

FISICA/ MENTE

PESI E MISURE

Bureau International des poids et mesures

Storia del sistema metrico decimale dalla Rivoluzione Francese al 1889

Roberto Renzetti

INTRODUZIONE

Uno dei *prodotti* più importanti che la Rivoluzione Francese ci ha regalato è stato il Sistema Metrico Decimale. Si tratta di un'impresa gigantesca che si estendeva sia sul fronte d'uso, del commercio, sia su quello politico, riuscire ad imporre un qualcosa che suonava interferire negli usi e costumi millenari non già di un popolo, come il francese, ma della miriade di contrade, paesini, regioni pur facenti parte della Francia. Provo a fare qualche esempio riferito a regioni italiane per capire fino in fondo la grande rivoluzione del sistema metrico.

In Piemonte *'n tir da sciopp* corrisponde ad una lunghezza di 600 metri; *'n tir da spu* corrisponde a 4,5 metri; *na branca* ad 1,5 metri. In Lombardia *una gettata* equivale a 5,222220 metri ed *un trabucco* equivale alla metà. In Veneto *la canna* composta di 8 palmi aveva valore di 2,109360 metri; *la pertica* (veronese), detta anche *cavezzo* valeva 2,057489 metri. In Liguria vi era sia *la canna* fatta di 10 palmi che equivaleva a 2,49095 metri, sia *la cannella* fatta di 12 palmi paria 2,98914 metri. In Toscana *il doppio braccio* equivale a 1,24 metri. In Emilia Romagna il *braccio agrimensorio* valeva 0,5309 metri. Nel Lazio (Roma) *una catena* composta da 10 *staioli* corrispondeva a 12,84675 metri. In Campania *una canna*, suddivisa in 8 palmi, valeva 2,10936 metri. In Sicilia vi era *la Canna siciliana* pari a 2,0647824 metri che aveva moltissimi multipli e sottomultipli.

ANTICHE MISURE DI SUPERFICIE E LORO EQUIVALENTE IN METRI QUADRATI

Le sole misure da adottarsi per le superfici sarebbero le metriche e cioè: Metro quadrato = (mq.) - Ara (a) = mq. 100 - Ettaro (ha) = mq. 10.000

*Ogni provincia ha misure diverse che conviene conoscere:
diamo il ragguaglio in misure ufficiali.*

LOCALITÀ	Vecchie misure	Ragguaglio in m ²	LOCALITÀ	Vecchie misure	Ragguaglio in m ²
Alessandria . . .	Moggio g.	4751,96	Carrara . . .	Quartiere	1278,77
	Moggio p.	3143,97	Milano . . .	Pertica	654,51
Casale Monferr. .	Trabucco	8,43	Lodi . . .	Pertica	716,52
Novi Ligure . . .	Pertica	783,86	Modena . . .	Biolca	2836,47
Tortona . . .	Pertica	654,52	Napoli . . .	Moggio	3333 —
Ancona . . .	Canna q.	16,77	Novara . . .	Pertica	654,51
Senigallia . . .	Soma	12479,32	Padova . . .	Campo	3862,57
Arezzo . . .	Stajolo	1750,10	Palermo . . .	Bisaccia	4365,64
Ascoli Piceno . .	Rubbio	12313,49		Tomolo	1091,41
Avellino . . .	Moggio	4100 —	Parma . . .	Biolca	3081,45
Bari e Barletta .	Versura	12345 —	Pavia . . .	Pertica	769,79
Belluno . . .	Campo	3778,75	Mortara . . .	Giornata	3810,39
Benevento . . .	Tomolo	3085 —	Perugia . . .	Mina	4459,46
Bergamo . . .	Pertica	662,30	Pesaro . . .	Canna q.	27,26
Bologna . . .	Tornatura	2080,43	Urbino . . .	Coppa	2824,39
Imola . . .	Tornatura	1933,01	Piacenza . . .	Pertica	762,01
Brescia . . .	Piò	3255,39	Pisa . . .	Moggiola	13488,51
Cagliari . . .	Starello	3986,75		Stiuro	562,02
Catanzaro . . .	Tomolata	3080,25	Potenza . . .	Versura	12345 —
Chieti . . .	Tomolo	3244 —	Ravenna . . .	Tornatura	3417,66
Como . . .	Pertica	703,63	Faenza . . .	Tornatura	2301,80
Cremona . . .	Pertica	808,04	Lugo . . .	Tornatura	1681,42
Crema . . .	Pertica	762,73	Reggio Emilia .	Biolca	2922,25
Ferrara . . .	Biolca	6523,93	Roma . . .	Rubbio	18484,38
	Tornatura	2348,64		Quarta	4621,09
Argenta . . .	Tornatura	2862,57	Rovigo . . .	Campo	4464,40
Cento . . .	Tornatura	2263,31	Salerno . . .	Moggio	3789 —
Firenze . . .	Q. di 10 tav.	3406,19		Tomolo	4028 —
	Stiuro	525,01	Sassari . . .	Starello	1993,37
	Stajo	1703 —	Siena . . .	Stajo	1300,91
Foggia . . .	Versura	12345 —	Montepulciano .	Stajo	1703,10
Forlì . . .	Tornatura	2383,45	Sondrio . . .	Pertica	688,07
Cesena . . .	Tornatura	2899,52	Teramo . . .	Tomolo	4000 —
Rimini . . .	Tornatura	2947,92	Torino . . .	Giornata	3810,39
Genova . . .	Cannella q.	8,86		Tavola	38,10
Gorizia . . .	Campo	3650 —	Aosta . . .	Seteur	2803,50
Grosseto . . .	Stajo	1300,90	Trento . . .	Pertica qt.	3,60
	Moggio	31221,82		Iugero	5754 —
Lecce . . .	Versura	12345 —		Stajo	845 —
Brindisi . . .	Tombo br.	8575 —	Trieste . . .	Iugero	5755 —
Taranto . . .	Tomolo	6813 —	Treviso . . .	Campo	5204,69
Livorno . . .	Pertica	8,52	Udine . . .	Zuoia g.	5217,01
Lucca . . .	Coltra	4009,94		Zuoia p.	3505,83
Macerata . . .	Modiolo	3119,83	Venezia . . .	Campo	3656,60
Mantova . . .	Biolca	3138,59	Verona . . .	Campo	3047,94
Massa . . .	Stajo	1198,60	Vicenza . . .	Campo	3862,57

Nella figura sono riportate alcune delle misure di superficie utilizzate in passato (e non solo) in Italia. Si può notare, ad esempio, che allo stesso nome spesso corrispondono misure diverse.

Posso anche fermarmi non prima però di osservare alcune cose:

- gli esempi forniti sono solo un campione minimo delle misure utilizzate che erano migliaia (tra l'altro cambiando nei secoli).
- ciò che ho fornito per regione non era in uso nell'intera regione ma solo in alcune città o in una sola città, variando spesso da paese a paese, anche se confinante.
- ho solo fornito alcune unità di misura in uso vicine al metro che oggi utilizziamo. I nomi cambiavano al variare dei multipli e dei sottomultipli, a volte anche solo al cambiare il valore numerico senza relazioni con l'unità di base.
- ho solo citato unità di misura di lunghezza ma, anticamente, vi erano: unità di superficie che potevano non avere relazione con quelle di lunghezza; unità di volume anch'esse non necessariamente vincolate a lunghezze o superfici; unità di capacità non legate a quelle di volume; unità di peso; fortunatamente mancavano unità elettriche per evidenti motivi.
- non mi sono soffermato su quale era la base delle operazioni (per avere eventuali multipli o sottomultipli, si moltiplicava o divideva per 10 o per 12 o per 60 o per cosa ?).
- non ho neppure affrontato il problema in Stati diversi dove si ripetono le medesime cose con in più la difficoltà di comunicazione linguistica.

Quanto dico pensiamolo solo riferito al commercio, ad un signore di Firenze che va a vendere la sua merce a Torino (quanta strada percorre ?). Porta 327 doppi bracci di tela per venderli. Prescindendo dalle differenti monete che hanno medesimi problemi, quante branche di tela sta comprando il torinese ?

Per non dire di tasse che si pagavano sulla superficie disponibile. Per non far cenno a continui imbrogli che, come sempre, gravavano sui poveri ignoranti ed analfabeti (i ricchi, se ignoranti, avevano da pagare i contabili).

PRIME IDEE DI CAMBIAMENTO

Prima del problema dell'unità di misura da uniformare vi fu da risolvere il problema della semplificazione della rappresentazione dei numeri e delle operazioni aritmetiche con essi. Dopo e/o contemporaneo a questo vi fu il problema della scelta di un sistema di numerazione. Solo dopo venne la questione del sistema di unità.

Nel suo opuscolo di 36 pagine [*De Thiende*](#) (*I decimali*) del 1585 Simon Stevin iniziò un'opera di divulgazione e generalizzazione di un metodo di calcolo che mostrava la possibilità di sostituire in modo semplice operazioni con frazioni decimali. Va osservato che a cavallo di Cinquecento e Seicento non si disponeva

neppure di algoritmi semplici e numerazione con relative rappresentazioni frazionarie risultavano complessi. Il metodo di Stevin, evoluzione di quanto realizzato dal matematico bolognese Raffaele Bombelli nella sua *Algebra* del 1572, permetteva di indicare ciascuna cifra decimale senza utilizzare frazioni. Egli proponeva infatti di rappresentare le frazioni decimali con numeri interi in modo semplice. Nella prefazione del suo libro egli indica anche le persone a cui è diretto il suo lavoro, tutti coloro che in qualche modo hanno a che fare con conti e misure:

Agli astronomi, agrimensori, misuratori di tappezzerie, fabbricanti di strumenti di misura, stereometri in generale, fabbricanti di monete, e tutti i mercanti, Simon Stevin augura salute.

Manca ancora qualche anno all'invenzione della virgola (sembra sia stato John Napier tra il 1614 ed il 1619 nei suoi studi sui logaritmi) per separare la parte intera da quella decimale e Stevin iniziò a tracciare quel cammino con un suo simbolismo da disporre dopo o sopra o sotto i numeri in oggetto consistente in circoletti che contengono l'ordine delle *unità* (circoletto con dentro uno zero), dei *decimi* (circoletto con dentro un uno), dei *centesimi* (circoletto con dentro un due) dei *millesimi* (circoletto con dentro un tre), ... Supponiamo di voler scrivere il numero 3429,8475 nella notazione di Stevin. Si avrà:

3429^① 8^① 4^② 7^③

oppure:

① ① ② ③
3429 8 4 7

invece di avere:

$$3 \times 1000 + 4 \times 100 + 2 \times 10 + 9 \times 1 + 8/10 + 4/100 + 7/1000$$

E' in pratica l'introduzione del sistema di misura decimale reso semplice per un suo uso da diffondere tra chi opera con l'aritmetica (e non solo). Si deve solo fare l'osservazione, con linguaggio e scrittura moderni, che ogni posizione dei numeri è accompagnata da una potenza di 10 che ne stabilisce il valore. Il numero nel suo insieme è la somma di tanti altri numeri moltiplicati per la potenza di dieci corrispondente (nel metodo proposto da Stevin è probabile che egli pensasse proprio a quei numeretti nei circoletti come esponenti negativi da assegnare ai numeri che li riguardavano). Il caso ora visto si può scrivere nel modo seguente:

$$3 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0 + 8 \cdot 10^{-1} + 4 \cdot 10^{-2} + 7 \cdot 10^{-3}$$

E' naturalmente valida anche la possibilità di trasformare una frazione avente una potenza di 10 al denominatore in un numero con virgola, ma è inutile insistere su concetti elementari.

Il libro di Stevin ebbe un notevole successo e fu tradotto in tempi relativamente brevi in Francia (*Disme*) e Gran Bretagna (*Disme the Art of Tenth*). Si erano le gettate le basi dell'idea avanzata di unificazione che dovrà estendersi pian piano ad altri

argomenti.

Gli anni successivi videro crescere e perfezionare la matematica e diffondere i sistemi a base 10 con l'uso della virgola. Senza la padronanza diffusa di un sistema di numerazione accettato dai più (non importa quale ma nel nostro caso quello decimale), non sarebbe stato possibile pensare ad unificare altro.

Per ritrovare qualcosa che interessi quanto sto raccontando, occorre arrivare agli *Etats généraux* che vennero convocati dal Re di Francia, Luigi XVI, tra la fine del 1788 ed il maggio 1789. La Francia era alla rovina economica per le spese della corte, per il sistema fiscale inefficiente ed iniquo, per la guerra nelle colonie americane ed il Re pensò di risolvere i problemi convocando (1789) rappresentanti popolari (nobiltà, clero e terzo stato) che gli portassero dei *cahiers de doléances*, la nota delle cose che non andavano bene. Non è di questo che mi occupo ma debbo notare che tra le cose che erano ritenute non andare ve ne era una relativa alle misure, per le continue frodi che permetteva nella gestione della giustizia e nei *diritti* ecclesiastici e di signoraggio, che risultava ripetuta spesso con espressioni riassumibili in *un roi, un poids, une loi, una langue, une mesure* (un re, un peso, una legge, una lingua, una misura). Ed avevano un vero bisogno di una riforma se, da un censimento non completo, si sono contate oltre 800 misure diverse in circolazione per la sola Francia che, per buon peso (è il caso di dirlo) venivano tra loro moltiplicate o divise per fattori qualunque, al fine di ottenere multipli e sottomultipli. Faccio alcuni esempi questa volta sulla capacità. Il grano che era un prodotto pregiato veniva scambiato in un recipiente a misura rasa mentre una merce meno pregiata come l'avena era venduta a misura colma. Che vuol dire ? Ma poi, si possono dare dei colpi al recipiente per assestare meglio le granaglie ? Ed un sacco di granaglia quanto deve essere grande ? Era da quando era salito al trono Luigi XVI che il problema si poneva ai livelli più elevati, ad iniziare da Turgot, divenuto controllore generale delle finanze del Re. Turgot aveva capito che sarebbe stato di interesse per le finanze pubbliche stabilire una qualche uniformità delle misure. Era stata avanzata da più parti l'idea di prendere come unità di lunghezza quella di un pendolo che a 45° di latitudine avesse battuto il secondo. A tal fine fu incaricato Messier di determinare tale lunghezza e Condorcet aveva redatto una sorta di piano per permettere una tale operazione⁽¹⁾. Altro buon proposito era quello di mettere a confronto le varie unità di lunghezza in uso in Francia per tentare una unificazione. Questi propositi non ebbero esito, come vari altri con ambizioni diverse nel passato, perché il principale promotore, Turgot, fu rimosso dal suo incarico. Il progetto fu ripreso con molti dubbi dal suo successore Necker che nel 1778 comunicava al Re quanto segue:

Mi sono occupato dei mezzi che occorrerebbe impiegare per rendere i pesi e le misure uniformi in tutto il regno, ma dubito ancora se l'utilità che ne risulterebbe sarebbe proporzionata alle difficoltà di ogni tipo che tale operazione comporterebbe, visti i cambi di valutazione che sarebbe necessario fare in una gran quantità di contratti di vendita, di rendite feudali e di altri atti di ogni specie.

Nello stesso periodo molti studiosi non solo francesi scrivevano in proposito ma non facevano pressioni perché vedevano il progetto troppo lontano. I loro lavori servirono comunque a preparare il terreno.

Un primo tentativo (1782) di passare alla pratica venne fatto dalla regione francese dell' Haute-Guyenne per una necessità pratica. Dovendo rifare il catasto della regione, tutte le misure di ogni tipo esistenti in essa dovevano essere date anche in misure di Parigi.

Arriviamo quindi alle richieste popolari al Re nei *cahiers de doléances*⁽²⁾. I problemi erano talmente grandi riguardando anche il potere di rappresentanza delle varie classi ed il modo di elezione che quelli su pesi e misure non vennero neppure presi in considerazione. Il Re fece la faccia feroce il 19 giugno rifiutando ogni richiesta del Terzo Stato (che insieme agli umili lavoratori era forte della borghesia). e non rinunciando a nessun privilegio per sé, nobiltà e clero. A luglio 1789 lo scoppio della Rivoluzione a Parigi inizierà a spazzare via i privilegiati nullafacenti di sempre.

E' con la Rivoluzione che il tema dei Pesi e delle Misure venne ripreso con forza fino a portarlo a soluzione. Iniziò la liberalizzazione dei commerci all'interno della Francia (ma anche per commerci diretti alle Colonie e con l'abolizione del monopolio delle Compagnie) con successivi decreti a partire dal 29 agosto del 1789 fino al 2 marzo 1791 quando ogni merce, senza dazi, imposte e dogane, poté liberamente circolare all'interno della Francia. L'altra liberalizzazione, quella del mercato finanziario e bancario, completò la libertà di commercio, dei valori, delle merci.

Tutte queste novità richiedevano urgenti interventi su Pesi e Misure come anche la riforma fiscale e il decentramento amministrativo con la divisione territoriale della Francia in province completamente differenti da quelle di partenza.

PARTE L'IMPRESA

Fu lo stesso Condorcet che, a nome dell'Académie des Sciences, [intervenne](#) all'Assemblea Nazionale il 12 giugno 1790, per accettare il compito che era stato assegnato all'Académie dalla medesima Assemblea. Tra l'altro, Condorcet disse:

Dalla sua fondazione l'Accademia si è sempre occupata ed ha cercato le occasioni d'impiego per il bene degli uomini delle conoscenze acquisite mediante le riflessioni e lo studio della natura: è in quest'ambito che uno straniero illustre, al quale una teoria profonda aveva rivelato il mezzo di ottenere una unità di lunghezza naturale ed invariabile, costruì per primo il progetto di rapportare ad essa tutte le misure al fine di renderle mediante quella uniformi ed inalterabili.

Condorcet si sta riferendo ad Huygens, a colui che aveva realizzato quel formidabile strumento di misura del tempo che è il [pendolo composto](#) già richiesto ed utilizzato per le misure di longitudine in mare. L'intervento di Condorcet seguiva, come accennato, il decreto dell'Assemblea Nazionale dell' [8 maggio 1790](#), decreto proposto da Tayllerand (vescovo cattolico che riuscì a far espropriare la Chiesa francese dei suoi infiniti beni), che seguiva una memoria presentata all'Assemblée Nationale dallo scienziato e militare Prieur de la Côte-d'Or (1763-1832), ed emanato

dal Re il 22 agosto, in cui si diceva:

L'Assemblea Nazionale, desiderando far felice la Francia intera per il vantaggio che deriverà dall'uniformità dei pesi e delle misure, e volendo che i rapporti delle vecchie misure con le nuove siano chiaramente determinate e facilmente comprese, decreta [...] che ognuna delle municipalità comprese in ogni dipartimento [...] invii a Parigi, per essere consegnate al segretario dell'Accademia delle Scienze, un modello perfettamente corrispondente dei differenti pesi e misure elementari che utilizza.

E' interessante notare che, nel seguito, vi è un invito al Re (ancora in carica) perché estenda l'invito alla Gran Bretagna al fine di lavorare insieme *per determinare, alla latitudine di 45° o a qualunque altra latitudine ritenuta conveniente, la lunghezza del pendolo*. Alla fine del decreto si annuncia che le nuove misure scelte saranno scritte e stampate su libri che saranno diffusi gratuitamente.

Il [30 marzo 1791](#) venne pubblicato un nuovo decreto, questa volta dell'Assemblée Nationale Constituante. Il progetto iniziale della misura della lunghezza di un pendolo che batte il secondo viene scartato e sostituito dalla misura dell'arco di meridiano terrestre. In esso si diceva:

L'Assemblea Nazionale, considerando che per arrivare a stabilire l'uniformità dei pesi e delle misure [...] è necessario fissare un'unità di misura naturale ed invariabile [...] decreta che sia adottata la grandezza del quarto di meridiano terrestre come base del nuovo sistema di misure.

Nel dire ciò l'Assemblea si era preoccupata di sottolineare che non occorre offendere nessun popolo scegliendo una qualunque misura che avesse potuto creare problemi ad esempio di nazionalismo e, in chiusura, affidava all'Accademia delle Scienze l'organizzazione dell'impresa che prevedeva la misura dell'arco di meridiano terrestre da Dunkerque a Barcellona.

Finalmente il 7 aprile 1795 arriva il lungo [Decreto relativo ai Pesi e Misure](#). Tra l'altro si diceva che l'obbligo dell'uso delle nuove misure, previsto per il 1° agosto 1793 era prorogato ma si invitavano i cittadini ad usarle come prova di attaccamento alla Repubblica. Le difficoltà incontrate erano diverse e tra queste la fabbricazione del metro, campione di lunghezza base per tutte le altre unità, di platino che, si avvertiva, sarà unico per tutta la Francia con copie identiche inviate ad ogni distretto. In ogni caso si fissavano già le misure da dover utilizzare:

5. Le nuove misure si distingueranno da ora in avanti dalle precedenti perché avranno il nome di repubblicane; i loro nomi adottati definitivamente sono i seguenti. Si chiamerà:

Metro, la misura di lunghezza uguale alla decimilionesima parte dell'arco del meridiano terrestre compreso tra il polo boreale e l'equatore.

Ara, la misura di superficie dei terreni uguale ad un quadrato di dieci

metri di lato.

Stero, la misura destinata in modo particolare alla legna da riscaldamento, che sarà uguale ad un metro cubo.

Litro, la misura di capacità, tanto per i liquidi che per la materia asciutta, il contenuto del quale sarà quello del cubo della decima parte del metro.

Grammo, il peso assoluto di un volume d'acqua uguale al cubo della centesima parte del metro ed alla temperatura del ghiaccio fondente. [...]

6. La decima parte del metro si chiamerà **decimetro** e la sua centesima parte **centimetro**. Si chiamerà **decametro** una misura uguale a dieci metri e questa sarà un'utile misura per l'agrimensura. **Ettometro** sarà la lunghezza di cento metri. Infine **kilometro** e **miriametro** saranno le lunghezze di mille e diecimilimetri e designeranno principalmente misure di camminamenti.

7. La denominazione delle misure di altro genere saranno determinate con gli stessi principi di quelle precedenti:

Così, **decilitro** sarà una misura di capacità dieci volte più piccola che il litro; **centigrammo** sarà la centesima parte del peso di un grammo. Allo stesso modo si dirà **decalitro** per designare una misura contenente dieci litri; **ettolitro**, per una misura uguale a cento litri; un **kilogrammo** sarà un peso di mille grammi. Si comporrà allo stesso modo il nome di ogni altra misura.[...]

8. Nei pesi e misure di capacità, ogni misura decimale di questi due generi avrà il suo doppio e la sua metà [...]. Si avrà dunque il **doppio litro** ed il **mezzo litro**, il **doppio ettogrammo** ed il **mezzo ettogrammo**, e così per le altre.

I punti successivi del Decreto riguardano, da una parte, la rassicurazione che i campioni di tali misure saranno preparati al più presto e che ogni obbligo d'uso sarà comunicato e, dall'altra, che i lavori per la determinazione del metro, iniziati dall'Accademia delle Scienze e proseguiti dalla Commissione provvisoria per le misure, saranno continuati fino al loro termine dai commissari speciali scelti dai saggi che hanno fin qui lavorato. Seguono varie norme ed istruzioni di poco interesse per noi ma devo far risaltare il fatto che per i multipli e sottomultipli è stato introdotto il sistema decimale.

Quanto fin ora detto riguarda la parte politico amministrativa e l'ultimo decreto dice espressamente che vi è una commissione scientifica che è al lavoro. Infatti, subito dopo l'emanazione del decreto del '8 maggio 1790, l'Accademia delle Scienze costituì una prima commissione di scienziati che, tra gli altri, comprendeva Jean-Charles de Borda. Tale commissione redasse un rapporto presentato il 27 ottobre nel quale si esprimeva a favore dell'adozione del sistema decimale. Una seconda commissione redasse un altro rapporto presentato il 17 marzo 1791 nel quale si

diceva che occorreva studiare la scelta dell'unità di lunghezza che dovrà servire da base per tutte le altre misure.

GLI SCIENZIATI COINVOLTI NELL'IMPRESA

Nella Prima Commissione di scienziati, oltre a Borda, vi erano eccellenze scientifiche del calibro di Lavoisier, Condorcet, Jean-Dominique Cassini, [Lagrange](#), [Laplace](#), Monge⁽³⁾.

Nel 1792, dopo aver stabilito, su proposta dello stesso Borda, che il metro dovesse essere l'unità di misura base, furono insediati Pierre Méchain e Jean-Baptiste Delambre come responsabili scientifici per le triangolazioni necessarie alla



Delambre



Méchain

misura del meridiano terrestre da Dunkerque a Barcellona (una parte era già stata fatta in epoche precedenti, ad esempio da Jean-Dominique Cassini ⁽³⁾). A loro furono associati: Borda per ogni esperienza fisica da progettare e realizzare della quale si fosse avuto bisogno (in particolare doveva realizzare: dei regoli bimetallici in platino ed in ottone per apprezzare le variazioni di lunghezza determinate dalle variazioni di temperatura; dei goniometri; delle livelle; metodi di lavoro; ...); Lavoisier che, insieme a Borda, dovrà costruire quei regoli e stabilire il modo di procedere nelle triangolazioni; Cassini che, insieme a Borda, dovrà studiare il pendolo che batte il secondo all'Osservatorio di Parigi; Lavoisier che, insieme ad Haüy, dovrà determinare il peso di un volume conosciuto d'acqua per la definizione dell'unità di massa. Il suo lavoro fu molto proficuo per la realizzazione di strumenti per la misura della lunghezza del pendolo e per aver redatto le *Tables trigonométriques décimales* e le *Tables trigonométriques décimales*, tavole che saranno riviste, aumentate e pubblicate da Delambre nel 1804. Tutte le operazioni geodetiche di triangolazione che necessitavano di misure precise furono affidate a Borda. L'insieme delle operazioni fu diretta da Borda, Condorcet, Lagrange e Lavoisier. Tutti questi scienziati furono ricevuti dal Re il 19 giugno del 1791 il quale, rivolgendosi a Jean-Dominique Cassini, chiese se pensava di far meglio del padre César-François. Jean-Dominique rispose che con i nuovi strumenti a disposizione, tra cui quelli di Borda, certamente sì.

La misura dell'arco di meridiano iniziò finalmente il 25 giugno del 1792 e, tra molte avventure, durerà sei anni. I compiti erano stati suddivisi tra Delambre e Méchain. Il primo si occupava del solo territorio francese tra Dunkerque e Rodez (760 km) ed il secondo del territorio franco spagnolo tra Rodez e Barcellona (340 km). Il prolungarsi di questi lavori che richiedevano tempi se si voleva che fossero affidabili era alla base del decreto del 7 aprile del 1795 citato alla fine del precedente paragrafo. Alle difficoltà proprie dell'impresa ed alle privazioni cui si sottoposero coloro che lavoravano alla spedizione si aggiunga che nel 1793 erano state soppresse tutte le Accademie (tra cui quella delle Scienze), e che via via: Méchain era stato vittima di un brutto incidente che lo aveva lasciato in coma, ripresosi era stato fatto prigioniero dagli spagnoli a seguito della guerra scoppiata tra Spagna e Francia, era stato ghigliottinato il Re, era stato ghigliottinato Lavoisier, per aver sostenuto Lavoisier Delambre fu licenziato, era morto in prigione Condorcet, la guerra premeva alle frontiere, il Terrore dominava la Francia, mancava personale da utilizzare e soprattutto artigiani qualificati, mancavano materiali, ... Insomma la grande avventura andava comunque avanti e tutti coloro che vi partecipavano rimasti vivi si ritrovarono a Parigi nel novembre del 1798 in una Commissione Internazionale riunita da Talleyrand. In quell'occasione furono depositate tutte le carte e le misure effettuate negli Archivi della Repubblica. Borda aveva fatto costruire 4 regoli e quattro cilindri in platino per la realizzazione dei campioni di Metro e Kilogrammo (il 20 febbraio 1799 Borda morì prima di aver potuto vedere la conclusione dell'impresa che aveva condotto negli ultimi anni). Il 22 giugno 1799, con un discorso di Laplace che insisté sui meriti di Borda, furono invece depositati negli Archivi i definitivi campioni in lega di platino del metro e del kilogrammo, non prima che fossero stati presentati al Direttorio, al Consiglio degli Anziani ed al Consiglio dei Cinquecento. I campioni furono presi in consegna dal responsabile degli Archivi, Armand-Gaston Camus che, depositandoli in una cassaforte con 4 serrature, ebbe a dire che occorreva proteggere anche dai terremoti quei preziosi oggetti.



Il primo campione di massa in platino



Uno dei metri di marmo installati dal governo rivoluzionario in luogo pubblico. Ne furono installati 6 tra il 1796 ed il 1797.



La targa che ricorda l'evento della figura precedente.

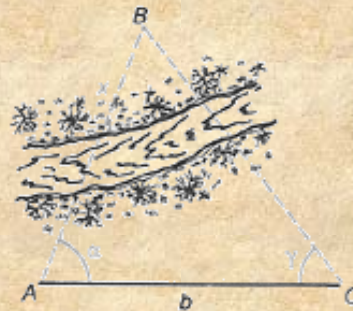
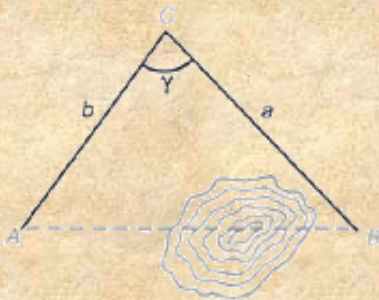


Nel portico del Palazzo Comunale di Pistoia fu sistemato questo campione di metro confrontato con il *doppio braccio* (circa 124 cm), unità di misura utilizzata in quella città.

LA TRIANGOLAZIONE

Ho accennato qua e là alla triangolazione, metodo indispensabile per fare delle misure ed in particolare quelle di grandi lunghezze in territori che hanno rilievi montuosi, depressioni, fiumi, laghi. E' necessario dire qualcosa su tale metodo.

Se si vogliono misurare delle distanze scavalcando le difficoltà del territorio sono stati inventati dei metodi che si servono della risoluzione dei triangoli. Il creatore di un tale sistema fu l'olandese Willebrord Snellius (1580-1626) agli inizi del XVII secolo. Faccio un paio di esempi che illustro con le figure seguenti.



Nella prima si vuole conoscere la distanza tra A e B e tra i due punti vi è un rilievo montuoso o un lago. Per realizzare la misura si può procedere così. Si deve disporre di uno strumento dotato di un cannocchiale accoppiato ad un misuratore di angoli (teodolite) e costruire sul terreno un triangolo opportuno (i vertici devono poter essere chiaramente individuabili: una pietra che sporge, una casa, un campanile, ...). Nel nostro caso ci si mette nel vertice C del triangolo. Da C si misurano i due lati CA e CB e l'angolo tra essi compreso γ . A questo punto con semplici teoremi (teorema del coseno o teorema delle tangenti) di trigonometria si risale ad AB.

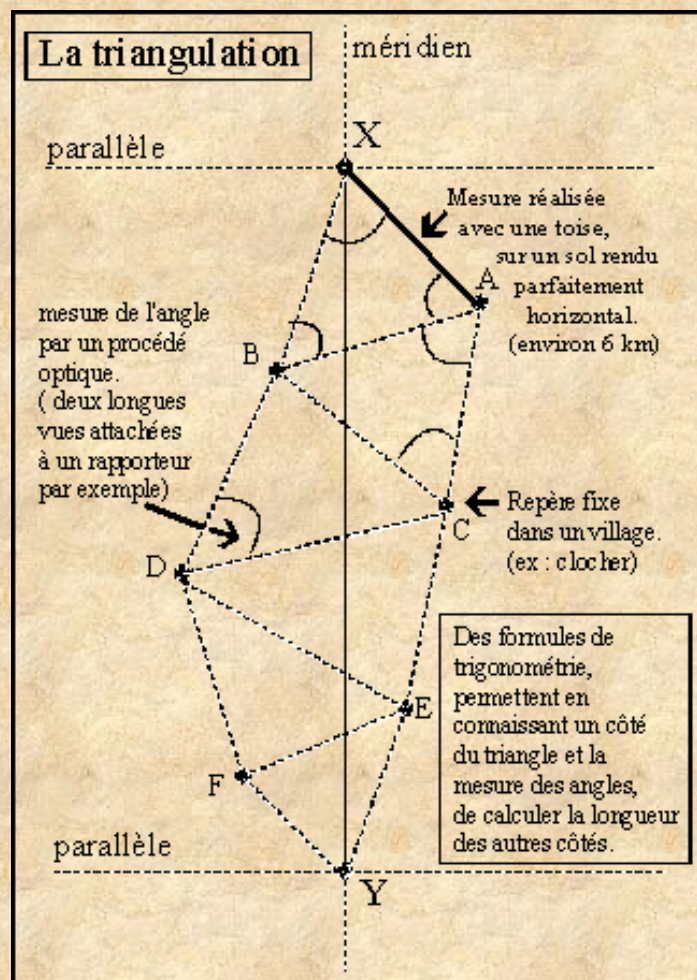
Nella seconda si vuole conoscere la distanza AB ma c'è di mezzo un fiume. Si costruisce anche qui un triangolo individuando un punto C sulla stessa sponda di A, tale che AC sia misurabile ed i punti siano visibili. Successivamente, da A e da C, si misurino i due angoli α e γ . Con il teorema dei seni è possibile con semplicità risalire ad AB (o CB).

Quanto detto è ancora una semplificazione perché occorre poi tener conto degli scarti per le differenze di quota

Vi sono altri casi che si possono presentare ma tutti riconducibili a triangoli che con la trigonometria si risolvono in modo semplice. Si può ben capire che dovendo misurare con precisione circa 1200 km di problemi se ne presentano infiniti e tutti

devono essere risolti inventando strumenti e metodi di misura tutti riconducibili comunque a risoluzione di triangoli.

Allora, per realizzare una misura geodetica è indispensabile iniziare con la misura di un lato di un triangolo (una base), misura che deve essere fatta con estrema precisione. A tal fine Borda realizzò, oltre alle tavole dei logaritmi decimali poi sistemate da Delambre, i citati regoli bimetallici di circa 4 metri di lunghezza che erano costituiti da due regoli di metalli diversi opportunamente scelti e saldati insieme oltre ad avere forme opportune come sezioni ad X ad evitare la loro curvatura. Si devono scegliere i metalli in base alle loro proprietà di reagire alle variazioni di temperatura in modo cioè che se un metallo sta dilatandosi, l'altro non lo faccia e lo trattenga quindi nella sua dimensione iniziale. Questo deve far intendere con quali livelli di accuratezza si lavorava. Questa base deve poi essere abbastanza lunga (in genere tra 5 e 10 km; era invece di 11,8 km tra Melun et Lieusaint la prima base della misura del meridiano). A partire dagli estremi di tale base, puntando un terzo ed opportuno punto, si misurano gli angoli che le due direzioni di osservazione di questo terzo punto formano con la base e ciò determina completamente il triangolo. Si usa poi un lato di tale triangolo per proseguire in una rete di triangoli (nella misura Dunkerque Barcellona furono creati circa 100 triangoli). I lati dei triangoli, sommati opportunamente, avrebbero dato la lunghezza complessiva cercata.

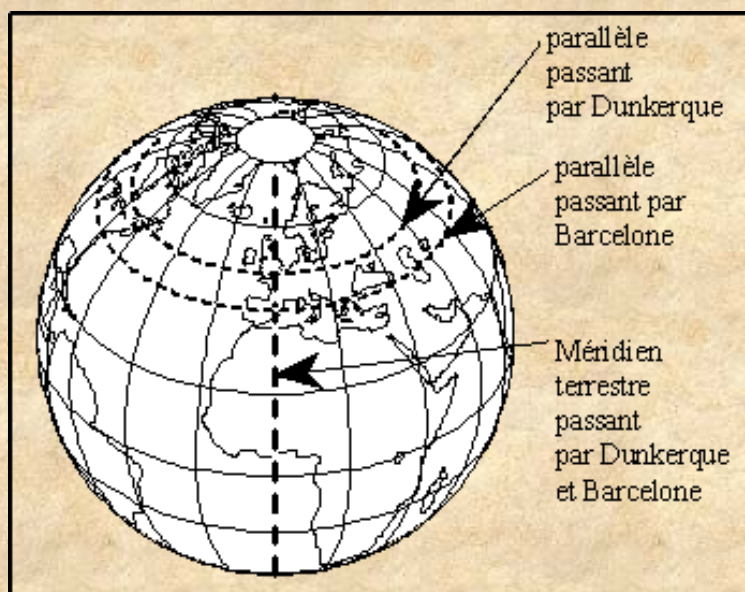


da <http://jmbeaumale.perso.neuf.fr/francais/lecture/metre.DOC>

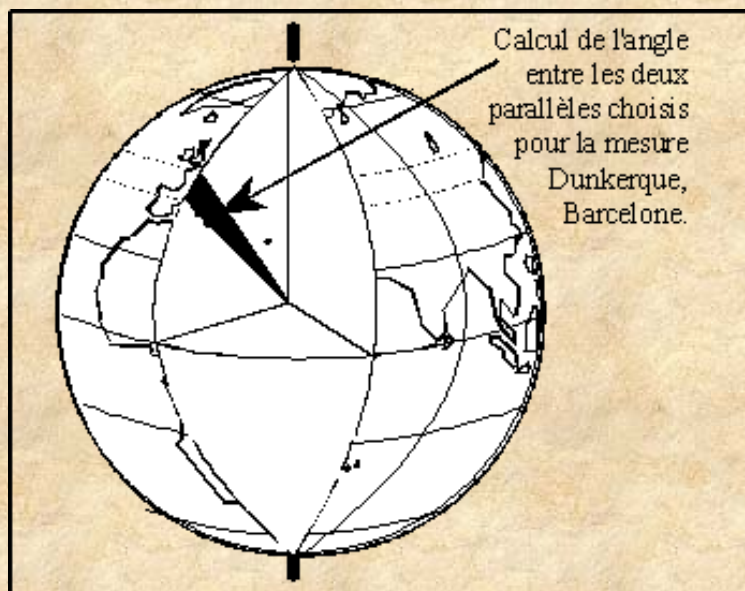


Il primo triangolo da cui si partì per la triangolazione su cui lavorava Delambre e che serviva anche a testare gli strumenti di misura fornì esattamente 180° come somma degli angoli interni (avrebbe dovuto essere leggermente superiore ai 180° dato che si tratta di un triangolo su una sfera ma la differenza rispetto ad un triangolo piano è calcolabile e quindi si possono correggere le misure). Mentre si portava a termine tale misura (4 agosto 1792), Borda e Cassini determinavano la lunghezza di un pendolo semplice che batteva il secondo all'Osservatorio di Parigi (questo metodo fu successivamente abbandonato per decreto) con un regolo di platino. Ancora in quel periodo Lavoisier si preoccupava di stabilire l'unità di massa, il kilogrammo, mediante acqua distillata alla temperatura del ghiaccio fondente e mediante misure di alta precisione che furono realizzate con il metodo che mise a punto con Borda della doppia pesata.

Come si può misurando una parte del meridiano terrestre conoscere qual è la sua lunghezza totale ? Dunkerque e Barcellona, come più volte detto, sono sullo stesso meridiano e la loro distanza ne rappresenta una frazione. Osservando le stelle dalle due città si può dedurre la porzione di arco di meridiano terrestre che intercorre tra le due e che era stato misurato (si tratta di circa un decimo del quarto di meridiano).



da <http://jmbeaumale.perso.neuf.fr/francais/lecture/metre.DOC>



da <http://jmbeaumale.perso.neuf.fr/francais/lecture/metre.DOC>

Arrivati a questo punto diventava necessario rifarsi i calcoli a ritroso **fissando** per il meridiano terrestre la lunghezza di 40 milioni di metri, la quarantamilionesima parte del quale era il metro cercato (il regolo che precedentemente funzionava da unità di misura, la *tesa*, era di circa 2 metri di quelli calcolati come raccontato e, per la precisione, relativa a Parigi ma non alle altre *tese* di Francia, si aveva: *1 tesa di Parigi = 0,513 243 metri*).

IL SEGUITO DEGLI EVENTI

Tra il 9 ed il 10 novembre del 1799 (18 brumaio), a soli 5 mesi dalla consegna dei campioni agli Archivi, un colpo di Stato di Napoleone mise fine alla Repubblica e diede vita al Consolato.

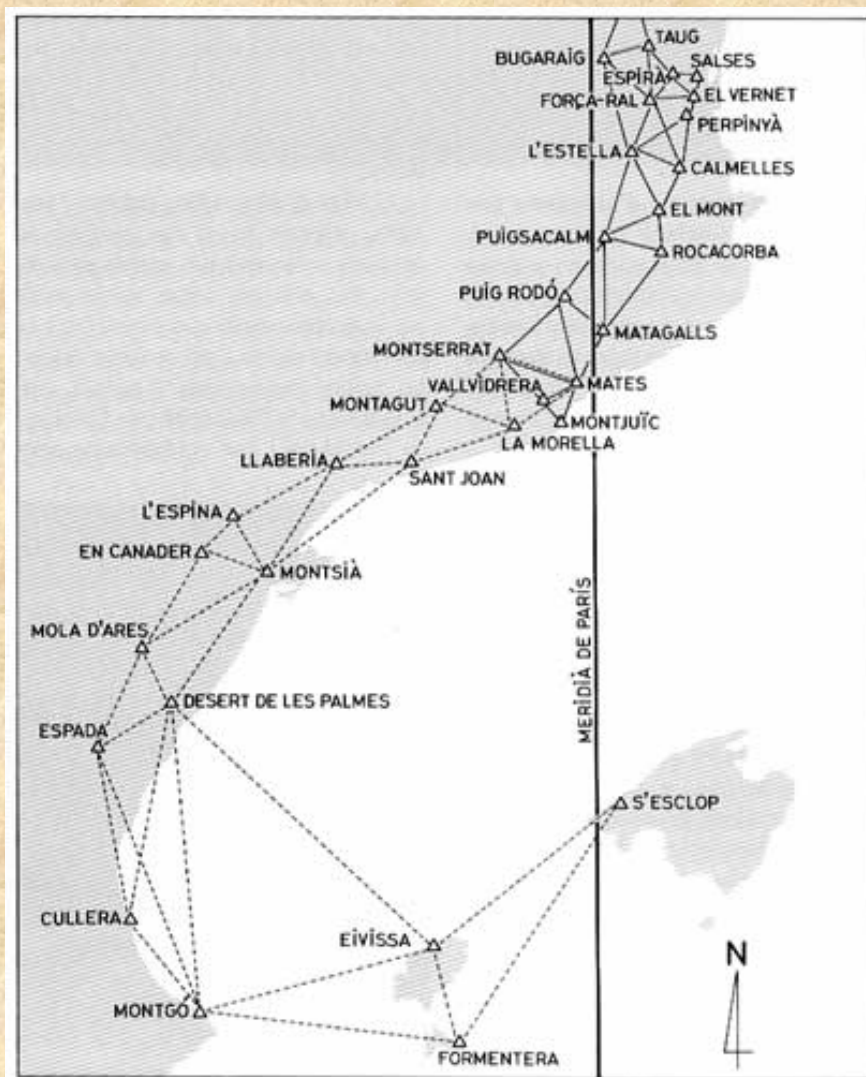
Un decreto di Napoleone del 4 novembre del 1800 annunciava che dal 23 settembre del 1801 il sistema metrico decimale sarebbe divenuto obbligatorio su tutto il territorio francese. Ma il decreto faceva una grande confusione perché introduce vecchi nomi di unità per nuove grandezze metriche decimali:

per facilitare il passaggio al nuovo sistema, i nomi dati ai pesi e misure potranno negli atti pubblici e negli usi abituali essere tradotti con i nomi francesi seguenti: [...] Il kilogrammo può chiamarsi libbra. Il centimetro può chiamarsi dito. Il litro può chiamarsi pinta.

Un vero disastro mettere nomi vecchi che indicavano determinate quantità a grandezze nuove che indicano quantità diverse. Tutto questo sarebbe dovuto durare fino al 1812.

Il 26 aprile del 1803 Méchain decise di tornare in Spagna un'altra volta, insieme

a suo figlio Augustin. Il motivo è che è rimasto insoddisfatto di una sua misura. Prima degli avvenimenti drammatici che lo avevano coinvolto in Spagna (incidente, coma, arresto a seguito dell'inizio della guerra franco spagnola) egli aveva eseguito due misure, ad un anno di distanza, della latitudine di Barcellona ed aveva trovato due valori molto vicini ma discordanti di 3 secondi di grado. Non aveva avuto il tempo di effettuare una nuova misura ed andava quindi ora a farla. Inoltre mancavano alcuni triangoli per completare l'opera, quelli da Barcellona alle Baleari. Arrivato a Barcellona poté operare per poco tempo perché fu colto da febbre gialla e morì (1804).



La triangolazione in territorio spagnolo. Mancava la parte tra la terraferma e le Baleari. Indico alcuni luoghi perché si possano riconoscere da parte di chi conosce la Catalogna. In alto a destra vi è Perpignan (Perpinyà, che è l'ultima città francese al confine con la regione catalana di Spagna). Scendendo nella zona di terra (grigia) fino ad incrociare il meridiano (Meridià de París) si trova Montjuich (Montjuïc) che è l'altura che si trova sul porto di Barcellona. Le ultime località di terra, in basso a sinistra, si trovano sulla costa valenciana. Una delle isole è Ibiza (Eivissa), l'altra, dove è indicata la località di S'Esclop, è Mallorca.

L'incarico di completare ciò che era rimasto in sospeso in Spagna fu assegnato a

Biot nel 1806: doveva proseguire la misura estendendo l'arco da Barcellona alle Isole Baleari (all'impresa dette la sua collaborazione il governo spagnolo con la messa a disposizione di una nave ed il governo britannico con i salvacondotti necessari per le Baleari, all'epoca dominio britannico). Nel 1807 Arago (aveva 21 anni) si unì a Biot. Le misure vennero fatte mediante triangolazioni e continuando quelle iniziate dalla spedizione precedente. Nel mese di gennaio 2008 Biot tornò a Parigi con i dati di 11 triangoli (16 considerando anche quelli della precedente spedizione) per sviluppare i conti. Restava la triangolazione sulle isole che fu affidata ad Arago ed allo spagnolo Rodriguez. Arago, [dopo infinite e drammatiche peripezie](#), arrivò a Marsiglia con il suo prezioso bagaglio di dati nel 1809. L'opera era ora completata.

Il 12 febbraio del 1812 Napoleone, nominatosi imperatore, firmò un decreto che abrogava il sistema decimale e reintroduceva le vecchie misure (per la lunghezza si ritornava alla tesa di circa 2 metri, suddivisa in piedi, ciascuno dei quali valeva un terzo di metro ed era diviso per 12 pollici, ciascuno dei quali costituito da 12 linee; e così via). Veniva quindi abrogata la possibilità di utilizzare il sistema decimale per multipli e sottomultipli. Anche qui i decreti applicativi sono contraddittori perché obbligano l'uso delle vecchie unità negli scambi commerciali ma il sistema decimale veniva proposto per l'insegnamento, fidando ad una buona trasmissione dei ragazzi con le famiglie. In realtà accadeva il contrario e comunque solo nelle zone limitrofe a Parigi dove la scolarizzazione era elevata. Un decreto di Luigi XVIII del luglio 1814, quando Napoleone era all'Elba, diceva cose straordinarie affermando che il piano di introduzione del sistema metrico sarà proseguito come fatto fino ad ora. Il 21 febbraio 1816, quando già Napoleone era in esilio a Sant'Elena, un nuovo decreto rendeva obbligatorio l'uso delle vecchie misure. Il sistema di misura francese era nel caos.

Vi fu una sollevazione degli intellettuali che convinsero il governo, almeno, ad insegnare il sistema metrico decimale nelle scuole. Nel 1825 venne abrogato il decreto del 1816. Seguirono due circolari del 1827 e del 1833 nelle quali si davano istruzioni sul come utilizzare il sistema metrico decimale.

Il 4 luglio 1837, con l'inizio della Restaurazione, veniva promulgata una legge che fissava il 1° gennaio 1840 come data in cui il sistema metrico decimale sarebbe diventato obbligatorio su tutto il territorio francese con l'abrogazione di ogni altro sistema.

Cosa accadeva ? Come mai la monarchia restaurata adottava uno dei progetti più prestigiosi dell'odiata Rivoluzione ? La borghesia francese aveva ormai dilagato stringendo patti importanti con la monarchia. A lato degli avvenimenti politici contingenti avanzava una possente Rivoluzione industriale che aveva visto la Francia soffrire per anni rispetto alla Gran Bretagna e che richiedeva ora unità ed ogni mezzo a suo sostegno, tra cui misure estremamente precise. Se solo si pensa che venivano costruite macchine a vapore sempre più perfezionate (basti pensare a ruote dentate, a bulloni, ...), il sistema ferroviario si estendeva, gli scambi commerciali crescevano, iniziava l'industria dei pezzi di ricambio per le macchine utensili (e per le armi), ... tutto ciò far rendere perfettamente conto della richiesta di un sistema molto affidabile, sistema che, senza dubbio, era quello metrico decimale. Ma vi era altro. Alcuni Paesi avevano già adottato quel sistema. A cominciare da alcuni Stati italiani che avevano

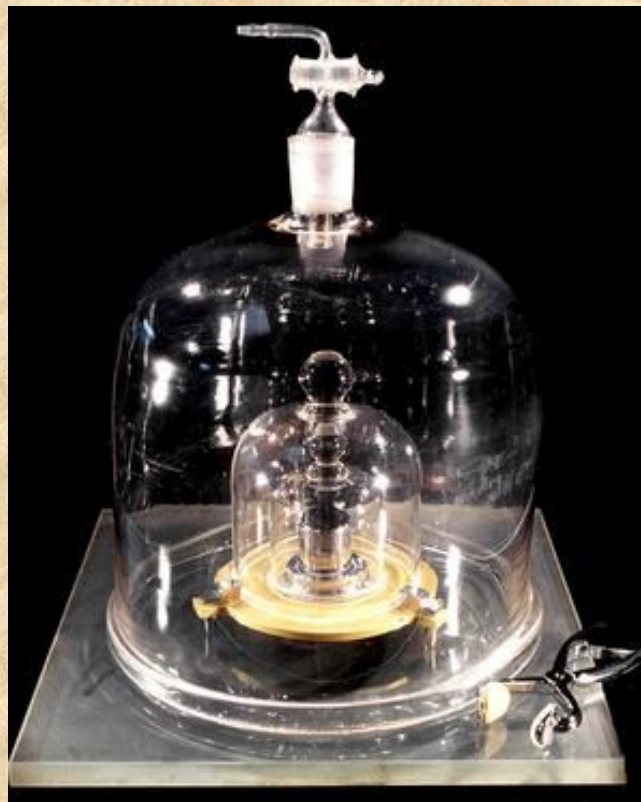
inviato loro scienziati a collaborare con il nucleo duro degli scienziati francesi. Alcune regioni italiane avevano collaborato con entusiasmo; il governo provvisorio di Piemonte aveva inviato Vassalli-Eandi, inviato del governo; la Toscana aveva inviato Fabbroni; la Repubblica Romana il deputato Franchini; la Repubblica Cisalpina il deputato Mascheroni; la Repubblica Ligure il deputato Multedo. Tali Stati, almeno quelli che continuarono con governi progressisti, adottarono subito il sistema. A parte la buona volontà di questi piccoli Stati, altri si erano aggiunti all'adozione e si andavano aggiungendo: nel 1803 la Repubblica Svizzera, nel 1816 i Paesi Bassi, nel 1836 in Grecia, tra il 1839 ed il 1844 le colonie francesi Réunion, Sénégal, Guyane française, Algérie, Martinique, Guadeloupe⁽⁴⁾. Dopo 50 anni dalla sua creazione in sistema metrico decimale entrava e si diffondeva anche in Francia. Aiutarono molto al diffondersi di tale sistema in altri importanti Paesi le Esposizioni Universali (Londra 1851, Parigi 1855 e 1867) e la Francia volentieri si prestava a diffondere copie dei suoi campioni. La Conferenza geodetica internazionale, riunita a Berlino nel 1867, propone di realizzare un prototipo europeo del campione di metro.

L'ultimo quarto di secolo vide un'accelerazione delle adozioni del sistema e ciò creava dei problemi di accordi internazionali e di scrittura di regole. Nel 1870, il governo francese (Napoleone III) invitò a Parigi molti Paesi con i loro rappresentanti scientifici per discutere della questione. Accettarono l'invito 24 governi e la riunione fu fissata per l'8 agosto. Causa guerra franco prussiana fu però rimandata e poté aprirsi e lavorare dal 24 ottobre al 12 novembre del 1872. La Commissione costituita da coloro che lavorarono decise di ricavare un nuovo campione basandosi su quello depositato agli Archivi di Parigi.

Il nuovo prototipo di metro fu realizzato da Henri Tresca, un ingegnere meccanico che insegnava meccanica al Conservatorio Nazionale d'Arti e Mestieri. Esso era un regolo rigido di 102 centimetri con due tacche trasversali che marcano il metro. Il regolo è una lega al 90% di platino ed al 10% di iridio con una sezione a forma di X costruito secondo la teoria dei momenti di flessione (linea assiale di fibra neutra né tesa né compressa) che mantiene la sua lunghezza anche se flette leggermente. La lega di platino iridio fu scelta da Henri Sainte-Claire Deville per le sue caratteristiche di inalterabilità, omogeneità, durezza, alto coefficiente di elasticità, attitudine ad una perfetta lucidatura. Il metro internazionale è di circa 0,2 mm inferiore alla diecimilionesima parte del quarto del meridiano terrestre. Le stesse operazioni di scelte accurate furono fatte per il kilogrammo. Prima di scegliere la stessa lega del campione di metro, si era passati attraverso vetro e quarzo. Quindi si realizzò un cilindro lucidato con diametro uguale all'altezza (39 mm), con bordi leggermente arrotondati. Il prototipo fu scelto nel 1883 tra tre campioni realizzati nel 1879 e messi a confronto con quello degli archivi nel 1880. Il campione del kilogrammo internazionale supera di 28 mg la massa di un dm^3 d'acqua alla sua massima densità.



La Francia realizzò 28 di tali prototipi e li distribuì ai Paesi che avevano sottoscritto l'accordo. I paesi che aderirono successivamente agli accordi sono stati dipendenti dalla Francia per ottenere copie esatte dei campioni originali di metro e kilogrammo fino al 1875.



Il kilogrammo campione conservato a Sèvres

Per risolvere questi problemi il 20 maggio 1875 nacque il **Bureau international des poids et mesures** (B.I.P.M.) e 17 (su 20) plenipotenziari partecipanti alla Conferenza diplomatica internazionale che si tenne allo scopo, firmarono la **Convenzione del metro** (oggi i firmatari sono 51 di cui 24 europei). Il BIPM doveva funzionare sotto la sorveglianza del **Comité international des poids et mesures**

(CIPM), a sua volta sottoposto alla **Conférence générale des poids et mesures** (CGPM). Il BIPM, oltre a dover diffondere metro e kilogrammo nel mondo, si doveva occupare di ogni problema metrologico. Negli anni seguenti, a seguito delle molteplici scoperte in ambito scientifico, le sue competenze si sono estese alle unità elettriche (1927), a quelle fotometriche (1933), alle radiometriche (1937), alle radiazioni ionizzanti (1960), al tempo (1988), alla chimica (2000).



Il metro ed il kilogrammo campioni

Nel settembre 1889 si tenne a Parigi la Prima Conferenza Generale di Pesi e Misure ed in quella occasione i campioni di massa e lunghezza furono sistemati nei sotterranei del Pavillon de Breteuil a Sèvres, chiusi in una cassaforte a 9 metri sotto terra in una stanza protetta da 3 porte (il kilogrammo protetto da tre coperchi di vetro dentro cui vi è un'atmosfera protetta e la temperatura è mantenuta costante).



A sinistra il Pavillon de Breteuil a Sèvres. A destra la casa del custode.

Quanto raccontato è solo l'inizio di una storia che ha continuato e continua fino ai nostri giorni. La metrologia è una delle scienze più avanzate e nella quale si richiedono le più evolute conoscenze scientifiche ed i più evoluti strumenti di misura.

Oggi esiste un sistema di unità chiamato Sistema Internazionale che è rigorosissimo e si basa su unità stabilite con metodi avanzatissimi ricavati dalla fisica dei quanti, dalla velocità della luce, dalla vibrazione dei cristalli, ... Serviranno altri articoli per raccontare l'introduzione nei sistemi di misura delle unità elettriche e per descrivere il Sistema Internazionale. Si tratta di argomenti complessi che meritano di essere conosciuti.

NOTE

(1) Notizie da *Correspondance inédite de Condorcet et de Turgot, 1770-1799*, M. Ch. Henry, Paris, p. XXV, 234,235.

(2) Alcuni cahiers su tale argomento possono leggersi in <http://smdsi.quartier-rural.org/histoire/doleance.htm#unific>

(3) Fornisco brevissimi cenni biografici di alcuni degli scienziati citati.

Jean-Charles de Borda (1733-1799). Per le molteplici imprese in cui fu coinvolto, Borda può essere definito un eclettico. Fu fisico, matematico, geodeta, cartografo, ingegnere ed ufficiale di marina, politico. Nel 1756, già nel genio militare, Borda scrisse *Mémoire sur le mouvement des projectiles*, uno scritto che gli aprì l'Accademia delle Scienze. Si occupò in seguito di idraulica e di resistenza dei fluidi al moto. Nella doppia finzione di ufficiale di marina e di rappresentante dell'Accademia, fece parte di missioni in mare per controllare il funzionamento di orologi e cronometri marini ed anche per determinare con esattezza la posizione delle Isole Canarie. Tra il 1777 ed il 1778 partecipò alla Guerra d'Indipendenza americana da parte francese. Per i suoi compiti di misuratore egli realizzò due strumenti, il *cerchio ripetitore* ed il cerchio riflettente (particolari tipi di sestante), con i quali le misure si fecero più semplici (il cerchio ripetitore era stato realizzato dal suo assistente Etienne Lenoir che lavorò anche ad apportare perfezionamenti al cerchio riflettente, uno strumento realizzato dal tedesco Tobia Mayer nel 1752. Da notare che Lenoir, per i suoi meriti ed abilità di costruttore di strumenti, fu subito assunto alla sezione del *Metro* della *Commission des Poids et Mesures*). E' importante notare la grande superiorità del cerchio ripetitore rispetto agli altri esistenti. Nella misurazione del meridiano terrestre, grazie a quell'eccellente strumento, le due spedizioni che lavoravano da parti opposte (Delambre per 760 km da Nord e Méchain per 340 km da sud) per incontrarsi al centro (Rodez) trovarono che il meridiano non raccordava solo per 3 decimetri! Nel 1778 (con altri) pubblicò *Voyage fait par ordre du roi en 1771 et 1772, en diverses parties de l'Europe et de l'Amérique, pour vérifier l'utilité de plusieurs méthodes et instruments servant à déterminer la latitude et la longitude, etc.* Borda, prendendo le mosse dai lavori di Smeaton sulle macchine a vapore, dette anche un importante contributo teorico unito a osservazioni sperimentali riuscendo a dare la formulazione delle equazioni che regolano la potenza erogata da una ruota, e quindi di un criterio per ottimizzare il suo rendimento. Borda, che già aveva iniziato a porsi problemi idraulici nella sua *Mémoire sur l'écoulement des fluides par les orifices des vases* pubblicata nelle *Mémoires de l'Académie Royale des sciences* di Parigi nel 1769, riprese i suoi studi più tardi e nella sua opera *Memoire sur les roues hydrauliques* (1797) fornì uno studio delle ruote idrache completava la parte empirica fino ad allora sviluppata con una importante elaborazione teorica e studio sperimentale. Mentre ro di Smeaton si era limitato alla raccolta accurata di dati empirici relativi a grandezze tecniche misurabili, Borda seguiva la tipica metodologia della fisica matematica, che prevede, per lo studio dei fenomeni, differenti momenti. Occorre innanzitutto formulare il problema in termini di grandezze tecniche quantificabili o variabili; si può allora passare alla sua soluzione mediante l'analisi matematica; e quindi verificare empiricamente i risultati trovati attraverso la realizzazione di modelli sperimentali (prima di passare alla più impegnativa realizzazione del vero e proprio oggetto d'uso). Borda riferì le sue ricerche ai soli

corsi d'acqua di grande ampiezza rispetto alla larghezza della ruota, ovviamente in tal caso del solo tipo alimentata da sotto. Quando la ruota era alimentata da un canale della stessa larghezza, cioè alimentata ad alveo chiuso, Borda si rese conto che la forza dell'acqua era proporzionale alla velocità e non al suo valore al quadrato. Nella sua opera *Memoire sur les roues hydrauliques* egli dimostrò che si poteva, ottenendo gli stessi risultati, misurare la potenza esprimibile dalla corrente non più con il prodotto della massa per la velocità (mv) della tradizione cartesiana ma con la *vis viva* di tradizione leibniziana, pari al prodotto della massa per la metà del quadrato della velocità ($\frac{1}{2}mv^2$). La sua dimostrazione era una chiara falsificazione della teoria della resistenza dei fluidi che la forza oltre i dati di Borda falsificavano anche quanto ipotizza non sempre si conserva. Questo risultato fu di enorme importanza perché permetteva di avere finalmente un bilancio in grado di tornare. Se si teneva conto di quanto entrava e di quanto andava perso si era in grado di stabilire quanto era utilizzato proficuamente, di poter confrontare teoria con fatti sperimentali e di capire meglio quanto aveva ricavato Mariotte a proposito della perdita di forza nell'urto dell'acqua contro le pale della ruota idraulica. Insomma si era sulla strada di una più matura comprensione dei fenomeni e si cominciava ad ammettere una fisica che si confrontava con la realtà piuttosto che con entità metafisiche.

Resta da citare un episodio. Quando nel 1794 si stavano eseguendo le triangolazioni, Lavoisier fu arrestato. Con firma Borda fu inviata all'autorità la seguente petizione: *la présence permanente du citoyen Lavoisier, en raison de son talent particulier pour tout ce qui exige de la précision, est irremplaçable. Il est urgent que ce citoyen puisse être rendu aux travaux importants qu'il a toujours suivis avec autant de zèle que d'activité.* A seguito di ciò Prieur de la Côte d'Or, membro del Comité de Salut Public de la Convention, incaricato di seguire i lavori della Commissione Pesi e Misure, rispose facendo sopprimere la Commissione con le seguenti parole: *toute fonction ne peut être déléguée qu'à des hommes dignes de confiance par leurs vertus républicaines et pour leur haine des rois. En conséquence, Borda, Lavoisier, Laplace, Coulomb, Brisson et Delambre sont exclus de la commission temporaire des Poids et Mesures.* Come conseguenza di ciò i lavori della Commissione si fermarono per 6 mesi e solo dopo le insistenze di studiosi, scienziati e saggi fu ricostituita la Commissione con la reintroduzione di 5 dei precedentemente esclusi (nel frattempo Lavoisier era stato ghigliottinato). Borda attaccò duramente Prieur de la Côte d'Or per i ritardi che aveva originato (era pericoloso ritornare a parlare di Lavoisier).

Gaspard Monge (1746 – 1818). Proveniva da una modesta famiglia (suo padre era un venditore ambulante). Studiò dagli Oratoriani e, notato per la sua abilità nel fare mappe, fu ammesso alla scuola di formazione di Mézière (i suoi natali furono d'ostacolo per l'ammissione alla scuola militare). Poiché era di umili origini non era considerato adatto a comprendere il calcolo ma dette prove strabilianti di sé inventando metodi proiettivi straordinari (geometria descrittiva) tanto da convincere i militari a nominarlo professore (1768) a patto che le sue scoperte restassero un segreto militare. Nel 1780 fu nominato professore all'Università di Parigi e nel 1781 pubblicò il suo primo lavoro che trattava delle linee di curvatura di superfici. Aderì da subito alla Rivoluzione e nel 1792 divenne Ministro della Marina della Repubblica Rivoluzionaria, mettendo a completa disposizione la scienza per la difesa della medesima. Cadde in disgrazia durante il periodo del Terrore. Passato quel tempo tornò in Francia e gli fu permesso l'insegnamento inferiore. Fu poi mandato in Italia e quindi andò al seguito di Napoleone fino alla sua definitiva sconfitta. Tornato in

Francia insegnò alla prestigiosa Scuola Politecnica e pubblicò le sue due opere fondamentali: *Applicazione dell'algebra alla geometria* (1805) e *Applicazione dell'analisi alla geometria* che ebbe 4 edizioni, l'ultima del 1819, che riuscì ad essere rivista da Monge prima della pubblicazione e che contiene soluzioni di alcune equazioni differenziali del secondo ordine alle derivate parziali. Morì a Parigi nel 1818.

Antoine Lavoisier (1743-1794). E' stato un chimico, il vero fondatore della chimica moderna, colui che trasse fuori questa scienza da magie e superstizioni alchemiche rendendola quantitativa. Il suo primo lavoro di chimica è del 1764. Ad esso seguirono studi geologici, sul salnitro ai fini del perfezionamento della polvere da sparo. Importanti furono i suoi lavori sulla combustione. Tali lavori, estesi anche alla respirazione animale e vegetale, significavano il completo superamento della teoria del flogisto e la sua sostituzione con quella del calorico. L'esposizione completa ed organica di tale teoria fu elaborata nel suo *Traité élémentaire de Chimie* (1789). Egli confutò le idee flogistiche, stabilendo che la terra infiammabile non era contenuta nei corpi combustibili come loro principio costituente. E' infatti il principio ossigenico (l'aria che successivamente sarà chiamata ossigeno), componente dell'aria comune, che quando si combina con un radicale qualunque libera un fluido imponderabile abbondante in natura: il calorico. Tale terra era tutt'altra cosa, quella appunto che abbiamo ora descritto. Studiò l'aria individuando tra i suoi componenti l'ossigeno e l'azoto e l'acqua in cui individuò ossigeno ed idrogeno. Seppe individuare il concetto di elemento distinto da quello di composto. Introdusse una nomenclatura chimica in gran parte ancora oggi in uso nel suo *Méthode de nomenclature chimique* (1787). L'uso della bilancia gli permise di mostrare che la materia si conserva. Purtroppo era anche esattore delle tasse e ciò gli fece letteralmente perdere la testa (la sua stupenda testa) sotto la ghigliottina.

Jean-Antoine-Nicolas de Caritat marchese de Condorcet (1743-1794). E' stato un matematico, economista, filosofo e politico che fece parte del gruppo degli enciclopedisti che ruotarono intorno a Diderot e D'Alembert. Fu un rivoluzionario appartenente ai girondini. Ebbe scontri con Robespierre a seguito dei quali finì in carcere dove morì in circostanze poco chiare. La sua vita scientifica lo vide a fianco di scienziati famosi come Euler e Franklin.

Jean-Dominique, conte de Cassini (1748-1845). Era un astronomo dell'Osservatorio di Parigi, discendente del Giovanni Cassini che dalla Liguria emigrò verso la Francia nel 1669 e che, tra il molto altro, per primo misurò la superficie della Francia. Suo padre, César-François (1714-1784), fu astronomo e cartografo che costruì una grande mappa topografica della Francia. Suoi lavori furono: *La méridienne de l'Observatoire Royal de Paris* (1744), *Description géométrique de la terre* (1775), e *Description géométrique de la France* (1784). Saranno tutti completati da suo figlio Jean-Dominique. E' d'interesse osservare che Jean Baptiste Cassini (1677-1756), padre di César-François, nonno di Jean-Dominique e figlio del capostipite Giovanni, misurò a partire dal 1713 l'arco di meridiano da Dunkerque a Perpignan (ultima città francese prima di entrare in Spagna) pubblicando i risultati nel suo *Traité de la grandeur et de la figure de la terre* (1720). Insomma era una famiglia dedita a questioni astronomiche, geodetiche e cartografiche il cui ultimo rampollo non poteva mancare in un'impresa che aveva visto direttamente o indirettamente l'impegno dei suoi antenati.

(4) Di seguito riporto le successive adesioni di altri Stati:

1848-1849 : Chili, Espagne.

1852-1857 : Portugal, Colombie, Monaco, Mexique, Vénézuéla.

1861-1865 : Italie, Brésil, Pérou, Uruguay, Argentine, Roumanie, Equateur.

1866 : autorisé aux Etats-Unis.

1868 : Bolivie, Suisse.

1871-1875 : Allemagne, Autriche, Tchécoslovaquie, Yougoslavie, Hongrie, Liechtenstein, Norvège.

1878-1888 : Suède, Costa-Rica, Cuba, Afrique française, Finlande, Bulgarie.

1893 : autorisé au Japon

1894-1895 : Cameroun, Tunisie.

1897 : autorisé au Royaume-Uni.

1899 : autorisé en Russie.

1905-1911 : Angola, Guinée britannique, Mozambique, Philippines, Danemark, Islande, St Marin, Guatémala, Honduras, Salvador, Zaïre, Indochine française.

1918-1919 : URSS, Pologne.

1920-1927 : Haïti, Indonésie, Maroc, Taïlande, Togo, Afghanistan, Libye et autorisé en Inde, Afrique du Sud.

1929 : Chine.

1931-1939 : Turquie, Iran, Liban, Syrie, Egypte, et autorisé en Irak.

1947-1959 : Israël, Corée, Albanie, Japon, Jordanie, Taiwan, Soudan, Inde, Grèce.

1960-1963 : Irak, Koweït, Arabie saoudite, Ethiopie, Népal.

1965 : Royaume-Uni.

1967-1969 : Afrique du Sud, Kenya, Ouganda, Pakistan, Tanzanie, Irlande, Singapour, Barhein, Botwana, Nouvelle-Zélande, Rhodésie, Swaziland,.

1970-1975 : Australie, Canada, Gibraltar, Nouvelle Guinée, Sri Lanka, Trinité et Tobago, Zambie, Bermudes, Guyane, Malaisie, Nigéria, Chypre, Fidji, Ghana, Somalie, Barbade, Jamaïque, Nauru, Tonga.

1976-1977 : Gambia, Hong-Kong, Malawi, Sierra Leone.

1988 : Etats-Unis (la loi prévoyait que les services gouvernementaux devaient utiliser les unités métriques au plus tard en 1992).

BIBLIOGRAFIA

(1) G. Bigourdan - *[Le Systeme Metrique des Poids et Mesures](#)* - Paris 1901.

(2) <http://jmbeaumale.perso.neuf.fr/francais/lecture/metre.DOC>

Purtroppo vi è poco materiale in circolazione. Qualche libro che non possiedo ed internet in siti francesi ed inglesi. L'Italia, come sempre, brilla per la sua assenza. Nel nostro Paese i siti web sono generalmente cialtroneschi, superficiali, ... Si comportano come avidi bottegai che vendono tutto credendo che quel poco che hanno sia il tutto.

[Torna alla pagina principale](#)

