MARGHERITA PLASSA*

Un contributo della chimica alla metrologia del XVIII e XIX secolo: i prototipi del metro e del kilogrammo in lega platino-iridio**

A contribution of chemistry to XVIII and XIX century metrology: the metre and kilogram prototypes in platinum-iridium alloy.

Summary – The base units of the Metric System, the metre and the kilogram, were derived from natural constants (the meridian length and the density of water) but for practical reasons these units had to be represented by material standards. Following a proposal by Lavoisier platinum standards were fabricated at the end of the XVIII century by M.E. Janety, a renowned French goldsmith who had devised a procedure to obtain a malleable form of the recently discovered and practically infusible metal. He fabricated the metre and the kilogram known as standards of the Archives of France, from which many European countries, when adopting the metric system, derived their own standards; soon it became clear that international standards were necessary to achieve uniformity of measurements. The International Metre Commission (1870) took into consideration different alloys and, under the influence of H. Sainte-Claire Deville, chose an alloy of platinum with 10% iridium for the fabrication of the international prototypes of the metre and the kilogram. The new standards – together with several copies intended for allocation as national standards – were fabricated following a melting and refining procedure patented by Deville by which high purity was achieved, and were entrusted in 1889 to the recently established Bureau International des Poids et Mesures. The platinum-iridium prototypes proved to be an excellent choice for their stability; the metre acted as the international standard for seventy years and the unit of mass is even today defined as the mass of the prototype kilogram because by no other definition the same accuracy level may at present be achieved.

* Istituto di Metrologia «G. Colonnetti» del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Strada delle Cacce 73, 10135 Torino.

** Relazione presentata al IX Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (Modena, 25-27 ottobre 2001).

I sistemi di misura dall'antichità al XVIII secolo

I sistemi di misura primordiali erano fondati su accadimenti naturali, come eventi astronomici per la misura del tempo (giorno, mese lunare, anno) e parti del corpo umano per le misure di lunghezza (braccio, piede). Ma da quando si instaurarono sistemi di misura strutturati e collegati a un'autorità statale le unità di lunghezza e di massa furono in generale basate su campioni materiali, anche se questi erano spesso derivati da unità naturali, come appare evidente dai nomi delle unità (cubito, pollice, carato, …). I campioni erano costituiti da materiali il più possibile inalterabili, come bronzo o pietra, e conservati in luoghi significativi, rappresentativi delle autorità civili o, talvolta, religiose; dove esisteva qualche aspetto di democrazia, per esempio nei liberi comuni, i campioni erano anche accessibili a tutti. Due tendenze opposte si verificavano nello stesso tempo, con la prevalenza dell'una o dell'altra in momenti diversi: l'una che tendeva all'uniformità delle unità e all'adozione di un campione unico almeno entro uno stato, l'altra che portava a istituire tutta una serie di unità differenti sia da un luogo all'altro, sia per la misura delle varie merci, sia diverse per la vendita e per l'acquisto.

In Europa la tendenza all'unificazione fu prevalente nell'epoca dell'impero romano, mentre la tendenza opposta si impose in epoca medioevale e non potè più essere vinta successivamente nemmeno all'interno di stati fortemente centralizzati come la Francia. Nel XVIII secolo le unità di misura (un migliaio nella sola Francia) rappresentavano pertanto un guazzabuglio che era di notevole ostacolo sia al commercio sia alla comunicazione di risultati scientifici. Accanto a tentativi ricorrenti da parte delle autorità di mettere ordine nella congerie delle unità di misura si verificò un interesse degli scienziati e degli illuministi verso la creazione di un sistema organico e razionale di unità di misura, che sfociò poi nella realizzazione, alla fine del XVIII secolo, del Sistema Metrico Decimale (SMD) il quale riuscì con il tempo ad imporsi evolvendosi nell'attuale Sistema Internazionale delle Unità (SI).

Fra i precursori del SMD si possono citare [1, 2]:

° Stevino, che nel 1585 propose un sistema decimale per pesi, misure, monete,
° Mouton, che nel 1670 propose come unità di base per un sistema di unità di misura la lunghezza di un minuto di cerchio massimo terrestre,
° Burattini, che nel 1675 propose come unità di base il «metro cattolico» (ossia universale), definito come la lunghezza di un pendolo che batte il secondo, dal quale si sarebbero derivate sia l'unità di volume sia quella di massa («peso cattolico», cioè la massa di un determinato volume di acqua).

I precursori e poi i fondatori del sistema metrico vollero quindi scegliere delle unità (metro e kilogrammo) basate su costanti naturali (il meridiano terrestre e la densità dell'acqua al suo punto di massimo), per dare al sistema, alla cui realizzazione veniva associata una forte componente ideale, un'autorevolezza universale non legata a vicende politiche. Fu la rivoluzione francese a rendere possibile la realizzazione effettiva del sistema metrico, istituito dapprima in Francia, non senza ripensamenti, e quindi esteso nel secolo successivo, tra vicende travagliate, a buona parte d'Europa.

La realizzazione pratica delle unità del sistema metrico

I protagonisti della rivoluzione francese, in particolare Talleyrand e Condorcet, misero mano con grande decisione alla riforma del sistema delle unità di misura, e dopo qualche discussione iniziale scelsero come unità di base il quarantamilionesimo del meridiano terrestre, decidendo nel 1791 l'effettuazione della misura di un arco di meridiano terrestre nel tratto da Dunkerque a Barcellona e di un volume definito di acqua che avrebbe costituito l'unità di massa (allora si usava il termine peso). Le misure dell'arco di meridiano (circa 10°) ad opera di Delambre e Méchain durarono dal 1792 al 1798, mentre le pesate per l'unità di massa vennero effettuate da Lavoisier e Haüy nel 1793 e riprese da Lefèvre-Gineau e Fabbroni tra il 1795 e il 1799 [3], utilizzando dei campioni di due unità in uso a Parigi, la tesa e il peso di marco rispettivamente.

Fu presto chiaro che la realizzazione pratica delle nuove unità richiedeva dei campioni materiali di riferimento, e già nel 1793 venne realizzato un metro provvisorio, basato sul risultato delle misure di un arco di meridiano effettuate in Francia nel 1739-40 da Cassini e da Lacaille, cui venne affiancato un «grave» basato sulle misure di Lavoisier e Haüy. I rispettivi campioni, in leghe di rame, furono fabbricati da Lenoir e da Fourché e Fortin. Lavoisier, che si era molto interessato alle proprietà e alla lavorazione del platino, aveva proposto di utilizzare il platino per la fabbricazione dei campioni delle unità del nuovo sistema, e nel 1795 venne affidato a Janety l'incarico di costruire quattro campioni in platino per ciascuna delle due nuove unità. La fabbricazione e l'aggiustamento finale (quest'ultimo ad opera di Lenoir e Fortin) del metro e del kilogrammo vennero completati nel 1799, quando erano ormai disponibili le misure sia dell'arco di meridiano sia della massa di un decimetro cubo di acqua distillata al massimo della sua densità (cioè alla temperatura di 4 °C); uno ciascuno di questi campioni, tuttora esistenti, vennero depositati presso gli Archivi di Francia, divenendo noti come il metro e il kilogrammo degli Archivi. Copie in rame di tali campioni vennero distribuite alle prefetture per la diffusione delle nuove misure in tutta la Francia.

Nei pochi anni trascorsi erano avvenuti fra i tanti accadimenti l'arresto e l'esecuzione di Lavoisier, il suicidio di Condorcet, la fuga di Janety, le peripezie di Delambre e Méchain che effettuavano le loro misure geodetiche in una Francia sconvolta da pericolosi sommovimenti [4, 5], ma la determinazione di costruire il nuovo sistema di misura non venne meno e in un tempo così breve si addivenne, con il contributo di molti scienziati e tecnici, alla realizzazione del sistema e dei campioni delle unità. La resistenza alla sua applicazione fu tuttavia pesante, e tra progressi e ripensamenti soltanto nel 1840 il SMD divenne infine l'unico sistema di misura ammesso in Francia, dedicato, come aveva voluto la Convenzione nel 1793, «À TOUS LES TEMPS, À TOUS LES PEUPLES».

Il platino e la figura di Marc Etienne Janety

Il platino [6] non era conosciuto nel mondo antico, e la prima menzione la dobbiamo a Giulio Cesare Scaligero, che nel 1557 descrisse una sostanza metallica infusibile proveniente dal Nuovo Mondo. Veniva chiamata *platina*, da *plata*, argento, come termine dispregiativo; si trovava mista all'oro in depositi alluvionali della Colombia ed era ritenuta priva di valore, anche perché conteneva un notevole tenore di impurezze ferrose che ne rendevano assai difficoltosa la lavorazione. Ma furono le notizie pubblicate da Antonio de Ulloa nel 1748, nella sua relazione sulla spedizione dell'Accademia delle Scienze francese nell'America meridionale per determinare la lunghezza di un grado di meridiano all'altezza dell'equatore, a suscitare l'interesse degli scienziati europei. Nel 1751 Scheffer scoprì che si può fondere il platino se gli si aggiunge una piccola quantità di arsenico, e nel 1758 Macquer e Baumé dimostrarono che il platino è fusibile con l'aiuto di un potente specchio ustorio, che rappresentava allora il mezzo con cui si potevano raggiungere le temperature più alte. Gli studi continuarono sia su materiale contrabbandato (allo scopo di falsificare oggetti e monete d'oro) sia su campioni concessi dalla Spagna agli scienziati che ne facevano richiesta; il platino venne riconosciuto come metallo e si dimostrò che lo si può forgiare. Lavoisier si interessò a questo metallo per la sua inalterabilità e per le possibilità che ne nascevano per un utilizzo in chimica, riuscì a fonderlo usando aria deflogisticata (ossigeno) ma per fonderne quantità maggiori si scontrò con il problema del refrattario di cui non potè venire a capo; volse quindi il suo interesse all'opera di Janety.

Marc Etienne Janety (1739-1820/3) era un mastro orafo di origine italiana (il suo cognome lo si trova trascritto in vari modi, da Jeannetty a Zanetti o Giannetti) che a partire dal 1786 iniziò a lavorare il platino con il processo all'arsenico principalmente per farne gioielli, ma anche tabacchiere e crogioli; riuscì ad ottenerlo in forma malleabile e a lavorare oggetti di dimensioni piuttosto grandi, alcuni dei quali furono presentati nel 1790 all'Accademia delle Scienze da Lavoisier. Janety, che nel 1789 era stato nominato orafo del re, continuò in modo appassionato a perfezionare il suo metodo per lavorare il platino, anche a danno della propria salute.

Il procedimento adottato era il seguente: dopo un accurato lavaggio per eliminare al meglio le tracce di sabbia, mescolare 1 parte di metallo con 2 parti di arsenico bianco (cioè acido arsenioso) e con 2/3 di parte di carbonato di potassio, fondere in un crogiolo ottenendo l'eutectico con 13% di arsenico, che ha punto di fusione 597 °C; rifare tutto il procedimento per eliminare il ferro, ripetendolo fino a quando non si riscontra più magnetismo; eliminare l'arsenico facendolo volatilizzare a una temperatura vicina ma inferiore a 500 °C. Indi portare ad alta temperatura, lavare con acido nitrico, lavare con acqua e infine forgiare al calor bianco. Nel prolungato trattamento a 500 °C si sviluppavano vapori velenosi e le descrizioni contemporanee di Janety avvolto da fumi arseniosi nel suo laboratorio sono piuttosto impressionanti.

Nel 1793 Janety, sentendosi in pericolo nella sua qualità di orafo del re, lasciò Parigi e si recò in incognito a Marsiglia, guadagnandosi da vivere con la fabbricazione di pezzi metallici per orologi, ma nel 1795 venne richiamato a Parigi dalla Commissione dei Pesi e Misure e incaricato di fabbricare i prototipi che divennero poi i campioni degli Archivi. Dopo la rivoluzione egli continuò a lavorare il platino per creare gioielli e apparecchi chimici, ricevendo per questo una medaglia d'argento nel 1802, e si mise in pensione intorno al 1812, dopo essere arrivato a fabbricare oggetti sempre più difficili, come ad esempio un sottile contenitore con un diametro di 189 mm e una storta a collo ritorto della capacità di un litro.

Il metro e il kilogrammo degli Archivi, ritenuti all'epoca composti solo di platino con poche impurezze, dal momento che non erano ancora stati scoperti gli altri metalli affini, erano rispettivamente un campione a facce e un cilindro all'incirca equilatero, vale a dire

— una barra di sezione $25{,}3 \times 4{,}0\ mm^2$ e lunghezza 1 m, lunghezza definita dalla distanza fra le facce terminali, piane e parallele

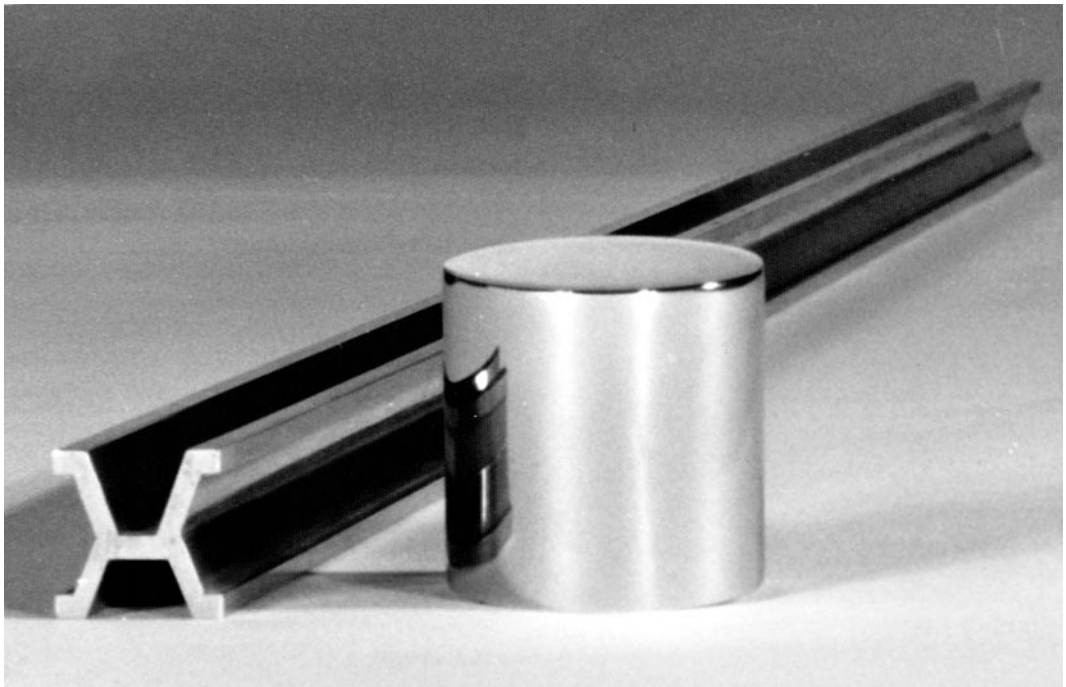

Fig. 1. Kilogrammo prototipo internazionale, campione dell'unità di massa dal 1889 ad oggi, e metro prototipo internazionale, campione dell'unità di lunghezza dal 1889 al 1960, entrambi in lega platino-iridio, conservati al Bureau International des Poids et Mesures (Sèvres).

Fig. 2. Campione della libbra del Piemonte, equivalente a 0,369 kg, realizzata per l'Accademia delle Scienze di Torino in una lega rame-zinco-piombo-stagno da Gian Pietro Matthey, Ispettore generale dei Pesi e delle Misure, e tarata rispetto a un kilogrammo provvisorio da Lefèvre-Gineau e da Vassalli-Eandi a Parigi contemporaneamente all'effettuazione delle pesate per il kilogrammo degli Archivi.

— un cilindro retto di diametro 39,0 mm e altezza 39,5 mm, levigato mediante polveri abrasive e con spigoli leggermente arrotondati [7], avente quindi un aspetto molto simile al prototipo internazionale del kilogrammo in vigore dal 1889 (fig. 1).

Le forme semplici e razionali scelte per i due campioni indicano una consapevolezza dell'importanza della forma ai fini della stabilità dei campioni nel tempo; a questo proposito è istruttivo confrontare il kilogrammo degli Archivi con la coeva libbra campione realizzata in Piemonte e attualmente in possesso dell'Accademia delle Scienze di Torino [8], per la quale furono evidentemente adottati vecchi criteri (fig. 2): si tratta infatti non solo di un campione in lega di rame, ma avente una forma complessa, con il pomello riportato, spigoli vivi e scritte profondamente incise.

Gli sviluppi della metallurgia del platino e le ricerche di Henry Sainte-Claire Deville

A partire dal 1803 si cominciarono a individuare gli altri metalli del gruppo del platino, dapprima l'iridio, poi l'osmio, il palladio, il rodio e infine, nel 1844, il rutenio, mentre dal 1806 divenne disponibile un'altra fonte di platino, con la scoperta dei giacimenti degli Urali; nello stesso tempo venivano messi a punto vari altri metodi per la raffinazione del platino che condussero infine all'abbandono del trattamento con l'arsenico, a favore di procedimenti che comprendevano serie di dissoluzioni in acqua regia e di precipitazioni che permettevano di separare i vari metalli. Si trattava in ogni caso di procedimenti basati sulla metallurgia delle polveri che davano origine a una spugna di platino la quale poteva poi essere forgiata a caldo.

Fu Sainte-Claire Deville (1818-1881) che pervenne a mettere a punto un procedimento mediante il quale si potevano fondere quantità notevoli di platino [6]. Deville, figlio di un armatore, era nato nelle Isole Vergini, ma aveva studiato medicina e scienze a Parigi, divenendo poi professore prima a Besançon e dal 1851 a Parigi. Nel periodo 1855-60 lavorò con J.H. Debray alla metallurgia del platino, dapprima concentrandosi sulla generazione di alte temperature e poi sviluppando un forno a gas costituito da blocchi di calce e alimentato con ossigeno, mediante il quale si riusciva a ottenere platino fuso e raffinato e ben malleabile; mise inoltre a punto un metodo di analisi per il platino. Nel 1857 il procedimento di fusione fu coperto da un brevetto che venne acquistato per l'Inghilterra da George Matthey, di cui si parlerà più avanti. Deville era un chimico molto versatile e non operava solo nella metallurgia: tra i suoi principali lavori si possono citare, oltre alle ricerche sulla produzione di sodio, alluminio, magnesio e sulla cristallizzazione di boro e silicio, la scoperta del toluene e del pentossido di azoto, la determinazione di densità di vapori fino a 1400 °C e di dissociazioni ad alte temperature e gli studi sulle reazioni reversibili.

Quanto al platino gli sviluppi del XX secolo, come la scoperta dei giacimenti sudafricani e delle proprietà catalitiche, non ebbero in pratica a che fare con la metrologia.

Il sistema metrico decimale in Europa nel XIX secolo e la Commissione Internazionale del Metro

Il SMD venne adottato in generale dagli scienziati, ma anche come sistema di misura ufficiale in vari paesi d'Europa; fra questi il regno di Sardegna lo adottò nel 1845. Di fatto i prototipi degli Archivi di Francia assunsero la funzione di campioni internazionali; alla Francia pervenivano dalle istituzioni dei vari paesi richieste di avere copie dei prototipi. Queste venivano sì fornite, si trattava però di copie eseguite da tecnici diversi, in tempi diversi, con materiali e procedure differenti: non è difficile immaginare come questa situazione potesse condurre in breve all'esistenza di campioni che presentavano differenze notevoli fra loro.

La questione apparve evidente verso la metà del secolo con la realizzazione delle grandi campagne geodetiche in Europa, quando i geodeti non riuscivano a raccordare le loro misure alle frontiere, e ne attribuirono giustamente la causa all'uso di campioni del metro diversi nei vari paesi. Nel 1867 la Conferenza Internazionale Europea di Geodesia chiese che venisse organizzato un interconfronto di metri campione, che venisse fabbricato un campione europeo del metro, che venisse creato un Ufficio Europeo di Pesi e Misure, ed ebbe l'appoggio di alcune prestigiose Accademie delle Scienze. In risposta a tali sollecitazioni nel 1869 il governo francese di Napoleone III promosse e istituì la «Commissione Internazionale del Metro», con rappresentanti di 28 paesi d'Europa e d'America.

La commissione (CIM) si riunì per la prima volta nel 1870 – proprio durante la guerra franco-prussiana – e stabilì di costruire nuovi prototipi sia del metro sia del kilogrammo, che dovevano essere il più possibile uguali ai prototipi degli Archivi, in modo da assicurare al meglio la continuità. Per questa stessa ragione, e non senza rimpianto, si decise di definire le unità in base ai prototipi, abbandonando il legame con le costanti naturali da cui era partito il SMD. Fu in particolare la sezione francese della CIM, di cui Deville fu un membro particolarmente attivo, a lavorare intensamente; fra l'altro vennero analizzate le leghe utilizzate per i campioni degli Archivi, e si scoprì che il platino usato era in realtà una lega ternaria Pt-Ir-Rh. Per i nuovi prototipi vennero prima proposti diversi metalli, che dovettero essere scartati per diverse ragioni: durezza insufficiente (Au e Pt), costo e difficoltà di fusione (Ir), insufficiente inalterabilità. Furono quindi prese in considerazione svariate possibili leghe, e non mancarono, soprattutto per il prototipo del kilogrammo, proposte del tutto diverse, come l'utilizzo di cristalli naturali di quarzo.

Infine, e soprattutto sotto l'influenza di Sainte-Claire Deville, vi fu convergenza sulle leghe di platino e in particolare sulla lega platino-iridio al 10% di iridio [9], per la quale vennero studiate fra l'altro le proprietà meccaniche, l'effetto delle impurezze metalliche e gassose, il coefficiente di dilatazione, le tecniche di fusione e i metodi di analisi. Vari dubbi vennero successivamente avanzati e superati, ma il più grave problema riguardava la difficoltà tecnica di fondere un grande lingotto (circa 250 kg) di sufficiente omogeneità poiché se ne volevano ricavare, oltre ai prototipi internazionali, tutti i prototipi del metro e del kilogrammo da attribuire ai vari stati aderenti.

I successi della metallurgia del platino erano stati dimostrati fra l'altro alla grande esposizione di Parigi del 1867 dalla grande quantità (oltre 400 kg) di oggetti in platino esposti dalla ditta inglese Johnson Matthey and Co. George Matthey (1825-1913), entrato nella ditta Johnson all'età di tredici anni come apprendista e uscitone ottantaquattrenne come socio e presidente, aveva applicato su scala industriale il procedimento di Deville e Debray (non senza l'aiuto e il consiglio dello stesso Deville) fin dal 1862, riuscendo fra l'altro a gettare un lingotto di platino da 100 kg.

Deville propose di realizzare in Francia la fusione del grande lingotto; dopo due fusioni preparatorie, l'una nel suo laboratorio all'École Normale e l'altra presso

il Conservatoire National des Arts et Métiers, ambedue avvenute alla presenza del presidente della repubblica francese, il 13 maggio 1874 fu fatta con grande solennità la «grande fusione». Purtroppo la lega non riuscì perfettamente: infatti non soddisfaceva le specifiche severe che erano state stabilite – in base ai suggerimenti dello stesso Deville – avendo una densità un po' più bassa (21,1 g/cm^3) e un tenore di impurezze metalliche un po' più alto (2,9%), e i metri preparati con tale lega non furono accettati dal Comitato Internazionale dei Pesi e Misure, che nel frattempo era stato costituito in base al trattato internazionale detto «Convenzione del Metro», firmato nel 1875 [10], trattato che istituì anche il laboratorio metrologico internazionale, cioè il Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

Dalla Convenzione del Metro al Sistema Internazionale delle Unità

Fu quindi affidata alla ditta Johnson Matthey la preparazione di alcuni lingotti, da cui furono ricavati i prototipi internazionali del metro e del kilogrammo e i vari prototipi nazionali; la realizzazione non avvenne senza difficoltà e problemi, relativi sia alla preparazione di iridio in una quantità mai tentata prima, sia alla purezza della lega e alla presenza di microcavità, cui si aggiunse la difficoltà della lavorazione dei metri, per i quali era stata predisposta una forma complessa allo scopo di eliminare la tendenza all' incurvamento manifestata dal metro degli Archivi. Infine nel 1889 i prototipi internazionali del metro e del kilogrammo, rappresentati nella figura 1, furono, nel corso della prima solenne riunione della Conferenza Generale dei Pesi e Misure [11], affidati al BIPM, mentre i campioni nazionali furono assegnati a sorte ai diciassette stati aderenti alla Convenzione del Metro. Nel tempo trascorso da allora i prototipi internazionali ebbero modo di rivelare le loro straordinarie qualità.

Nel corso del XX secolo si aggiunsero alle unità del SMD, oltre all'unità di tempo già in uso, altre unità per grandezze derivate di natura meccanica e le nuove unità create per le grandezze elettromagnetiche, fino ad addivenire alla promulgazione, nel 1960, di un unico sistema coerente di unità di misura, cioè il Sistema Internazionale delle Unità (SI), successivamente completato nel 1971 con l'inserimento delle unità di natura chimica (mole e unità derivate).

Il sistema SI, basato su sette unità di base e sulle unità derivate da queste, abbandonò nel 1960 la definizione di metro come distanza fra due tratti incisi sul prototipo, utilizzando invece come riferimento prima una lunghezza d'onda e successivamente (dal 1983) il tragitto percorso dalla radiazione luminosa in un tempo definito. Le ragioni per cui fu abbandonata la definizione del 1889 erano di tipo fisico, poiché la precisione geometrica dei tratti non era sufficiente a rispondere ai nuovi bisogni di accuratezza; per giunta la nuova definizione legava nuovamente l'unità a una costante naturale. Quasi un altro mezzo secolo è invece passato senza che sia intervenuto un mutamento nella definizione dell'unità di massa.

Il kilogrammo prototipo internazionale oggi

A distanza di più di un secolo (e quale secolo, dal punto di vista del progresso scientifico) il kilogrammo prototipo è ancora oggi il campione dell'unità di massa nel SI; la situazione non soddisfa i metrologi, che vorrebbero definire anche l'unità di massa in funzione di una costante universale, ma nonostante varie proposte e ricerche non è stato finora possibile suggerire una nuova definizione che garantisca un'accuratezza almeno pari a quella raggiunta utilizzando il prototipo. Le strade attualmente aperte per ridefinire l'unità di massa sono tre: come derivata da un'unità elettrica, come la somma delle masse di un numero definito di atomi di silicio in un monocristallo avente composizione isotopica nota, come la somma delle masse di un numero definito di atomi di oro accumulati con un procedimento di spettrometria di massa. Nessuna di queste vie, due delle quali presentano problemi di natura squisitamente chimica, appare attualmente prossima al punto di arrivo.

La definizione in vigore, «l'unità di massa è la massa del kilogrammo prototipo internazionale», equivale a una definizione del tipo «l'unità di massa è la somma delle masse di un numero A di atomi di platino e di un numero B di atomi di iridio confinati in un solido policristallino denominato kilogrammo prototipo internazionale; i numeri A e B sono conosciuti in modo soltanto approssimativo ma permangono invariati nel tempo». Essa nasconde nella sua apparente banalità alcune ipotesi non banali che si possono esplicitare:

— il prototipo è composto di atomi di platino e di iridio con pochi atomi estranei
— la massa degli atomi di platino e di iridio è costante
— gli atomi di platino e di iridio non reagiscono con le sostanze dell'ambiente circostante
— quindi rimangono confinati nel solido
— e non fissano chimicamente atomi estranei
— le impurezze metalliche sono pochissime e sono anch'esse poco reattive
— le forze che tengono uniti gli atomi nel reticolo cristallino sono sufficientemente grandi da consentire un utilizzo, limitato e curato in modo idoneo, senza che atomi metallici vengano rimossi
— le impurezze adsorbite sulla superficie non danno luogo a fluttuazioni di massa durante le pesate
— le impurezze gassose contenute nel reticolo sono in quantità sufficientemente ridotta da dare luogo a una perdita trascurabile di massa per degassamento
— le impurezze che si accumulano negli anni per adsorbimento sulla superficie esterna possono essere rimosse con un procedimento di pulizia riproducibile e che non rimuove atomi metallici.

Nel tempo trascorso dalla realizzazione del prototipo è stata soprattutto l'ultima di tali ipotesi a creare qualche problema; la verifica di stabilità si basa sul confronto per pesata tra le molte decine di kilogrammi campione – in massima parte campioni nazionali (fig. 3) – fabbricati in tempi diversi sempre dalla ditta Johnson

Fig. 3. Kilogrammo prototipo n. 62 in lega platino-iridio, realizzato nel 1974, campione nazionale di massa italiano dal 1993, conservato all'Istituto di Metrologia «Gustavo Colonnetti» del CNR, Torino.

Matthey e rifiniti e aggiustati dal BIPM con una tecnica evolutasi nel tempo fino all'attuale tornitura con utensile di diamante. L'ultima verifica dei kilogrammi campione nazionali, svoltasi intorno al 1990, ha fatto sorgere qualche dubbio sul livello di stabilità a lungo termine del prototipo [12], che potrebbe presentare una deriva massima dell'ordine di $5 \cdot 10^{-9}$ all'anno. Attualmente non esiste alcun metodo indipendente di verificare la stabilità dei kilogrammi campione a questo livello, e, nell'attesa che gli sviluppi della ricerca portino alla messa a punto di un metodo di verifica della costanza della massa e in prospettiva rendano attuabile una nuova definizione, continua la stupefacente longevità del campione di massa realizzato dai metallurgisti del XIX secolo.

BIBLIOGRAFIA

[1] MOREAU H., *Le système métrique*, Chiron, Paris 1975.
[2] LESCHIUTTA S., LESCHIUTTA M., «Giornale di Fisica», XXI (1980), 306-322.
[3] MARQUET L., «Bulletin BNM», 50 (1982), 73-89.
[4] DUMAS P.G., *L'épopée du mètre à travers la découverte du monde*, L'Harmattan, Paris, 2001.
[5] GUEDJ D., *Il meridiano*, Longanesi, Milano 2001.
[6] MCDONALD D., HUNT L.B., *A history of platinum and its allied metals*, Johnson Matthey, London, 1982.
[7] MARQUET L., «Revue de Métrologie», 66 (1988), 505-512.
[8] PLASSA M., *Taratura dei campioni di massa del 1798 «Livre de Piemont» e «Once de Piemont»*, Rapporto tecnico IMGC P65, 1979.
[9] PLASSA M., in *Basic metrology and application*s, Levrotto e Bella, Torino, 1995, 29-34.
[10] *Convention*, in *Documents diplomatiques de la Conférence du Mètre,* Imprimerie National, Paris, 1875.
[11] *Comptes rendus des séances de la 1e CGPM*, CIPM, Paris, 1889.
[12] QUINN T.J., «IEEE Transactions Instr. Meas.», 40 (1991), 81-85.