitto mondiale (Trentino – Alto Adige, Trieste, Gorizia, Istria, Zara e alcune isole dell'alto Adriatico) probabilmente si ritenne non necessario intervenire con una legge, dal momento che nell'Impero austro-ungarico, cui quei territori appartenevano, l'uso del Sistema metrico decimale, introdotto con una legge del 23 luglio 1871, era stato reso obbligatorio a partire dal 1° gennaio 1876⁵³.

Ma torniamo alla legge n.132 del 1861.

Dopo aver previsto che: *I pesi e le misure legali nel Regno d'Italia sono unicamente quelli del sistema metrico decimale*, l'art.1 della legge ne elencava le unità⁵⁴, e cioè:

Per le misure lineari: il *metro*, definito come *unità fondamentale dell'intero sistema ed eguale alla diecimilionesima parte del quarto del meridiano terrestre*;

Per le misure di superficie: il *metro quadrato*;

Per le misure di solidità: il *metro cubo*;

Per le misure di capacità: il *litro*, *eguale al cubo della decima parte del metro*;

Per i pesi: il *gramma*, *peso nel vuoto d'un cubo, avente il lato eguale alla centesima parte del metro, d'acqua distillata alla temperatura di quattro gradi centigradi*;

A sua volta, l'art.2 ammetteva altre unità e denominazioni, ossia:

Per le misure agrarie: l'*ara*, *eguale ad un quadrato di dieci metri di lato*;

Per la misura del legno: lo *stero*, *equivalente al metro cubo*.

In allegato veniva poi riportata una Tabella dei pesi e delle misure, con *multipli e summultipli*.

Oltre ad una disciplina assai dettagliata delle attività di verifica, la legge introduceva anche alcune disposizioni, gli articoli 8, 9 e 10, che prevedevano una serie di obblighi in ordine all'utilizzo delle unità di misura *legali*.

In particolare, l'art.8 stabiliva che: *Negli atti pubblici, ne' libri e ne' registri di commercio, negli annunci ed affissi, ogni peso o misura dovrà essere espresso con la sua denominazione, secondo la tabella unita alla presente legge*.

A sua volta, l'art.9, pur non vietando l'uso di unità di misura diverse da quelle *legali*, prevedeva che: *Nelle menzioni ed estratti di titoli e nei certificati, trasporti e volture*

di catasti che siano compilati in pesi o misure antiche o diversi, si dovrà aggiungere il ragguaglio di detti pesi e misure con quelli del sistema legale.

Infine, l'art.10 disponeva che: *Ogni convenzione di quantità che non sia di solo danaro, anche per privata scrittura, dovrà farsi in pesi o misure legali.*

Gli obblighi di cui agli articoli 8, 9 e 10 erano poi assistiti dalle sanzioni di cui all'art.23, 3° comma, il quale prevedeva che fossero puniti con l'ammenda di lire 20 i notai e gli altri ufficiali pubblici che avessero contravvenuto agli stessi, e con l'ammenda di lire 10 ogni altra persona che fosse incorsa nella stessa contravvenzione.

Dopo essere stata in parte modificata, ma solo relativamente alle attività di verifica, dalla legge 23 giugno 1874 n.2000, la disciplina in materia di pesi e misure veniva poi ulteriormente rivista ad opera della legge 20 luglio 1890, n.6991, stavolta anche per quel che concerneva le unità di misura legali.

L'art.1, infatti, dopo aver ribadito, come già la legge del 1861, che: *I pesi e le misure legali nel Regno d'Italia sono unicamente quelli del Sistema metrico decimale*, ne elencava le unità di misura, sostituendo alla vecchia elencazione di cui alla legge del 1861 un nuovo elenco. Le nuove unità di misura legali erano infatti, secondo la nuova legge, le seguenti:

Per le misure lineari: il *metro internazionale*;

Per le misure di superficie: il *metro quadrato*;

Per le misure di solidità: il *metro cubo*;

Per i pesi: il *gramma*, definito come *millesima parte del chilogramma internazionale*;

Per le misure di capacità: il *litro*, definito come *volume di mille grammi d'acqua pura a quattro gradi del termometro centesimale*.

Come si vede, cambiava l'unità di misura delle misure lineari, indicata ora nel *metro internazionale*, e cambiava anche la definizione del *gramma* per i pesi e del *litro* per le misure di capacità. Ciò in conseguenza delle novità intervenute a livello internazionale ed in particolare della assegnazione all'Italia da parte della Conferenza Internazionale dei Pesi e delle Misure, nel 1889, dei campioni prototipo in platino e iridio del metro e del *chilogramma*, che l'art.3 indicava come i nuovi campioni prototipo nazionali⁵⁵.

Curiosamente, poi, nel testo della legge non si faceva più menzione dell'*ara* e dello *stero*, già previsti dall'art.2 della legge del 1861. Le due unità di misura ricomparivano peraltro nella *Tabella dei pesi e delle misure metrico-decimali, dei loro multipli e summultipli* allegata alla legge, rispettivamente come *Misura speciale agraria* e come *Misura speciale di solidità per il legno*.

E peraltro nella Tabella non figuravano, perché non multipli o sottomultipli delle rispettive unità di misura, il *triplo metro*, il *quarto di ettolitro* ed il *quarto di litro*, il cui uso veniva tuttavia espressamente consentito (ed anche questa era una novità rispetto alla legge del 1861) dall'art.2 della nuova legge.

La legge non diceva invece niente circa eventuali obblighi relativi all'uso delle unità di misura legali, sicché rimanevano in vigore le disposizioni di cui agli articoli 8, 9 e 10 della legge del 1861, che difatti venivano espressamente richiamati dall'art.14, 3° comma, il quale a sua volta riportava testualmente quanto già previsto, in ordine alle sanzioni, dall'art.23, 3° comma, della vecchia legge.

A fronte di un quadro normativo che, come si vede, si era già venuto significativamente complicando (tre leggi si erano succedute nel tempo, e tutte e tre risultavano in vigore, disciplinando ciascuna profili diversi della materia), la legge n.6991

del 1890 prevedeva peraltro (art.16) che il Governo potesse adottare un testo unico che coordinasse le disposizioni vigenti in materia di pesi e misure (ossia, oltre alle già citate leggi del 1861 e del 1890, anche la legge n. 2000 del 1874, relativa alle attività di verifica).

In attuazione della delega di cui alla legge n.6991, con R.D. 23 agosto 1890 n.7088 viene pertanto approvato il Testo Unico delle leggi sui pesi e sulle misure, che riunisce tutte le disposizioni fino a quel momento emanate in materia di unità di misura e di attività di verifica.

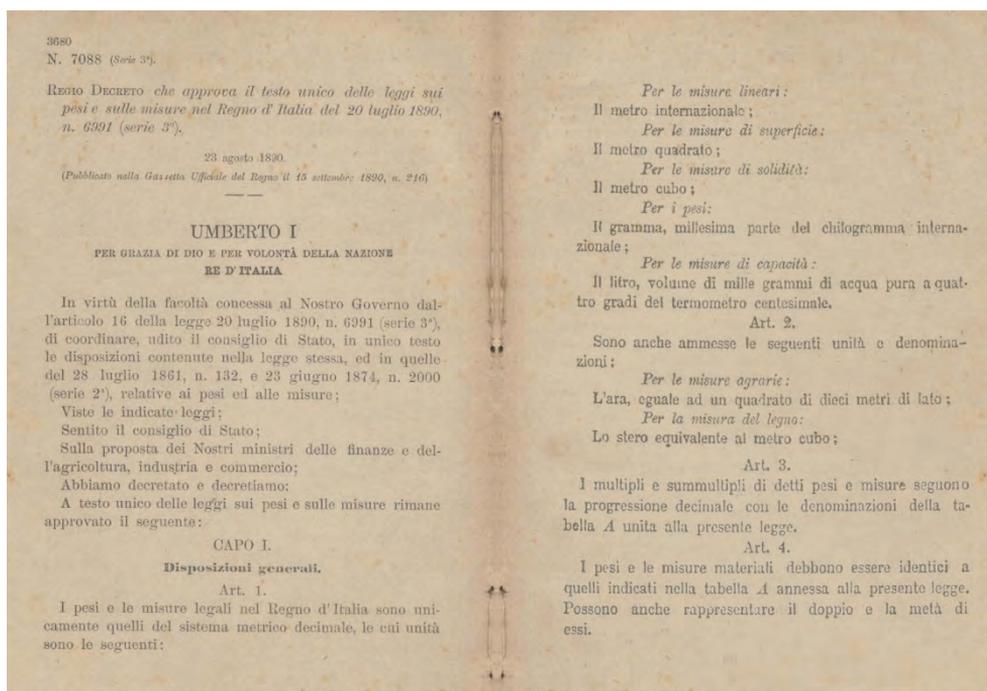


Figura 4.4 – R.D. 23 agosto 1890 n.7088 che approva il testo unico delle leggi sui pesi e sulle misure nel Regno d’Italia del 20 luglio 1890, n. 6991. Elaborazione da [108].

Secondo quanto prevede l’art.1 del Testo Unico, *I pesi e le misure legali in Italia sono unicamente quelli del sistema metrico decimale*, le cui unità di misura sono così individuate:

- Per le misure lineari: *il metro internazionale;*
- Per le misure di superficie: *il metro quadrato;*
- Per le misure di solidità: *il metro cubo;*
- Per i pesi: *il gramma, millesima parte del chilogramma internazionale;*
- Per le misure di capacità: *il litro, volume di mille grammi d’acqua pura a quattro gradi del termometro centesimale*⁵⁶.

Ricompaiono, all'art.2, l'*ara*, per le misure agrarie, *eguale ad un quadrato di dieci metri di lato* e lo *stero*, *equivalente al metro cubo*, per la misura del legno.

E viene confermata, all'art.4, la possibilità di fare uso del *triplo metro*, del *quarto d'ettolitro*, del *quarto di litro*.

A loro volta, poi, gli articoli 9, 10 e 11 del Testo Unico riprendono alla lettera quanto già previsto dagli articoli 8, 9 e 10 della legge del 1861 in materia di utilizzo obbligatorio delle unità di misura legali, mentre l'art.31 conferma la sanzione della ammenda già prevista dalla legge n.132 del 1861 e successivamente ripresa anche dalla legge n.6691 del 1890.

Relativamente alla violazione dei citati articoli 9, 10 e 11 del Testo Unico, se ne conferma dunque la natura di reato contravvenzionale. In seguito, l'importo dell'ammenda sarà progressivamente innalzato⁵⁷, fino a quando la legge 24 novembre 1981 n.689 (art.32), depenalizzando la fattispecie, sostituirà l'originaria sanzione dell'ammenda con la sanzione amministrativa, elevando al contempo l'importo dovuto: lire 20.000 per il notaio od altro pubblico ufficiale che violi le disposizioni di cui agli articoli 9, 10 o 11; lire 10.000 per ogni privato che incorra nella medesima violazione.

A queste sanzioni si aggiungono peraltro quelle eventualmente previste dagli ordini o dai collegi professionali a carico dei loro iscritti. È questo il caso, ad esempio, di quanto previsto dalla legge 16 febbraio 1913, n.89 (recante *Ordinamento del notariato e degli archivi notarili*), la quale dispone, all'art.51, n.5, che l'atto notarile contenga *l'indicazione, almeno per la prima volta, in lettere e per disteso, delle date, delle somme e della quantità delle cose che formano oggetto dell'atto*.

Secondo la maggior parte dei commentatori, la violazione della norma non importerebbe nullità dell'atto, ma il notaio sarebbe soggetto alla sanzione disciplinare pecuniaria prevista dall'art.137 della legge n.89 del 1913⁵⁸. Ciò peraltro a condizione che l'omissione di tali dati non sia tale da rendere indeterminato e indeterminabile l'oggetto, nel qual caso l'atto dovrebbe considerarsi nullo (cfr. gli articoli 1346 e 1418 del c.c.), con le relative conseguenti sanzioni per il notaio rogante⁵⁹.

Il Testo unico del 1890 costituirà a lungo la principale normativa di riferimento per quel che concerne la metrologia legale. Purtuttavia, le nuove conoscenze e le nuove acquisizioni in materia renderanno talvolta necessario un intervento correttivo o integrativo da parte del legislatore italiano.

È questo il caso, ad esempio, della legge 7 luglio 1910 n.480, con la quale viene adottato il *carato metrico*, del peso di 200 milligrammi, come unità di massa nel commercio delle perle e delle pietre preziose.

Ancora più significative saranno le modifiche introdotte con la legge 13 dicembre 1928 n.2886.

In primo luogo, a parziale modifica dell'art.1 del Testo Unico del 1890, l'art.1 della legge del 1928 sostituisce al *gramma* il *chilogramma internazionale* (art.1).

A sua volta, poi, l'art.2 della nuova legge introduce inoltre il *secondo di tempo solare medio*, cioè *la frazione 1/86400 di giorno solare medio* come unità legale per le misure di tempo.

L'art.3 dispone invece che la scala legale per le misure di temperatura sia la *scala termodinamica*, prendendo⁶⁰ *uguale a 0° C. la temperatura di fusione, alla pressione atmosferica normale*⁶¹, *del ghiaccio, ed uguale a +100° C. la temperatura del vapore saturo dell'acqua in ebollizione*⁶² *alla pressione atmosferica normale*.

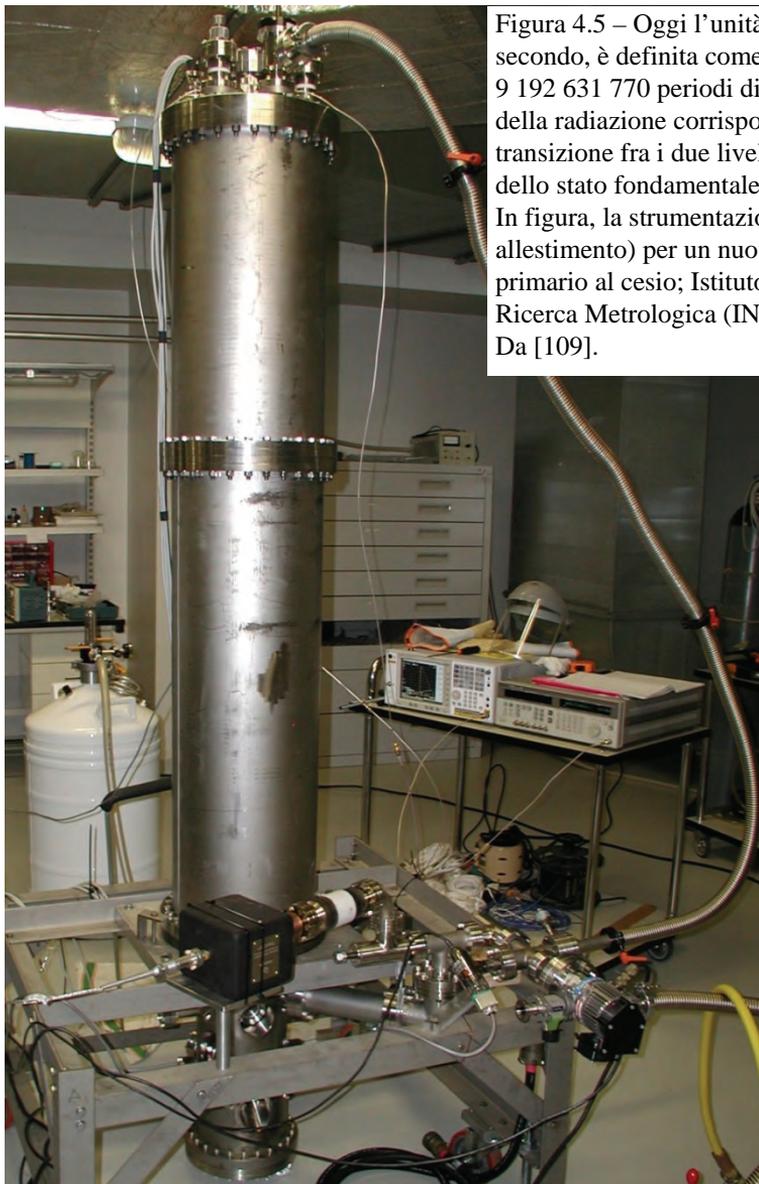


Figura 4.5 – Oggi l'unità di tempo, il secondo, è definita come la durata di 9 192 631 770 periodi di oscillazioni della radiazione corrispondente alla transizione fra i due livelli iperfini dello stato fondamentale del cesio 133. In figura, la strumentazione (in fase di allestimento) per un nuovo campione primario al cesio; Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM, Torino). Da [109].

E ancora: l'art.4 introduce la *caloria* (*grande caloria* o *caloria chilogramma*) come unità legale per la misura delle quantità di calore, definendola come: *la quantità di calore che occorre per riscaldare da 14,5 a 15,5 gradi C., alla pressione atmosferica normale, 1 chilogramma di acqua distillata*. A sua volta, la *piccola caloria*, o *caloria gramma*, è la *millesima parte della grande caloria (caloria chilogramma)*.

L'art.5 prevede inoltre, quali unità legali per le misure fotometriche, *quelle del sistema che ha attualmente per base la candela internazionale, e quindi anche il lumen*

internazionale e la lux internazionale⁶³, in conformità delle deliberazioni prese nella conferenza internazionale tenuta a Parigi nel 1921. In particolare, sempre l'art.5 stabilisce che l'unità di intensità luminosa è la candela internazionale⁶⁴; l'unità di flusso luminoso è il lumen internazionale⁶⁵; l'unità di illuminazione è la lux internazionale⁶⁶.

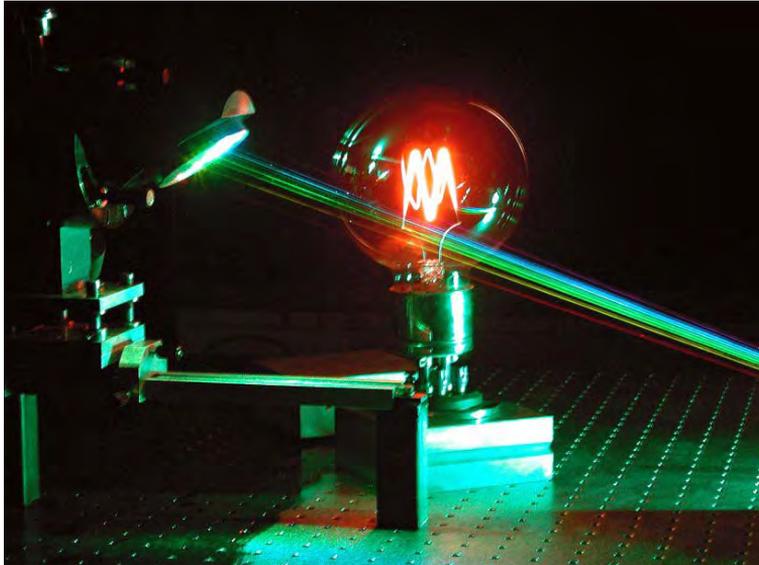


Figura 4.6 – Oggi, la candela è definita come l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ hertz e la cui intensità energetica in quella direzione è $1/683$ watt/steradiante. Da [110].

Ai sensi dell'art.6, invece, le unità legali per le misure elettriche sono: *quelle del sistema che ha per base l'ohm internazionale come unità di resistenza elettrica e l'ampere internazionale come unità di corrente elettrica, in conformità delle prescrizioni adottate dalla Conferenza internazionale tenuta a Londra nel 1908.*

In particolare, l'unità di resistenza è l'*ohm internazionale*, definito come: *la resistenza che oppone ad una corrente costante una colonna di mercurio alla temperatura di 0°C ., la quale abbia la massa di grammi 14,4521, la lunghezza di centimetri 106,3 e la sezione trasversa costante*; l'unità di corrente è l'*ampere internazionale*, definito come: *la corrente costante che, passando per una soluzione di nitrato d'argento nell'acqua, in conformità di determinate norme, deposita l'argento in ragione di gr. 0,001118 al secondo*; l'unità di differenza di potenziale è invece il *volt internazionale*, definito come: *la differenza costante di potenziale ai capi di un conduttore avente la resistenza di un ohm internazionale e percorso dalla corrente di un ampere internazionale.*

Infine, l'art.7 introduce come unità legale per le misure di potenza il *watt internazionale*, definito come: *la potenza corrispondente al passaggio della corrente costante di un ampere internazionale sotto la differenza costante di potenziale di un volt internazionale.*

Tutti gli strumenti impiegati per la misura delle grandezze definite nella legge, secondo quanto prevede, da ultimo, l'art.8, dovranno essere graduati in base alle unità legali ed ai loro multipli e sottomultipli decimali.

L'ultimo intervento del legislatore in materia di pesi e misure è rappresentato dal R.D. 18 aprile 1940 n.1359. Oltre a prevedere un aumento dell'importo dell'ammenda di cui all'art.31 del Testo Unico⁶⁷, il Regio Decreto del 1940 merita di essere ricordato se non altro per l'interesse che può rivestire sotto il profilo storiografico, dal momento che contiene alcune disposizioni introdotte per disciplinare la materia dei pesi e delle misure in una parte dei territori conquistati a seguito della espansione coloniale in terra d'Africa.



A

A) Veduta di insieme del laboratorio in cui viene realizzato e mantenuto il campione di resistenza elettrica ottenuto mediante l'effetto quantistico di Hall.

B

B) Apparato sperimentale con cui si realizza il campione di differenza di potenziale mediante l'effetto quantistico di Josephson.

Figura 4.7 – Oggi l'ampere è definito come l'intensità di corrente costante che, percorrendo due conduttori rettilinei paralleli, di lunghezza infinita di sezione circolare trascurabile, posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro, nel vuoto, produce fra questi conduttori una forza pari a $2 \cdot 10^{-7}$ N su ogni metro di lunghezza.

Il campione di corrente può fondarsi anche sulla legge di Ohm: in un conduttore di resistenza 1Ω sottoposto alla differenza di potenziale di 1 V scorre la corrente di 1 A. Dal 1990 si studia la possibilità di basare la resistenza elettrica sull'effetto quantistico di Hall (fig. A) e la differenza di potenziale sull'effetto quantistico Josephson. (fig. B). Da [110].

L'art.1 del Regio Decreto, riconosce infatti al Governatore generale dell'Africa Orientale Italiana la facoltà di ordinare che nei territori occupati i pesi e le misure legali siano unicamente quelli previsti dalla normativa italiana, con la sola eccezione dei mercati indigeni, dove i pesi e le misure locali dovranno essere *tollerati*.

4.3.2 Le unità di misura legali nell'Italia repubblicana.

All'atto della nascita dell'ordinamento repubblicano, la disciplina sulle unità di misura legali continua ad essere costituita dal vecchio Testo unico del 1890, così come modificato ed integrato in particolare dalle due leggi del 1910 e del 1928, e tale resterà, come vedremo, ancora per molti anni.

Una novità tuttavia c'è, ed è rappresentata dal fatto che, sia pur indirettamente, dalla Costituzione arriva la conferma che quella dei *pesi* e delle *misure* è materia che contribuisce a dare unità all'ordinamento giuridico statale.

Poiché infatti, all'atto della definizione del riparto di competenze legislative fra lo Stato e le regioni a statuto ordinario (art.117), la Costituzione del 1948 nulla dice in ordine alla materia dei *pesi e misure*, nel silenzio del legislatore costituente è da ritenersi che la materia rientri fra quelle riservate alla competenza esclusiva dello Stato⁶⁸. Analoghe considerazioni valgono per le regioni ad autonomia differenziata (e per le province di Trento e Bolzano), dal momento che anche in questo caso la materia non risulta fra quelle attribuite dai rispettivi statuti alla competenza del legislatore regionale.

La conferma arriverà nel momento in cui, con la riforma del Titolo V della Costituzione (legge costituzionale n.3 del 2001), la materia *Pesi, misure e determinazione del tempo* verrà espressamente ricondotta (cfr. l'art.117, 2° comma, lett.r) fra quelle di competenza esclusiva del legislatore statale.

Per molto tempo, peraltro, lo si è detto, non si segnalano interventi del legislatore statale in materia di unità di misura, fatta eccezione per alcune norme adottate in ambiti specifici.

È questo il caso, ad esempio, delle disposizioni in materia di imballaggi preconfezionati contenenti prodotti liquidi, misurati in volume⁶⁹, di cui al d.l. 3 luglio 1976, n.451, convertito in legge 19 agosto 1976, n.614 (di attuazione di due direttive comunitarie, la 75/106/CEE, e la 75/107/CEE)⁷⁰, in virtù del quale, per essere classificate come *bottiglie C.E.E* ai fini della loro commercializzazione, i recipienti di vetro o di materiali consimili devono contenere *l'indicazione della capacità nominale, espressa in litri, in centilitri o in millilitri per mezzo di cifre, seguita dal simbolo o eventualmente dal nome della unità di misura utilizzata* (art.13, recante *Iscrizioni metrologiche*).

Ed è anche il caso di quanto previsto dalla legge 25 ottobre 1978, n. 690 (di attuazione della direttiva comunitaria 76/211/CEE)⁷¹, sugli imballaggi preconfezionati, secondo la quale gli *imballaggi preconfezionati C.E.E.*, ossia gli imballaggi che possono fregiarsi del marchio C.E.E., *devono recare l'indicazione, in unità SI, della massa nominale o del volume nominale del prodotto contenuto* (art.6, anche in questo caso rubricato *Iscrizioni metrologiche*).

Proprio la disciplina degli imballaggi preconfezionati dei liquidi di cui al d.l. n.451 del 1976 sarà peraltro oggetto di un giudizio innanzi alla Corte costituzionale, l'unico, salvo errori, nel quale la Consulta è stata interpellata con riferimento alla disciplina legale dei pesi e delle misure.

Con ricorso in via principale il Governo aveva infatti impugnato la legge della Regione Toscana n.38 del 2004, la quale, relativamente alla utilizzazione delle acque minerali, di sorgente e termali, aveva attribuito alla Regione la potestà di indicare *le capacità nominali dei contenitori e le tolleranze ammesse* (art.49).

Dopo aver rilevato, nel ricorso, che la normativa regionale, che faceva riferimento alla *capacità nominale*, si poneva in contrasto con quella comunitaria, nella quale il richiamo era invece al *volume nominale*, in sede di discussione orale l'Avvocatura dello Stato, per conto della Presidenza del Consiglio, sollevava anche l'ulteriore questione della presunta violazione, da parte della legge regionale, delle norme costituzionali sul riparto di competenze legislative tra Stato e Regioni nella materia *pesi e misure* (che, come abbiamo visto, è materia di competenza esclusiva dello Stato, stante quanto prevede l'art.117, 2° comma, lett.r).

Poiché nelle more di svolgimento del giudizio innanzi alla Corte costituzionale la Regione Toscana aveva adottato una nuova disciplina in materia (la l.r. n. 21 del 2005), nella quale il termine *capacità* era stato sostituito, conformemente a quanto previsto dalla normativa comunitaria, con il termine *volume*, la Corte, con ordinanza n.428 del 16 novembre 2005, dichiarava cessata la materia del contendere, affermando esplicitamente di non poter prendere in considerazione che le doglianze contenute nel ricorso e dovendo viceversa considerare inammissibili, in quanto tardive, le deduzioni difensive presentate per la prima volta in sede di discussione orale (quelle relative, cioè, alla presunta violazione dell'art.117, 2° comma, lett.r, della Costituzione).

È appena il caso di sottolineare che, se tempestivamente sollevata, quella doglianza sarebbe stata probabilmente accolta, con conseguente dichiarazione di incostituzionalità della legge regionale...

Ma facciamo un passo indietro.

Come già ricordato, fino a tutti gli anni '70 del secolo scorso, fatti salvi gli interventi settoriali sopra ricordati in materia di imballaggi, pur a fronte delle sollecitazioni provenienti da organismi quali la CGPM e l'OIML e, soprattutto, di esplicite direttive comunitarie (la 71/354/CE e la 76/770/CE), il legislatore italiano rimane inerte.

Ed è infatti solo all'inizio degli anni '80, in attuazione (peraltro tardiva) della direttiva 80/181/CE⁷² e sulla base di quanto previsto dalla legge delega 9 febbraio 1982, n.42, che viene emanato un decreto legislativo, il d.P.R. 12 agosto 1982 n.802, il quale, così come integrato e modificato a seguito della entrata in vigore delle nuove direttive comunitarie, costituisce tuttora la normativa di riferimento.

La materia è stata peraltro oggetto di delegificazione.

La legge 28 ottobre 1988, n.473, infatti, oltre a modificare parzialmente il d.P.R. n.802/1982 in attuazione della direttiva 85/1/CEE (cfr. l'art.1), aveva altresì previsto, all'art.2, che spettasse all'allora Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato (oggi Ministro dello sviluppo economico) la competenza in ordine al futuro adeguamento del decreto n.802 alle direttive comunitarie. Conformemente a quanto previsto, sono stati pertanto emanati, a modifica e/o integrazione del citato decreto, il D.M. 30/12/1989 (in attuazione della direttiva 89/617/CEE); il D.M. 29/1/2001 (in attuazione della direttiva 1999/103/CE); infine, il D.M. 29 ottobre 2009 (in attuazione della direttiva 2009/3/CE).

Secondo quanto dispone l'art.1, 1° e 3° comma, del decreto legislativo del 1982, nel suo testo vigente, le *unità di misura legali* da utilizzare per esprimere grandezze sono quelle riportate nel capitolo I dell'Allegato al decreto stesso⁷³, che dovranno essere indicate esclusivamente utilizzando le denominazioni, le definizioni ed i simboli *ivi* previsti⁷⁴.

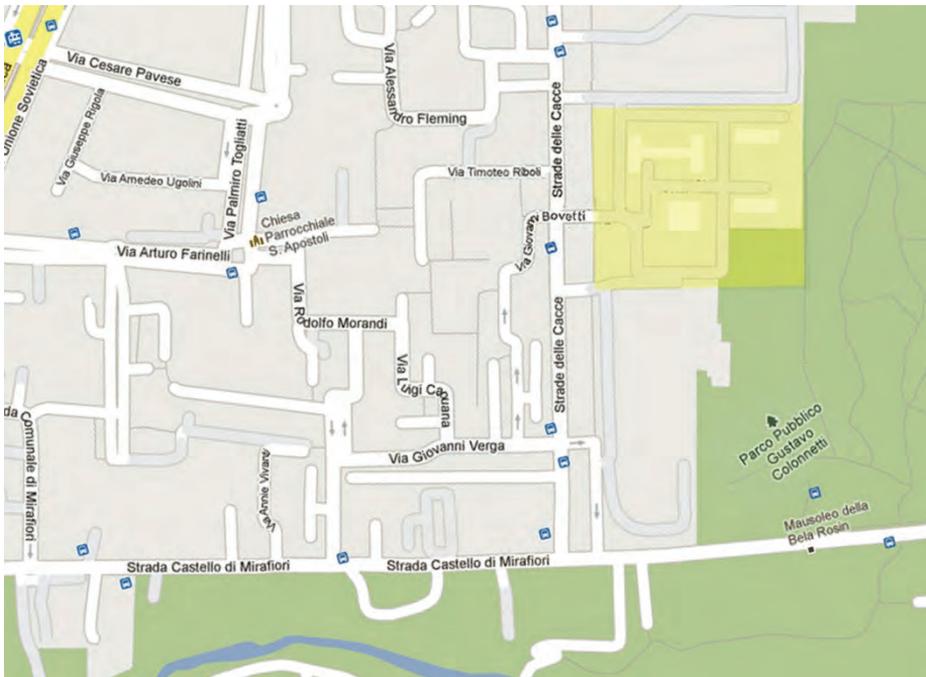


Figura 4.8 – In alto, al centro, gli edifici principali (bianchi) e le altre palazzine dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM), ente pubblico nazionale con sede a Torino. In basso l'area occupata dall'INRiM nel contesto cittadino (nel riquadro giallo) in zona Mirafiori. L'Istituto nasce l'1 gennaio 2006 dalla fusione dell'Istituto di Metrologia *Gustavo Colonnetti* del CNR con l'Istituto Elettrotecnico Nazionale *Galileo Ferraris*. L'INRiM ha il compito di svolgere e promuovere attività di ricerca scientifica nei campi della metrologia. L'INRiM dal 13/10/2006 fa parte del gruppo di NMI (*National Metrology Institutes*) degli Stati membri o associati del CGPM. Da [111].

Quanto all'ambito di applicazione della normativa, stante quanto prevede l'art.2 del d.P.R. n.802, l'utilizzazione delle unità di misura legali è obbligatoria *nelle attività economiche, nei settori della sanità e sicurezza pubblica e nelle operazioni di carattere amministrativo, agli strumenti di misura impiegati, alle misurazioni effettuate e alle indicazioni di grandezza espresse in unità di misura.*

In proposito, non è mancato peraltro chi ha sottolineato che non sembrerebbe esserci coincidenza perfetta fra l'oggetto del d.P.R. del 1982 ed il vecchio Testo unico del 1890, sicché sarebbe da ritenere che per gli ambiti non coperti dalla normativa più recente continuino ad essere in vigore le norme del Testo unico⁷⁵. In particolare sarebbe questo il caso, e sembra opinione condivisibile, della attività notarile⁷⁶.

Come già previsto nelle direttive comunitarie, il decreto legislativo consente (art.3) l'uso di unità di misura diverse da quelle legali:

- a) nei settori della navigazioni marittima ed aerea e del traffico ferroviario, laddove tali unità siano previste da convenzioni o da accordi internazionali che vincolano l'Italia o l'Unione europea;
- b) per i prodotti e le apparecchiature immessi in commercio e/o in servizio alla data del 31 dicembre 1982, oltre che per i relativi componenti ed i ricambi (in questo caso, peraltro, si prevede che i dispositivi indicatori degli strumenti di misura dovranno adeguarsi alle disposizioni del decreto entro il 31 dicembre 1985).

Infine, l'art.5 incardina in capo al Ministero dell'industria (oggi Ministero dello sviluppo economico), all'ufficio centrale metrico ed agli uffici provinciali metrici la vigilanza sulla applicazione del decreto. Ed è sempre a questi ultimi che spetta la competenza alla irrogazione della sanzione amministrativa pecuniaria (da lire 500.000 a lire 1.500.000⁷⁷) prevista dall'art.4 per le ipotesi di violazione delle disposizioni contenute nel decreto legislativo, salvo che il fatto costituisca reato.

4.4 Metrologia scientifica e metrologia legale: un binomio indissolubile.

Lungi dall'essere due monadi separate, metrologia scientifica e metrologia legale appaiono invece biunivocamente legate l'una all'altra.

Non parliamo qui di condizioni di esistenza: ben vi potrebbero essere infatti regole metrologiche elaborate in ambito scientifico che non vengono incorporate in norme giuridiche e, all'opposto, nulla vieterebbe al legislatore di adottare regole metrologiche legali diverse da quelle elaborate dalla metrologia scientifica. Parliamo piuttosto di vantaggi che l'una può trarre dall'altra. E viceversa.

Quindi: quale utilità trae la metrologia legale dalla metrologia scientifica? E, per converso: che cosa può dare la metrologia legale alla metrologia scientifica?

La risposta alla prima domanda è in realtà assai semplice. Non vi è dubbio che le regole metrologiche appartengano a quelle che la Corte costituzionale, con la sentenza n.61 del 1997, ha definito come *norme tecniche*, dovendosi intendere come tali, sempre secondo la Corte, le prescrizioni *elaborate generalmente sulla base dei principi desunti dalle così dette «scienze esatte» o dalle arti che ne sono applicazione (come, ad esempio, le prescrizioni che individuano standards qualitativi o metodologie di rilevazione dati e/o di*

trattamento materiali)⁷⁸.

Ora, assai spesso le norme tecniche, per la specificità del loro oggetto e per la estrema tecnicità del loro contenuto, richiedono conoscenze specialistiche che il legislatore non possiede; sicché è inevitabile che quest'ultimo attinga ai risultati che la ricerca scientifica e tecnologica gli mette a disposizione. Ed è evidente che, per quel che concerne la materia dei *pesi* e delle *misure*, la metrologia scientifica è la sola in grado di offrire al legislatore un sistema affidabile di regole.

Quanto detto offre peraltro lo spunto per una ulteriore riflessione.

Dobbiamo partire dal presupposto che, in un sistema coerente, fra metrologia scientifica e metrologia legale non vi dovrebbero essere quelli che nel Paragrafo 4.1 si sono definiti *scollamenti*, in particolare per quel che concerne il contenuto *scientifico* delle regole metrologiche.

Ciò premesso, non si può non sottolineare come, all'avanzare delle conoscenze nell'ambito della metrologia scientifica, e quindi alla introduzione di nuove regole, non sempre corrisponda un rapido adeguamento del sistema della metrologia legale. Al contrario, i processi di incorporazione delle regole metrologiche elaborate in ambito scientifico in norme giuridiche appaiono assai lenti.

Questo è senz'altro dovuto, in molti casi, alla colpevole inerzia del legislatore, ma non vi è dubbio che esistano anche dei ritardi *fisiologici*, legati al tempo effettivamente necessario per la predisposizione e la approvazione dei testi normativi che recepiscono le regole metrologiche.

Se dunque, da un lato, è senz'altro auspicabile che il recepimento delle regole metrologiche e la loro incorporazione in norme giuridiche avvenga senza quei ritardi che appartengono alla *patologia* del sistema, pure, dall'altro lato, si potrebbe pensare a meccanismi che consentano di eliminare anche i ritardi che attengono invece alla sua stessa *fisiologia*.

Se partiamo dalla constatazione che la incorporazione delle regole metrologiche in norme giuridiche si è, almeno fino ad oggi, tradotta molte volte (penso soprattutto a tutte quelle disposizioni che, sia nel testo dei diversi documenti normativi che negli allegati, presentano elevatissimi caratteri di tecnicità⁷⁹) nella sostanziale riproduzione delle regole metrologiche del SI, si potrebbe forse pensare a meccanismi di rinvio *formale* (o *non recettizio*, o *mobile*) delle regole elaborate a livello internazionale da organismi quali il BIPM o l'OIML.

Come è noto, infatti, il rinvio formale (anche detto rinvio *alla fonte*) è quello mediante il quale una norma giuridica consente l'ingresso nell'ordinamento giuridico, senza necessità di ulteriori interventi da parte del legislatore, di tutte le regole, presenti e future, provenienti da un determinato soggetto normatore⁸⁰.

In questo modo, nel momento stesso in cui venissero ad esistenza, le regole metrologiche sarebbero immediatamente applicabili anche nell'ordinamento che ha operato il rinvio; fatta sempre comunque salva, per il legislatore, nel momento in cui non intendesse consentire l'ingresso nell'ordinamento giuridico di una determinata regola, la facoltà di legiferare in proposito, derogando, per quella sola volta, alla norma contenente la clausola di rinvio.

Ciò detto, quale che sia il meccanismo cui fare ricorso per introdurre le regole metrologiche nell'ordinamento giuridico (incorporazione in norme giuridiche o rinvio), mi paiono evidenti le ragioni per le quali la metrologia legale non può, in ultima analisi, prescindere dalla metrologia scientifica.

Ma, si è detto, metrologia scientifica e metrologia legale sono legate in modo biunivoco. E allora cerchiamo di rispondere alla seconda domanda che avevamo posto: cosa può offrire la metrologia legale alla metrologia scientifica?

Qui la risposta potrebbe apparire meno immediata. In fondo, come si è già accennato, la metrologia scientifica trova già in sé la sua ragion d'essere, può esistere cioè indipendentemente dalla metrologia legale, della quale è, o dovrebbe essere, il presupposto logico e cronologico.

Se questo è vero, pure qualche cosa la metrologia legale può offrire alle regole della metrologia scientifica. Si è detto che la previsione, da parte del legislatore, di unità di misura legali e, più in generale, di regole metrologiche legali, consente di ricondurre nell'alveo del giuridicamente rilevante i risultati delle ricerche metrologiche sviluppate in ambito scientifico. Trasfuse in norme giuridiche vincolanti, assistite da meccanismi di controllo e sanzionatori, le regole della metrologia scientifica acquistano quella efficacia prescrittiva della quale sarebbero altrimenti prive⁸¹.

Ne consegue che - e in questo sta la risposta alla domanda - rendendo cogente il loro utilizzo, la metrologia legale diventa lo strumento più efficace per la diffusione e l'applicazione generalizzata e certa delle regole della metrologia scientifica⁸².

Ecco dunque in che senso si può dire, a mio avviso, che metrologia scientifica e metrologia legale non possono fare a meno l'una dell'altra.

E questo vale oggi più che mai.

A fronte di processi di globalizzazione che interessano non solo i processi produttivi e gli scambi commerciali e finanziari, ma anche altri ambiti di importanza nevralgica (si pensi, a titolo puramente esemplificativo, alla necessità di disporre di reti di monitoraggio e/o di valutazione del rischio in settori quali quello della tutela dell'ambiente, della tutela della salute, della sicurezza alimentare), la possibilità di avvalersi di un sistema di regole metrologiche affidabili, condivise e giuridicamente vincolanti appare una esigenza imperativa e sempre più pressante, alla quale nessuno può più pensare di sottrarsi.

4.5 Note.

¹ Vedi Capitolo Terzo, Paragrafo 3.1.

² Costantino Nigra (Villa Castelnuovo, 1828 – Rapallo, 1907) filologo, poeta, diplomatico e politico italiano. Fu ambasciatore italiano a Parigi dal 1860 al 1876. Nel 1875 in qualità di plenipotenziario del Regno d'Italia, firmò la Convenzione del Metro.

³ In proposito vedi il sito del BIPM (<http://www.bipm.org>) e la struttura della organizzazione nazionale italiana della metrologia nel sito dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (<http://www.inrim.it>); vedi anche A. Calcatelli, C. Gentile, M. Ravagnan, [3] *passim*.

⁴ La condizione di Associato consente allo Stato di partecipare ai lavori della CGPM senza peraltro dover sostenere i costi di adesione che gravano invece sui Paesi membri. Per l'elenco dei Paesi membri e di quelli associati vedi ancora Capitolo Terzo, Paragrafo 3.3.3.

⁵ Come già ricordato, (vedi Capitolo Terzo, Paragrafo 3.1) la XI Conferenza Generale (1960) adottò il nome *Système International d'Unités* (abbreviato a livello internazionale in

SI), che, progressivamente aggiornato, costituisce ancora oggi il sistema raccomandato delle unità di misura.

⁶ I comitati tecnici sono formati da specialisti per i diversi settori e cioè:

- elettricità e magnetismo (CCEM, nome assunto nel 1997 dal Comitato Consultivo per l'Elettricità – CCE, costituito nel 1927);
- fotometria e radiometria (CCPR, nome assunto nel 1997 dal Comitato Consultivo per la fotometria – CCP, costituito nel 1933);
- termometria (CCT, costituito nel 1937);
- lunghezza (CCL, nome assunto nel 1997 dal Comitato Consultivo per la Definizione del Metro – CCDM, costituito nel 1952);
- tempo e frequenza (CCTF, nome assunto nel 1997 dal Comitato Consultivo per la Definizione del Secondo – CCDS, costituito nel 1956);
- radiazioni ionizzanti (CCRI, nome assunto nel 1997 dal Comitato Consultivo per i Campioni delle Radiazioni Ionizzanti costituito nel 1958);
- unità di misura (CCU, costituito nel 1964);
- massa e grandezze apparentate (CCM, costituito nel 1980);
- quantità di sostanza (CCQM, costituito nel 1993);
- acustica, ultrasuoni e vibrazioni (CCAUV, costituito nel 1997).

⁷ Si tratta del JCDCMAS (*Joint Committee for the coordination of technical assistance to Developing Countries in Metrology, Accreditation and Standardization*, Comitato Congiunto per il coordinamento dell'assistenza ai Paesi in via di sviluppo in metrologia, accreditamento e standardizzazione), del JCGM (*Joint Committee for Guides in Metrology*, Comitato Congiunto per le guide in metrologia), del JCRB (*Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM*, Comitato Congiunto delle organizzazioni regionali ed il BIPM), del JCTLM (*Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine*, Comitato Congiunto per la riferibilità in laboratori di medicina).

⁸ Nel 1973 si tiene la prima Conferenza Metrologica dell'Europa Occidentale (WEMC: *Western European Metrology Conference*); a seguito di questa, nel 1987 viene istituita EUROMET, Cooperazione europea sulla metrologia, alla quale aderiscono i Paesi della UE e dell'*European Free Trade Association* (EFTA), oltre al *Joint Research Centre* (JRC). Nel 2007 EUROMET si trasforma in una associazione, EURAMET, responsabile del Programma Europeo di Ricerca Metrologica (EMRP).

⁹ *La crescente domanda di risultati affidabili e comparabili nelle misurazioni* (traduzione dell'Autore).

¹⁰ *Anche in un mondo nel quale le politiche nazionali tendono verso la deregolamentazione, specifiche tecniche e requisiti di legge ricoprono ancora un ruolo essenziale* (traduzione dell'Autore). Cfr. CIPM, *Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM*, 2007, p.92 (reperibile al sito <http://www.bipm.org>).

¹¹ Vedi il sito <http://www.oiml.org>.

¹² Accanto alle *International Recommendations*, l'OIML può adottare *International Documents* (OIML D), che hanno carattere informativo e mirano ad armonizzare ed a stimolare le ricerche nell'ambito della metrologia legale; *International Guides* (OIML G), parimenti a carattere informativo, volte a fornire linee guida per la applicazione di certi requisiti alla metrologia legale; *International Basic Publications* (OIML B), che definiscono le regole operative delle diverse strutture della OIML (fonte: <http://www.oiml.org>).

¹³ Reperibile al sito <http://www.oiml.org>.

¹⁴ *La metrologia è la scienza della misurazione e delle sue applicazioni. La metrologia include tutti gli aspetti teorici e pratici della misurazione, indipendentemente dal campo di applicazione e dall'incertezza della misurazione stessa* (traduzione dell'autore). Si tratta peraltro della definizione di uso corrente, così come riportata anche nel *Vocabulaire International de Métrologie* (VIM), Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 2), *International Vocabulary of Metrology, Basic and General Concepts and Associated Terms* (VIM), III ed., Pavillion de Breteuil: JCGM 200:2012, punto 2.2 (reperibile al sito <http://www.bipm.org>).

¹⁵ In <http://www.oiml.org>.

¹⁶ Vedi Punto 2.2 dell'OIML D 1 (2012) (la traduzione riportata nel testo è dell'Autore).

¹⁷ *Dalla sua nascita, la misura è stata vista come una fonte di informazioni obiettive. Quando veniva usata in transazioni commerciali in cui il processo di misurazione mancava di trasparenza e c'era asimmetria di informazione tra il commerciante che provvedeva alle misurazioni e quello che le accettava (in genere l'acquirente in transazioni di vendita al dettaglio, il produttore nella vendita di prodotti agricoli e il titolare della attività economica più piccola in transazioni commerciali) era presente, tuttavia, un'ampia area per incertezze, controversie, costi di transazione che risultavano poi in una generale inefficienza del mercato* (traduzione dell'Autore). Così il *Birch Report*, che prosegue fornendo alcuni esempi tipici di transazioni che possono difettare in trasparenza:

- vendita di idrocarburi a stazioni di servizio e a conducenti di veicoli a motore;
- applicazione di tariffe telefoniche;
- vendita di legna da ardere;
- vendita di granaglie da parte di coltivatori basata su misurazioni di umidità;
- vendita di alcolici ove non siano utilizzati recipienti graduati;
- misurazioni nell'erogazione di servizi pubblici (ad esempio elettricità, acqua e gas).

¹⁸ *Le misurazioni e l'imballaggio controllato delle merci hanno generalmente rimpiazzato il numero o le misure semplici (secchio, piatto, ecc.) come base delle transazioni per un'ampia gamma di prodotti e beni di consumo. La crescita in coerenza ed attendibilità di queste misurazioni, quando adeguatamente controllate, ha notevolmente ridotto il numero di controversie e frodi ed ha aumentato l'efficienza del mercato* (*Birch Report*, traduzione dell'Autore).

¹⁹ *Il controllo metrologico assicura equi scambi commerciali, da un lato eliminando misurazioni non veritiere per ottenere vantaggi sulla concorrenza; dall'altro lato, attraverso le attività di verifica, eliminando la fabbricazione e la messa in commercio di strumenti di misura inadeguati e non rispondenti agli standard internazionali riconosciuti* (*Birch Report*, traduzione dell'Autore).

²⁰ *I Governi dei Paesi sviluppati, come pure di quelli in via di sviluppo, raccolgono una quantità significativa di denaro attraverso le imposte, dirette ed indirette, basate su misure* (*Birch Report*, traduzione dell'Autore).

²¹ *Le entrate provenienti dalla vendita a misura, sia sul mercato interno che sui mercati esteri, di merci alla rinfusa o pre-imballate è una componente significativa delle entrate di molti Paesi* (*Birch Report*, traduzione dell'Autore).

²² La disponibilità di strumenti e tecniche diagnostiche e di cura standardizzati ed affidabili

ha infatti ricadute indubbiamente positive, sottolinea il *Birch Report*, non solo sul piano sanitario della tutela della salute individuale e collettiva, ma anche su quello economico, in termini di contenimento della spesa.

²³ Secondo il *Birch Report*, l'introduzione di un sistema legale di unità di misura e di metodi di misura in ambito sanitario e della sicurezza sarebbe in grado, modificando i comportamenti delle persone, fornendo segnali di allarme, garantendo il rispetto dei requisiti di sicurezza, di ridurre in maniera significativa incidenti e malattie.

²⁴ Nel documento *Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM* (reperibile al sito <http://www.bipm.org>), al punto 2.2 si ricorda come molti Paesi in via di sviluppo non abbiano ancora aderito al SI e pertanto, non potendo dimostrare il rispetto degli standard internazionali in materia di unità di misura e di modalità di effettuazione delle misurazioni, incontrino molte difficoltà nell'esportare i propri prodotti, con conseguente indebolimento delle proprie economie. Questo, ricorda il BIPM, vale in particolare per i prodotti alimentari. Il BIPM riporta in proposito alcuni casi di prodotti rifiutati, fra cui: pesce, verdure e frutta dall'Africa verso l'Unione Europea e gli Stati Uniti; vino, pesce e gamberetti dal Cile ancora verso l'Unione Europea e gli Stati Uniti; carne di manzo e miele dall'Argentina e salmone, ostriche e medicine tradizionali dalla Cina verso molti Paesi; pollo dalla Thailandia verso l'Unione Europea. Le perdite economiche per i Paesi produttori sono rilevanti, sottolinea il BIPM, anche perché molto spesso i prodotti respinti vengono distrutti.

²⁵ *La metrologia legale è l'applicazione di una struttura di tipo normativo e sanzionatorio alla metrologia. Essa comprende tutte quelle attività relativamente alle quali sono prescritti dei requisiti legali in termini di misure, unità di misura, strumenti di misura o sistemi e metodi di misura, sia che le misurazioni siano effettuate da autorità pubbliche sia che siano condotte per conto di queste, così da garantire un adeguato livello di affidabilità nel contesto normativo nazionale* (traduzione dell'Autore).

²⁶ Il documento indicato è reperibile al sito <http://www.oiml.org>.

²⁷ Sarebbe questo il caso, ad esempio, del minuto, dell'ora e del giorno per il tempo; del grado sessagesimale ($^{\circ}$), del primo ($'$), del secondo ($''$), del gon (gon) per gli angoli piani; del litro (l o L) per il volume; della tonnellata (t) per la massa; del wattora ($W \cdot h$) e dell'elettronvolt (eV) per lavoro, energia, ecc.

²⁸ Quanto alle unità di misura non legali, il documento dell'OIML precisa che il loro utilizzo non dovrebbe essere consentito nel commercio, nelle transazioni commerciali, nella documentazione e nella pubblicità dei prodotti e dei servizi, nelle pubblicazioni e nella formazione, fatta eccezione: a) per la documentazione relativa a prodotti realizzati ed a servizi forniti anteriormente alla introduzione delle unità di misura legali; b) alla menzione di tali unità di misura, in pubblicazioni o nelle attività formative, in una prospettiva storiografica; c) nella documentazione e nelle pubblicazioni destinate a Paesi che fanno uso di tali unità di misura.

²⁹ Ancora una volta, come si vede, l'impulso a regolare da un punto di vista normativo l'uso delle unità di misura viene da esigenze legate alla necessità di favorire gli scambi economici, in questo caso a livello comunitario.

³⁰ Si tratta delle sette unità di base (metro, chilogrammo, secondo, ampère, kelvin, candela, mole). Fra le unità speciali SI viene inoltre inserito il grado Celsius ($^{\circ}C$).

³¹ Fra cui, ad es., il metro cubo pieno, lo stero, il chilogrammo forza, il chilopond, il torr, il millimetro di mercurio.

³² Fra cui, ad es., dina, erg, ångström, curie, roentgen.

³³ Si tratta delle unità del SI (metro, chilogrammo, secondo, ampère, kelvin, mole e candela), delle unità derivate SI, di unità definite in base alle unità SI ma che non sono multipli e sottomultipli decimali di queste, di unità definite indipendentemente dalle sette unità di base.

³⁴ La direttiva, a partire dal 31 dicembre 1977, vieta l'uso della denominazione «grado Kelvin» (°K), imponendo l'uso della dizione «kelvin» (K). Inoltre, dalla stessa data, vieta alcune unità speciali (ad es. il torr, il millimetro di mercurio, il cavallo vapore) e alcune unità del sistema imperiale: Chain, Furlong, Nautical Mile (in uso nel Regno Unito), Rood, Cubic Yard, Bushel, Dram, Cental, Inch of Water, Ton-Force, Foot Candle, Knot (anch'esso in uso nel Regno Unito).

³⁵ Anche qui l'elenco include alcune unità del sistema imperiale (Hand, Yard, Square inch, Square yard, Square mile, Cubic inch, Cubic foot, Cran, Grain, Stone, Quarter, Hundredweight, Ton, Pound-force, British Thermal Unit, Foot Pound-force, Therm, Horsepower, Degree Fahrenheit); unità CGS (dina, erg, poise, stoke, gal); altre unità (ångström, barn, quintale, atmosfera normale, millimetro di mercurio, stero).

³⁶ L'elenco ricomprende unità del sistema imperiale (Inch, Foot, Fathom, Mile, Square foot, Acre, Fluid ounce, Gill, Pint, Quart, Gallon, Ounce, Troy ounce, Pound) ed altre unità (fra cui curie, rem, roentgen).

³⁷ Si veda Capitolo Terzo, Paragrafo 3.1 Tabella 3.1.

³⁸ Per il significato di unità derivate vedi Capitolo Terzo, Paragrafo 3.2.2.

³⁹ Si veda Capitolo Terzo, Paragrafo 3.1 Tabella 3.2.

⁴⁰ Sono unità di misura con un campo di applicazione specifico: cartelli stradali e misurazione di distanze e velocità (Mile, Yard, Foot, Inch); birra e sidro alla spina, latte in recipienti a rendere (Pint); transazioni in metalli preziosi (Troy ounce).

⁴¹ In proposito si veda F. M. Lo Faro, [6], *passim*.

⁴² Agli inizi del XIX secolo il Sistema metrico decimale era stato adottato in quei territori che avevano subito la dominazione napoleonica, per poi essere generalmente abbandonato a favore delle antiche unità di misura dopo la Restaurazione.

⁴³ Spesso solo i catasti risultavano effettivamente organizzati sulla base del Sistema metrico decimale. Era questo il caso, ad esempio, del *Catasto Francese* (1807) del Ducato di Parma e Piacenza, o del *Catasto Gregoriano* (1833) dello Stato Pontificio.

⁴⁴ In Sardegna il Sistema metrico era divenuto obbligatorio a partire dal 1° gennaio 1846; in Liguria dal 1° marzo 1847; in Piemonte dal 1° gennaio 1850. Per una ricostruzione delle regole vigenti in materia di unità di misura nei diversi ordinamenti, compresi quelli degli Stati preunitari anteriormente alla costituzione del Regno d'Italia, anche se con qualche inesattezza, A. Martini, [7], *passim*.

⁴⁵ Si veda Anonimo, [1], per il Ducato di Modena, e V. Banzola, [2], pag.139 ss., per il Ducato di Parma.

⁴⁶ Come è noto, nel 1860 fu annessa al Regno d'Italia una parte assai consistente del territorio dello Stato Pontificio, corrispondente a Romagna, Marche, Umbria, oltre alle città di Benevento e Pontecorvo. Rimanevano fuori Roma ed il Lazio.

⁴⁷ Cfr. A. Martini, [7], alla voce *Roma*.

⁴⁸ Si veda in proposito G. Pansini, [9], pag.16, nota 73, nonché *passim* per una ampia ricostruzione delle vicende istituzionali che portarono alla annessione del Granducato di Toscana.

⁴⁹ Cfr. S. Cassese, [4], *passim*, ma spec. pag.25 ss.

⁵⁰ Parla della esigenza di soddisfare le *ambizioni mercantilistiche del nascente capitalismo italiano*, come della ragione senz'altro preminente delle scelte del legislatore post-unitario, cui non sarebbero state peraltro estranee altre preoccupazioni, peraltro funzionali alla prima, quale quella di assicurare l'ordine e la pace sociale sempre S. Cassese, [4], pag.32 ss., che ricorda, a tal proposito, le leggi sul brigantaggio e quelle in materia di ordine pubblico e di riorganizzazione dell'esercito.

⁵¹ Cfr. S. Cassese, [4], pag.25.

⁵² Sulla legge n.132 del 1861 quale tassello della unificazione economica del Regno v. anche G. Napolitano, [8], spec.pag.120 ss.

⁵³ Cfr. A. Martini, [7], alla voce *Vienna*.

⁵⁴ Si noti come l'unità di peso venga definita *gramma* e non grammo.

⁵⁵ Riferendosi ai due campioni prototipo, peraltro, l'art.3 precisava che il campione del metro assegnato all'Italia era *minore del metro internazionale di undici diecimilionesimi, a zero gradi centigradi di temperatura*, mentre il *chilogramma* era *maggiore del chilogramma internazionale di due centimilionesimi*.

⁵⁶ Conformemente a quanto già previsto dall'art.3 della legge n.6991, l'art.5 del Testo Unico ribadisce che i campioni prototipo nazionali per le misure lineari e per i pesi sono rispettivamente il metro di platino e di iridio ed il *chilogramma* di platino e di iridio assegnati all'Italia nel 1889.

⁵⁷ Prima con il R.D.18 aprile 1940, n.1359 (vedi più avanti nel testo per altri profili), poi con il decreto legislativo luogotenenziale 26 aprile 1946 n.463 e con la legge 14 febbraio 1951 n.73.

⁵⁸ La norma prevede la irrogazione di una ammenda il cui importo, originariamente fissato in una somma da 40 a 400 lire, è stato aumentato di otto volte in conformità a quanto previsto dall'art.24 del d.lgs. 9 aprile 1948, n.528.

⁵⁹ Si veda in proposito E. Protetti, C. Di Zenzo, [10], pag.221.

⁶⁰ Si noti che nell'articolo citato il simbolo di grado è posto in alto a destra del valore e il simbolo della grandezza è puntato. Qui e nel seguito, citando le leggi, riportiamo le grafie originali, anche se difformi dalla normativa attuale.

⁶¹ Si definisce pressione normale la pressione atmosferica di 1013,25 mbar = 101 325 Pa. Si noti come la definizione di pressione normale di cui all'art. 3, 3° comma, della legge 13 dicembre 1928 n.2886 sia errata in due punti; in primo luogo là dove si parla di *accelerazione di gravità uguale a 980,665 cm. sec.²*, quando è del tutto evidente che l'accelerazione di gravità avrebbe dovuto essere espressa in *cm. sec.⁻²*; in secondo luogo, là dove si afferma che *essa* (la pressione) *equivale a 1,013,250 dine per centimetro quadrato*, giacché è evidente che al posto delle due virgole si sarebbero dovuti utilizzare due punti di migliaia, in modo da avere *1.013.250 dine per centimetro quadrato*. Infatti, la virgola, nello stesso articolo, in altri numeri viene correttamente utilizzata per separare la parte intera da

quella decimale. Ciò premesso nella seguente nota 62 si riporta la definizione di cui alla legge n.2886 del 1928 nella sua formulazione originaria.

⁶² In attesa di un decreto ministeriale che indichi gli strumenti campione da impiegare, l'art.3, 2° comma, prevede che la scala termodinamica debba essere considerata come: *praticamente coincidente con la scala del termometro ad idrogeno, adoperato a volume costante, ponendo uguale a 0 gradi centigradi (0° C.) la temperatura di fusione, alla pressione atmosferica normale, del ghiaccio, alla quale temperatura la pressione dell'idrogeno deve essere uguale a quella di una colonna di mercurio dell'altezza di un metro a 0° C., ed uguale a +100° C. la temperatura del vapore saturo dell'acqua in ebollizione alla pressione atmosferica normale.* Nel 3° comma dello stesso articolo si precisa che:

La pressione atmosferica normale è la pressione esercitata da una colonna di mercurio di 760 millimetri di altezza, avente la massa di 13,595 grammi per centimetro cubo, sottoposta ad un'accelerazione di gravità uguale a 980,665 cm. sec.²; essa equivale a 1,013,250 dine per centimetro quadrato. Per quest'ultima definizione si veda nota 61.

⁶³ Si noti come nell'art.5 della legge 13 dicembre 1928 lux sia considerato sostantivo femminile, mentre nella normativa attuale esso è considerato sostantivo maschile.

⁶⁴ In attesa di un decreto ministeriale che indichi le norme da seguire per la realizzazione della lampada campione, la *candela internazionale* sarà considerata *come eguale ad 1,11 volte l'intensità luminosa definita dalla lampada campione Hefner* (art.5, 3° e 4° comma).

⁶⁵ Inteso come *flusso emesso, entro un angolo solido eguale all'unità da una sorgente luminosa puntiforme avente in tutte le direzioni l'intensità di una candela internazionale* (art.5, 5° comma).

⁶⁶ Intesa come *la illuminazione di una superficie piana la quale riceva un flusso luminoso, uniformemente distribuito, pari ad un lumen internazionale per ogni metro quadrato* (art.5, 6° comma).

⁶⁷ Vedi sopra nota 57.

⁶⁸ Come è noto, l'art.117 della Costituzione nel testo vigente anteriormente alla riforma del 2001 conteneva un elenco di materie attribuite alla competenza ripartita e concorrente dello Stato e delle regioni; le materie non incluse nel predetto elenco dovevano pertanto essere ricondotte alla competenza esclusiva del legislatore statale.

⁶⁹ Ad esempio acqua, vino, sidro, birra, olio, bevande gassate, ecc.

⁷⁰ Il d. l. n.451 del 1976 è stato in parte modificato dal d. lgs. 25 gennaio 2010, n.12, adottato in attuazione di norme comunitarie sopravvenute, a loro volta abrogatrici delle direttive del 1975.

⁷¹ Anche in questo caso, la legge n.690 è stata parzialmente modificata dal d. lgs. n.12 del 2010.

⁷² Il termine per l'attuazione della direttiva era fissato al 30 giugno 1981.

⁷³ Lo stesso art.1, al 2° comma, consente peraltro, fino al 31 dicembre 1985, l'utilizzo delle unità di misura di cui al capitolo II. Sul contenuto dei capitoli I e II del d.P.R. n. 802 vedi Capitolo Terzo paragrafi 3.1 e 3.2

⁷⁴ È peraltro fatta salva, ma solo fino al 31 dicembre 1989, la possibilità di utilizzare indicazioni plurime, costituite dalla indicazione di una delle unità di misura legali,

accompagnata da una o più indicazioni espresse con unità diverse. In tal caso l'indicazione dell'unità legale dovrà essere predominante e le dimensioni dei suoi caratteri dovranno essere almeno pari a quelle dei caratteri delle indicazioni che l'accompagnano (cfr. art.3, 4° comma).

⁷⁵ In effetti, a conferma della vigenza del Testo unico per le parti non espressamente o tacitamente abrogate, si potrebbe richiamare anche la circostanza del suo mancato inserimento nell'elenco degli atti normativi abrogati di cui al d. lgs. 13 dicembre 2010, n.212.

⁷⁶ Si veda M. Di Fabio, [5], pag.192.

⁷⁷ L'importo della sanzione è adesso da intendersi in euro. Come è noto, infatti, l'art.51 del d.lgs. 24 giugno 1998, n.213 (recante *Disposizioni per l'introduzione dell'EURO nell'ordinamento nazionale*) ha disposto la conversione in euro di tutte le sanzioni pecuniarie, penali ed amministrative, espresse in lire (con eventuale arrotondamento dell'importo risultante se, a seguito della operazione di conversione, questo dovesse contenere dei decimali).

⁷⁸ Così la sentenza 14 marzo 1997 n.61, punto 7 del *considerato in diritto*. Analogamente anche Corte costituzionale, sentenza 26 febbraio 1998 n.30 e 21 marzo 2001 n.84. Sulle norme tecniche si veda l'ampia trattazione di F. Salmoni, [11], *passim*, anche per una ricostruzione della giurisprudenza della Corte in materia, (*ivi*, pag.97 ss.).

⁷⁹ È questo il caso, ad esempio, proprio delle disposizioni che individuano e definiscono le unità di misura *legali*.

⁸⁰ Il rinvio formale si contrappone, come è noto, al c.d. rinvio *materiale* (o fisso, o recettizio), che si ha quando una disposizione rinvia a regole puntualmente identificate. Sull'utilizzo del rinvio formale (al contrario di quello materiale) come strumento di *aggiornamento* continuo dell'ordinamento giuridico alle norme tecniche elaborate da soggetti normatori esterni all'ordinamento giuridico si veda F. Salmoni, [11], p.248 ss. Si tratta di un meccanismo al quale il legislatore italiano ha fatto ricorso per la prima volta, come ricorda ancora la stessa F. Salmoni (*ivi*, p.254 ss.), con la legge n.186 del 1968, la quale, dopo aver disposto (art.1) che tutti i materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici dovessero essere realizzati a costruiti *a regola d'arte*, aveva altresì previsto (art.2) che dovesse essere considerato come costruito a regola d'arte ciò che era stato realizzato *secondo le norme del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI)*.

⁸¹ L'unica *sanzione*, se così si può chiamare, che si può ipotizzare a fronte della utilizzazione di regole metrologiche non condivise sembrerebbe costituita dal biasimo della comunità scientifica, oltre alla eventuale inaccettabilità dei risultati raggiunti.

⁸² Probabilmente è anche l'unico meccanismo ipotizzabile, a meno di non pensare ad una improbabile adesione volontaria ad un dato sistema di regole da parte di tutti i soggetti coinvolti.

4.6 Bibliografia e siti Internet.

- [1] Anonimo, *La riforma di Francesco V. Il sistema metrico decimale tra Modena e Parigi*, consultato il 15-01-2013 su <http://www.museo.unimo.it/lbo/sch10.htm>
- [2] V. Banzola (1966) – *Le antiche misure parmigiane e l'introduzione del sistema metrico decimale negli stati parmensi*, Archivio storico per le province parmensi, pagg.139 – 178.

- [3] A. Calcatelli, C. Gentile, M. Ravagnan (1984) – *Il sistema internazionale di unità di misura. Attuale organizzazione internazionale e nazionale italiana della metrologia*, monografia n. 3 della “Mostra sulla metrologia, scienza e tecnica della misura” CNR-Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti, Torino.
- [4] S. Cassese (2011) – *Fare l’Italia per costituirla poi*, consultato il 17-12-2012 su http://www.irpa.eu/wp-content/uploads/2011/06/Cassese_Fare-lItalia-per-costituirla-poi-24-11.2.11.pdf
- [5] M. Di Fabio (2007) – *Manuale di notariato*, II ed., Giuffrè, Milano.
- [6] F. M. Lo Faro, (2008) – *I sistemi di misura nel Mezzogiorno verso l’“eguaglianza”*: da due pesi e due misure al sistema metrico decimale, in “Atti del Secondo Convegno Nazionale di Storia dell’Ingegneria”, Napoli, 7-8-9 aprile 2008, consultato il 22-01-2013 su:
http://www.aising.it/II%20CONVEGNO_NAZIONALE.htm
- [7] A. Martini (1883) – *Manuale di metrologia, ossia Misure, Pesi e Monete, in uso attualmente e anticamente presso i popoli*, Torino, Loescher; edizione digitale (2003) a cura di G. Mura, Milano, Biblioteca Nazionale Braidense, consultato il 10-12-2012 su <http://www.braidense.it/dire/martini/indice.htm>
- [8] G. Napolitano (2011) – *Le norme di unificazione economica*, Riv. trim. dir. pubbl, (1), pagg. 97-126 consultato il 3-12-2012 su http://www.irpa.eu/wp-content/uploads/2011/10/Napolitanole_norme_di_unificazione_economica_RTDP_1-2011.pdf
- [9] G. Pansini (1962) – *Toscana, Introduzione*, pubblicazione degli Archivi di Stato “Gli archivi dei Governi provvisori e straordinari 1859-1861 III Toscana, Umbria, Marche. Inventario”, Roma, edizione digitale, consultato il 21-01-2013 su http://www.archivi.beniculturali.it/DGA-free/PAS/Pubblicazioni_XLVII.pdf
- [10] E. Protetti, C. Di Zenzo (2009) – *La legge notarile. Commento con dottrina e giurisprudenza delle leggi notarili*, V ed., Giuffrè, Milano.
- [11] F. Salmoni (2001) – *Le norme tecniche*, Giuffrè, Milano.
- [101] <http://www.bipm.org>
- [102] <http://www.oiml.org>
- [103] <http://www.inrim.it>
- [104] (30-01-13) http://www.inrim.it/events/wmd/conv_metro.png
- [105] (31-01-2013) http://www.bipm.org/en/bipm/site/pavillon_breteil.html
- [106] (31-01-2013) <http://www.bipm.org/en/bipm/directions.html>
- [107] (07-03-2013) GNU Free Documentation License
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Convention_du_M%C3%A8tre.png
- [108] (05-02-2013) <http://www.ps.camcom.gov.it/regolazione-del-mercato/metrologia-legale/compiti-e-storia/MET-03-00-RD-23-08-1890-N.7088.pdf>
- [109] (05-02-2013) http://www.inrim.it/res/TF/fontana_i.shtml
- [110] (05-02-2013) www.inrim.it/events/docs/Olimpiadi_fisica_08_04_2012.pdf
- [111] (05-02-2013) <http://www.inrim.it/ar2005/index.html>

Finito di stampare nel giugno 2013
presso Copisteria San Gallo, Lastra a Signa – Firenze (Italia)

ISBN: 978-88-95597-16-4