

## **La standardizzazione delle misure e gli ideali della società moderna**

Paolo Agnoli, settembre 2002

## INDICE

	Pag.
PREMESSA	3
INTRODUZIONE	4
1. CHE COSA SIGNIFICA MISURARE?	7
2. DAI PRIMI SEGNI AL SISTEMA METRICO	9
2.1 Gli inizi: il numero come misura	9
2.2 I greci e i romani	14
2.3 Medioevo e rinascimento	16
2.4 Il Seicento e l'osservazione <i>accurata</i>	18
2.5 Il Settecento e la nascita del <i>sistema metrico decimale</i>	19
2.6 L'Ottocento, il Novecento e la <i>normalizzazione</i> delle tecnologie	28
BIBLIOGRAFIA	37

## PREMESSA

Questo scritto è stato elaborato come tesina integrativa alla prova di esame del corso di *Filosofia Teoretica* tenuto all'Università Roma 2 di Tor Vergata dal prof. Restaino, nell'anno accademico 2001-2002.

La tesi che si vuole presentare è quella di uno stretto rapporto tra *la standardizzazione delle unità di misura e gli ideali* tipici del movimento illuminista, alla base della nascita della società moderna.

In particolare l'obiettivo è quello di discutere criticamente le condizioni che resero possibile l'adozione del sistema metrico decimale durante la Rivoluzione Francese, presentando brevemente il processo storico che ha portato alla formazione dei concetti e delle consuetudini metrologiche ancora, almeno in parte, attuali. Sulla base di tale discussione si avanzerà infine l'ipotesi di un forte legame tra lo spirito del capitalismo e l'attività di generale normalizzazione tecnologica contemporanea.

## INTRODUZIONE

*Abbiamo ritenuto che non fosse necessario attendere la partecipazione delle altre nazioni, né per decidere sulla scelta dell'unità di misura, né per cominciare le operazioni. Infatti, abbiamo escluso da questa scelta ogni determinazione arbitraria, ammettendo soltanto quegli elementi che appartengono allo stesso modo a tutte le nazioni. Dunque non appaiono motivi che diano adito al rimprovero di aver voluto ostentare una sorta di preminenza. In una parola, se la memoria di questi lavori dovesse cancellarsi, se ne restassero soltanto i risultati, essi non ci offrirebbero niente che possa servire a far conoscere quale nazione ne ha concepito l'idea e ne ha realizzato l'esecuzione.*

Condorcet

*Il sistema metrico era, per sua definizione, universale. E subito iniziò la sua marcia vittoriosa. Come la libertà, partì alla conquista del mondo sulla punta delle baionette.*

Witold Kula

Le misure, come dovremmo tutti renderci conto, sono fondamentali non solo in ambito scientifico ma nei processi produttivi di qualsiasi tipo, nelle questioni medico-sanitarie, nello sport, in problemi di natura giuridica, finanziaria e commerciale. Misurare è un atto sociale di primaria importanza: dipendiamo dalle misurazioni e usiamo gli strumenti di misura quando facciamo la spesa al mercato, compriamo servizi da strutture private o pubbliche, guidiamo la macchina, etc.... Di fatto, tutti gli aspetti della nostra vita coinvolgono delle attività di misurazione che, nella maggior parte dei casi, compiamo senza rendercene conto.

La metodologia della misura come la intendiamo attualmente è stata sviluppata in un periodo relativamente recente, ma metodi primitivi di misurazione sono stati da tempi molto antichi alla base della capacità dell'uomo di interagire e soprattutto *incidere sul mondo circostante*. Si può dire che da sempre la misura è stato uno dei procedimenti della vita quotidiana necessari alla sopravvivenza e alle relazioni sociali. L'utilizzo delle provviste, il raccolto, la caccia, il baratto, la definizione del suolo da coltivare etc..., sono tutte attività in cui è facile ritrovare la necessità di misurare.

Personalmente credo che se si vuole ricercare una spiegazione unificante al progresso tecnologico e scientifico che le diverse collettività umane hanno realizzato nel corso della storia, tale spiegazione va proprio individuata nel perseguimento, da parte dell'uomo *inteso in senso sociale*, dell'espansione della propria capacità di incidere su quanto lo circonda, più che in una disinteressata curiosità individuale. La costruzione di imbarcazioni, ad esempio, dagli antichi tipi di canoe alle navette spaziali, che cos'è se non la ricerca della soluzione al problema di estendere la mobilità dell'uomo ad un dominio diverso dal suo, decisivo *dal punto di vista economico* per l'appropriazione di beni altrimenti irraggiungibili?

Non è affatto raro, ancora ai nostri giorni, imbattersi in quello che secondo me è soltanto un pregiudizio ben radicato: *la scienza è una dimensione pura, la tecnica è buona o cattiva* secondo l'uso che se ne fa. Non credo ciò sia vero. La tecnica non è l'applicazione della scienza: la scienza non inaugura se stessa per contemplare il mondo, la scienza inaugura se stessa per trasformare il mondo e quindi l'intenzione tecnica è già nello sguardo scientifico. La scienza si compone di *fare* (intervenire) almeno tanto quanto di *sapere* (rappresentare) (vedi Galimberti, 1999).

Gli uomini hanno dovuto affrontare problemi pratici sin dagli albori, cominciando con il più importante di tutti: rimanere vivi. Gli stessi organismi viventi, nella loro grande diversità, sono differenti soluzioni al problema di sopravvivere in un ambiente che cambia.

Uno dei più pressanti problemi che gli uomini hanno affrontato è stato quello di utilizzare al meglio la modesta potenza fisica loro disponibile. E' per questo obiettivo che sono state realizzate alcune tra le più ingegnose invenzioni della storia, dai primi utensili alle più avanzate reti di

telecomunicazione. E sappiamo adesso che le prime invenzioni apparvero molto prima di quanto finora pensato.

La recente scoperta in Kenya di una serie di pietre scheggiate abbondanti e varie - molte delle quali essendo ricollegabili allo stesso "nucleo" (il nodulo di selce che viene tagliato), rivelano un "officina litica" vecchia di 2,3 milioni di anni - attesta che il livello di complessità mentale della progettazione tecnologica (e non più semplicemente dell'uso istintivo di oggetti rinvenuti per caso) era già acquisito molto prima che si manifestasse *Homo habilis*, ovvero circa 1,9 milioni di anni fa. (Mohen, 2002, 13)

Sappiamo oggi che la mente è una struttura funzionale, ovvero un insieme di funzioni organizzate per certi scopi, che si è creata in seguito alla utilizzazione dell'esperienza( vedi per esempio Calorio, Imbasciati, 1999). L'uomo sopravvive sviluppando la mente. A differenza dell'animale che vive guidato dall'istinto l'uomo può vivere solo grazie alla sua azione che da subito diventa ideativa e progettuale: la tecnica è l'essenza dell'uomo.

Siamo fratelli e sorelle delle nostre macchine. Menti e utensili si sono affinati tra loro sin dal momento in cui la pietra di un cavernicolo abituato a rovistare tra gli scarti si rompe in maniera netta, consegnando così il primo bordo tagliente nelle mani di un cacciatore. La scaglia di ossidiana e il chip di silicio sono colpiti dalla luce dello stesso fuoco da bivacco che si è tramandato di mano in mano sin dai primordi della mente umana. (Dyson, 2000, 12)

Dice il fisico e storico della scienza Alan Cromer:

E' la produzione di utensili, piuttosto che il bipedismo, a distinguere gli esseri umani dagli animali.[...]Un'attività così complessa come la manifattura di utensili, che deve essere tramandata di generazione in generazione, richiede come condizione preliminare lo sviluppo di una caratteristica distintiva dell'uomo ancora più fondamentale: la cultura. (Cromer, 1993, 67)

Ma cosa si deve intendere qui, in prima istanza, per *cultura*? La comune premessa a tutti i differenti sforzi creativi dell'uomo è stata sempre quella di *osservare il mondo circostante e conservare e gestire le informazioni considerate pertinenti allo scopo prefissato*.

La metodologia della misura, oltre una ovvia importanza pratica, presenta quindi implicazioni concettualmente fondamentali nei processi conoscitivi. Il processo attraverso cui si sono formati i concetti sulle misure è una componente molto importante dell'evoluzione delle rappresentazioni umane del mondo, della formazione dei sistemi di classificazione e dei concetti astratti. Forse non è inutile ricordare che in greco *Logos* significa anche proporzione, *legge dei rapporti*. Ed è la ricerca di queste leggi che apre alla misura, *ovvero alla sapienza*. La proporzione, la misura del visibile apre per i Greci, se così posso dire, alla misura dello spirito.

Si può quindi davvero affermare che:

La nozione di misura, il modo di intenderla, perfino la sua concreta grandezza, sono tutte categorie fondamentali del pensiero umano. (Kula, 1987, 268)

E' in questo contesto che cercherò di introdurre brevemente i faticosi passaggi che hanno portato alla messa a punto degli attuali sistemi di misura. Ricostruire *pienamente* questo processo e le diverse teorie che ne stanno alla base equivarrebbe a ripercorrere la storia delle civiltà che si sono sviluppate sul nostro pianeta.

Una storia testimoniata già verso la fine del Paleolitico da piccole innovazioni - tacche incise nell'avorio, punte di frecce e altre forme stilizzate dipinte sulle pareti - legate all'esigenza di registrare [...] informazioni importanti per la sopravvivenza del gruppo. (Giannini, 2002, 1)

In tutte le società organizzate disporre delle misure è *uno degli attributi del potere*. Ciò significa conferire alle misure vigore di legge e conservare i campioni, che spesso hanno carattere sacro.

Nell'antichità classica, nella Grecia antica, non c'è dubbio che le misure - così come la moneta - fossero attribuiti del potere sovrano. Ad Atene i campioni delle misure e dei pesi erano conservati nell'Acropoli ed erano forniti di dediche agli dèi, come in Campidoglio a Roma. Esisteva anche una carica di verificatore. E tuttavia il particolarismo politico della Grecia antica si rifletteva fedelmente nel particolarismo delle misure e dei pesi. Le nuove polis che sorgevano creavano i propri campioni come simbolo della loro sovranità, mentre alle città conquistate la città vincitrice imponeva le proprie misure come simbolo del suo dominio. (Kula, 1987, 17)

Sono sempre rimasto sorpreso di scoprire quante persone decisamente istruite, e perfino scienziati di professione ignorino come la nascita del sistema metrico decimale sia storicamente legata all'avvento della cultura e del movimento illuministi. Già prima di essere adottato in Francia, il sistema metrico fu visto come una futura *istituzione internazionale*: ci si riprometteva - e il tempo ha confermato questa speranza - di farlo accettare in tutti i paesi del mondo. Doveva essere, secondo il linguaggio epico della Rivoluzione francese, un sistema di misure «per tutti i popoli, per tutti i tempi».

Condorcet continuò a considerare come principale obiettivo della riforma la sua universalità: a suo parere, cioè, la riforma non doveva avere alcun carattere particolare o nazionale specificatamente francese, così da poter essere accettata dal mondo intero. Proprio per questa ragione le misure dovevano essere «prese dalla natura»: questa, infatti, specie per i filosofi dell'Illuminismo, era comune a tutti i popoli e ne costituiva l'elemento unificante. (ivi,282)

L'eterogeneità delle misure e dei metodi di misurazione, presenti da quando gli uomini avevano iniziato a misurare, avevano sempre lasciato libero campo alle controversie. Perciò il potere, che di volta in volta nel particolare sistema di forze vigenti si era conquistato il diritto di stabilire e controllare le misure, si era trovato in posizione favorevole per rivestire i panni di arbitro assoluto.

«Un re, una legge, un peso e una misura!», gridavano i contadini alla vigilia della Rivoluzione in tutta la Francia. Gridavano spinti da aspirazioni e sogni riformisti e patriottici. Unificando le istituzioni, volevano nient'altro che libertà, uguaglianza e fraternità. (ivi,301)

Ma come mai un sistema per la prima volta realmente universale cominciò ad affermarsi solo con l'avvento della Rivoluzione?

Ritengo sia possibile formulare l'ipotesi che l'unificazione degli standard metrologici ha iniziato ad avere successo in una fase storica in cui essa era ormai compatibile con quegli ideali di *universalità* e di *razionalità economica* che hanno così fortemente caratterizzato la nascita della società moderna. In altre parole, credo sia postulabile che il processo di standardizzazione delle misure sia fortemente legato tanto allo spirito e ai valori del capitalismo moderno quanto alla sua storica affermazione nel mondo occidentale, che ci ha accompagnato fino al processo di globalizzazione economica in atto. Più in generale cercherò di mostrare come, proprio sulla base dello studio di un tale processo storico, si possa ipotizzare che *solo quando una serie di invenzioni tecniche e una serie di pratiche sociali, politiche ed economiche si incontrano abbiamo vera innovazione* in ambito scientifico e tecnologico. Ciò può indubbiamente contribuire, a mio avviso, ad introdurre la discussione di un tema da sempre presente nella storia della filosofia: indagare come vengono elaborate individualmente ed accettate (o respinte) dalla società le scoperte scientifiche e le conquiste tecniche. Certo, come ci insegna anche Freud, l'attività umana è diretta a ricercare il piacere ed evitare il dolore; e per alcuni, più di altri, ciò significa esaudire la propria curiosità. Come afferma il filosofo Koyrè in *Perspectives sur l'histoire des sciences*

perchè la scienza nasca e si sviluppi, occorre, come ci spiegò lo stesso Aristotele, che vi siano uomini che dispongano di tempo libero; ma questo non basta: bisogna anche che fra i membri delle *leisured classes* compaiano uomini i quali *trovino soddisfazione* nella comprensione, nella *teoria*. (cit. in Zambelli, 2000, 39)

Ma lo stesso Koyrè, spesso definito (anche se, a mio modesto avviso, non del tutto correttamente) il filosofo della trascendenza del pensiero rispetto alla prassi, aggiunge subito

occorre anche che questo esercizio della *theoria*, l'attività scientifica, abbia valore agli occhi della società.(Ibidem)

In questo contesto discuterò quindi come *lo spirito del libero mercato sia alla base dell'attività di normalizzazione tecnologica contemporanea*( iniziata appunto con la adozione di unità di misura *universali*), che riguarda gli oggetti più insignificanti come pure i più avanzati telefoni cellulari o le più sofisticate reti di computer.

Credo che anche nel compito che mi sono prefissato si può quindi *misurare* quanto la Storia della Scienza debba non solo tener conto del contenuto puramente scientifico del problema che affronta, ma quanto debba anche prestare attenzione agli aspetti filosofici, sociali, politici che ad esso sono legati e che permettono di coglierne tutta la complessità.

## 1. CHE COSA SIGNIFICA MISURARE?

Normalmente con fenomeno fisico si suole indicare qualsiasi oggetto, fatto o avvenimento esterno percepito o osservato direttamente oppure per mezzo di dispositivi particolari. Più precisamente

un *fenomeno* è una variazione dello stato di cose che ci circonda e che i nostri sensi, o direttamente o per mezzo di strumenti, ci permettono di *osservare*; è quindi una *transizione* da uno stato diciamo *A* a uno *B* in qualche cosa diverso da *A*.(Bernardini, 1974, 4)

Si suole anche supporre che la conoscenza della natura, cioè del mondo esterno, possa essere oggettiva, ovvero indipendente dalla persona che la acquisisce.

Il poter descrivere con una correlazione di cause-effetti la transizione fra *A* e *B* è il primo passo necessario per comprendere un fenomeno. Naturalmente la descrizione deve implicare solo elementi di giudizio *oggettivi* inerenti al fenomeno, ed essere indipendente dalle caratteristiche fisiologiche dell'osservatore. Inoltre deve potersi esprimere in termini razionali. Il modo più semplice ed immediato, se non l'unico, per poter far questo, è quello di sostituire alle parole dei numeri ossia *misurare* ogni cosa che possa secondo il nostro giudizio partecipare in modo determinante al fenomeno che interessa.(Ibidem)

Che i metodi per conseguire la conoscenza debbono avere questo carattere di oggettività discende da un postulato fondamentale dell'indagine scientifica (postulato di invarianza spazio-temporale) che afferma che i fenomeni naturali sono indipendenti, a parità di condizioni, dal luogo e dal momento in cui vengono osservati( vedi per esempio Severi, 1986). E quindi un'esperienza correttamente eseguita e descritta oggi, deve esser domani sempre riproducibile e dare sempre, nei limiti degli errori di osservazione, lo stesso risultato.

Presupporre questa *oggettività* non è certamente scontato: basti pensare che l'osservatore è parte attiva nel processo conoscitivo, *con tutto il suo complesso di informazioni preesistenti* perché derivanti da esperienze precedenti. Inoltre si può evidentemente supporre che l'osservazione della realtà modifichi la realtà stessa, come anche che l'acquisizione di una mole sufficiente di informazioni richieda del tempo, e non è certo detto che mentre si svolge questa indagine tutto rimanga perfettamente costante.

Per i nostri scopi qui prendiamo però per buono questo presupposto.

Nel 1993 la più autorevole organizzazione attiva a livello mondiale nell'opera di standardizzazione, l'*International Organization for Standardization (ISO)*, ha pubblicato una guida (*Guide to the expression of uncertainty in measurement*) con uno specifico vocabolario dei termini usati nella metodologia della misura alla cui stesura hanno contribuito esperti nominati da diversi enti nazionali ed internazionali del campo.

Per affrontare in modo scientifico lo studio di un determinato fenomeno, occorre all'inizio individuare quali sono le grandezze significative.

Se per esempio il fenomeno da studiare è il moto di una pallina che rotola su una rotaia in discesa, scopriremo ben presto che alcune grandezze, come il dislivello percorso dalla pallina o l'inclinazione della rotaia, influiscono pesantemente sullo svolgimento del fenomeno, mentre altre, come il colore della rotaia e la temperatura dell'aria, non hanno apparentemente alcun effetto sensibile sul moto.

Una volta individuate le grandezze importanti se ne esegue la misura secondo un metodo chiaro e possibilmente ripetibile.

Occorre quindi definire dapprima in maniera univoca il concetto di grandezza fisica.

Una grandezza fisica può essere definita come una caratteristica misurabile di un sistema, completamente individuata dal risultato di una ben determinata operazione di misura. Il complesso delle operazioni da eseguire per effettuare una misura si chiama *operazione metrica*. Va forse ricordato che il nome metro deriva dal greco *metron*, latino *metrum* = misura (in senso generale, non specificatamente di lunghezza). La *metrologia* è appunto la scienza della misura.

Quello che è stato detto fino ad ora significa che una grandezza si definisce tramite l'insieme di regole atte a misurarla.

La guida ISO definisce una *grandezza (misurabile)* come *un attributo di un fenomeno, di un corpo o di una sostanza che può essere distinto qualitativamente e determinato quantitativamente*. Ed inoltre stabilisce che per *misura debba intendersi l'insieme di operazioni che hanno come scopo la determinazione del valore del misurando*, ovvero della grandezza sottoposta a misura.

In particolare si legge.

The objective of a measurement is to determine the value of the measurand, that is, the value of the particular quantity to be measured. A measurement therefore begins with an appropriate specification of the measurand, the method of measurement, and the measurement procedure.

In general, the result of a measurement is only an approximation or estimate of the value of the measurand and thus is complete only when accompanied by a statement of the uncertainty of that estimate. (ISO, 1993, 4)

Consideriamo un tipo di misura, non sempre possibile, che chiamiamo *misura diretta*. Una misura diretta è una operazione che si effettua confrontando la grandezza da misurare con un'altra grandezza ad essa *omogenea*, presa come *campione*; cioè misurare una grandezza significa trovare un numero che dica quante volte tale grandezza è più grande o più piccola del campione.

In definitiva, misurare una grandezza significa associare ad essa un numero che, riferito a un ben precisato campione, cioè a una ben precisata *unità di misura*, ne fornisce il valore. Ciò vale in generale e non solo per le misure dirette prima definite. Per le misure direttamente ottenibili per confronto, cioè le misure dirette, tale numero rappresenta il rapporto tra il valore della grandezza in esame e quello, assunto come unitario, del campione. Per mettersi in grado di eseguire correttamente una misura, il significato astratto di misura come rapporto va precisato nella seguente maniera: fissato il campione, il confronto con esso fornisce due numeri che delimitano l'intervallo entro cui è compreso il valore della grandezza che stiamo misurando. In maniera intuitiva possiamo intanto dire che il risultato della misura è tanto più preciso quanto più è piccolo tale intervallo.



## 2. DAI PRIMI SEGNI AL SISTEMA METRICO

Le unità di misura e i relativi campioni di cui oggi uno scienziato o un tecnico dispongono per poter esprimere i risultati relativi alle osservazioni di un qualsiasi fenomeno sono il frutto di un lungo e faticoso lavoro, di cui non sempre ci si rende conto. Diversi sono stati, infatti, i problemi che gli studiosi hanno dovuto affrontare e superare per giungere ad ottenere quel sistema di cui oggi tutti disponiamo. Primo fra tutti la scelta di un numero adeguato di grandezze fisiche indipendenti da assumere come fondamentali e dalle quali poter derivare tutte le altre cosiddette grandezze derivate. Alla scelta di tali grandezze, fondamentali per la descrizione di un qualsivoglia fenomeno, ha fatto seguito la necessità di dover adottare un opportuno *sistema di unità di misura*, che permettesse la misurazione delle grandezze in gioco. Ultimo, ma non meno importante, problema è stato quello relativo alla istituzione e costruzione di campioni rappresentativi delle unità di misura scelte, in modo tale da disporre di un riferimento attendibile, preciso e controllabile in ogni momento. Il righello di uno studente, il metro di una sarta o i pesi da 1 kg. delle bilance a piatti sono tutti esempi di copie più o meno precise di alcuni dei suddetti campioni. In questo modo è facile comprendere l'importanza rivestita dalle unità di misura e dai loro campioni anche in ambiti diversi da quello puramente scientifico di ricerca, quali ad esempio l'ambito industriale o commerciale. Il processo storico che ha portato infine alla scelta di un sistema internazionale di misura è stato davvero lungo e complesso e la standardizzazione che ne è derivata è certamente, ed inevitabilmente, non conclusa.

### 2.1 Gli inizi: il numero come misura

I numeri hanno esercitato il loro fascino sin dall'alba della civilizzazione.

Una grande parte della prima preistoria della scienza e della tecnologia può essere riassunta nella scoperta, da parte di diverse civiltà, di un vasto repertorio di cose che possiamo chiamare numeri (Stewart, 1995, 38).

Ma la loro origine andrebbe ricercata addirittura in fasi precedenti.

Le nozioni originarie collegate ai concetti di numero, grandezza e forma si possono far risalire alle epoche più antiche in cui visse l'uomo e vaghi accenni a nozioni matematiche si possono vedere adombrati in forme di vita che forse hanno anticipato il genere umano di parecchi milioni di anni. Darwin in *L'origine della specie* notò che certi animali superiori posseggono capacità come la memoria e l'immaginazione, e oggi è ancor più evidente che le capacità di distinguere il numero, la dimensione, l'ordine e la forma - rudimenti di un istinto matematico - non sono proprietà esclusiva del genere umano. Esperimenti effettuati con corvi, per esempio, hanno mostrato che almeno certi uccelli sono in grado di distinguere insieme contenenti fino a quattro elementi. (Boyer, 1990, 1)

Pitagora scoprì, già nel VI secolo a.C., che l'armonia musicale dipendeva da rapporti di piccoli numeri interi e concluse che ogni cosa nell'universo era Numero. *“Tutte le cose che si conoscono hanno numero; senza questo non sarebbe possibile pensare, né conoscere nulla.”* Ma la nascita della matematica (anche se il problema della natura dei relativi concetti è sicuramente dibattuto) si può senza dubbio far risalire a problemi pratici di vita quotidiana.

E' chiaro che originariamente la matematica nacque come un aspetto della vita quotidiana dell'uomo; e se è valido il principio biologico della "sopravvivenza del più adatto", la durata del genere umano probabilmente non è del tutto priva di rapporto con lo sviluppo di concetti matematici nell'uomo[...]il contrasto tra un solo lupo e molti lupi, tra una pecora e un gregge, tra un albero e una foresta suggerisce che un lupo, una pecora e un albero hanno qualcosa in comune: la loro unicità. Nella stessa maniera si sarebbe osservato che certi altri gruppi, come le coppie, possono essere messi in corrispondenza biunivoca. Le mani possono essere appaiate con i piedi, con gli occhi, con le orecchie o con le narici. Questo riconoscimento di una proprietà astratta che certi gruppi hanno in comune, e che chiamiamo numero,

rappresenta un grande passo verso la matematica moderna. E' inverosimile che tale riconoscimento sia stato dovuto alla scoperta di un singolo individuo o di una singola tribù: si trattò più probabilmente di una consapevolezza graduale (ivi 2).

E' durante la fase del Paleolitico superiore( da 40000 fino a 12000 anni fa) che i progressi tecnologici iniziano ad influenzare decisamente la sfera intellettuale e spirituale. E' proprio in un'epoca in cui procacciarsi il cibo non era più un problema di sopravvivenza che è stato possibile lo sviluppo delle attività non produttive. L'evoluzione della società umana è avvenuta in modo graduale e costante, subendo talvolta rallentamenti e talaltra notevoli accelerazioni, al presentarsi di condizioni opportune. Si tratta di cambiamenti, spesso definiti "rivoluzioni" a causa della loro radicalità, che hanno favorito il passaggio brusco a un livello qualitativamente superiore.

Tali "salti" qualitativi risultato molto evidenti nella *sfera economica primaria*, ossia *nell'insieme di utensili* a noi pervenuti[...]Tali cambiamenti si riflettono certamente nelle sovrastrutture, ossia nell'organizzazione sociale e nella vita spirituale[...].Uno dei mutamenti più importanti, forse il più sorprendente, riguarda il completo sviluppo della vita spirituale favorito dai progressi tecnici della produzione, le cui ripercussioni si sono protratte per lungo tempo. Esso ha segnato in primo luogo la nascita di una nuova era storica, il Paleolitico superiore, termine indicante la fase dell'età della pietra scheggiata a noi più vicina. Alcuni autori impiegano anche termini diversi quali *Miolithique*, *Leptolithique*, *Höheres Jägertum*, secondo i criteri di classificazione prescelti. Si tratta, in ogni caso, di un periodo caratterizzato da cambiamenti repentini, durante il quale, grazie ai progressi tecnologici, le società preistoriche di cacciatori giungono all'apice della loro evoluzione, avvenuta anche attraverso notevoli mutamenti nella sfera spirituale. (Klima, 2002, 193)

E' proprio l'evoluzione continua di un sempre più numeroso complesso di utensili che influenza direttamente il consolidarsi di una sfera concettuale.

Il risultato più importante di una simile evoluzione è il linguaggio articolato accanto a diversi altri mezzi di comunicazione. Ciò ha reso possibile lo scambio di dati dell'esperienza, di informazioni [...] Accanto alle linee o tacche isolate presenti sulle ossa o sugli oggetti in pietra, si osserva la comparsa di segni[...] (ivi, 2002, 202)

Queste forme di *annotazione* rappresentano le prime *rudimentali misurazioni* e precedono nel loro contenuto concettuale l'invenzione stessa della scrittura( vedi anche oltre).

Durante i cinque millenni di evoluzione del Neolitico in Europa( da circa 12000 a circa 6000 anni fa), periodo caratterizzato dalla produzione di cibo, l'agricoltura e l'allevamento si svilupparono notevolmente e ciò favorì a sua volta lo sviluppo della cultura. La coltivazione dei campi, la cura e la distribuzione del raccolto esigevano in particolare che si facesse ricorso a differenti tipi di misura. Nello sviluppo della civilizzazione il passaggio dalla caccia all'allevamento e all'agricoltura fu davvero un momento fondamentale.

Si ebbe la possibilità di costituire delle scorte, liberando l'umanità dalla necessità di una continua ricerca di cibo; intanto si impose l'opportunità di sviluppare tecniche di coltivazione, di costruire strumenti, di conservare derrate, di organizzare una vita associata, con prime specializzazioni di ruoli; si presentò la necessità di misurare le derrate raccolte.(Morini, 1989, 11)

Due scelte primitive di unità di misura di una certa notorietà si applicano per esempio a problemi di coltivazione.

*Ceste.* Nell'Asia sud-orientale il coltivatore usa misurare la "superficie" della sua risaia in base al numero di ceste di semi che egli vi semina. La qualità della terra è stabilita in funzione del numero di ceste di riso, che egli prevede di raccogliere, rispetto al numero di ceste di semi piantati. Così un campo di 3 ceste di una terra da 50 ceste fornirà una produzione media annua di 150 ceste. Tutto ciò è semplice e sensato, benché non dica nulla sull'estensione del campo.

*Acri.* La parola era in origine applicata a un terreno senza recinto (cfr. il termine latino *ager*) e non comportava alcuna misura. Essa venne poi a denotare la superficie arabile in un giorno con una coppia di buoi.( Leach, 1992, 111)

Enormi progressi furono realizzati anche in altri campi, in particolare quello dei trasporti, sia terrestri che via mare.

La ruota fu inventata nel corso del sesto millennio prima dell'era attuale o poco prima: fu dapprima utilizzata dai vasai per la fabbricazione di vasi in ceramica dalle forme più regolari, ma ben presto si affermò come elemento essenziale del carro, al quale furono attaccati asini, buoi, cavalli. L'uso della ruota e del carro, che facilitò i trasporti su lunghe distanze di carichi spesso molto pesanti, si diffuse rapidamente nel Vecchio Mondo ma rimase sconosciuto in America. In questa regione si utilizzò talvolta il lama come animale da soma, ma solo per carichi leggeri e fino al momento della colonizzazione europea si continuò a ricorrere, per il trasporto terrestre, ai soli portatori umani. Verso la fine di questa stessa epoca, in Egitto, fu inventata la vela: l'uso delle barche era conosciuto da tempo, ma per la prima volta veniva ora sfruttata la forza motrice del vento. Per cogliere l'enorme progresso che la vela e la ruota permisero di attuare nei trasporti e nelle relazioni commerciali su grandi distanze, basti pensare che i mezzi di trasporto terrestri e marittimi non subiranno alcun cambiamento di rilievo fino al XVIII secolo dell'era attuale. (De Laet, 2002, 385)

Ho voluto fare un brevissimo accenno a questi progressi tecnologici per sottolineare decisamente che le nuove tecnologie riuscirono a svilupparsi soltanto in presenza di una *seppur iniziale forma di regolamentazione degli scambi commerciali e di un primitivo controllo sul sistema di pesi e misure*. Il sistema tradizionale del baratto venne progressivamente sostituito da scambi *basati sulla quantità* prendendo come unità di misura simboli astratti di cui rimane testimonianza nelle prime tavolette scritte.

Ed è così appunto che sono nate le prime tecniche di *rappresentazione delle misure*. Mi soffermo ancora un attimo su questo passaggio decisivo.

I numeri più semplici sono quelli che usiamo per contare. In effetti l'attività del contare iniziò molto prima di quando furono inventati simboli quali 1,2,3... perché è possibile contare senza usare alcun simbolo, per esempio contando con le dita. Si può calcolare che “ ho due mani ed un pollice di cammelli “ alzando le dita man mano che gli occhi passano in rassegna i cammelli . Si può anche memorizzare il conteggio attraverso graffi o segni su un pezzo di legno o di osso. Si possono anche usare pezzi di argilla con disegnata una figura di pecora per contare pecore, o con figura di cammello per contare cammelli. L'uso di semplici simboli per i numeri si sviluppò quando tali contatori venivano messi in speciali contenitori anch'essi di argilla. Era però un fastidio rompere il “coperchio” ogni qual volta si volesse controllare il contenuto, e ricostruirne un altro quando finito. Così le persone impararono a mettere speciali segni all'esterno del contenitore per riassumere ciò che era dentro. Si resero quindi conto che in effetti non avevano bisogno di nessun contatore fisico all'interno: potevano quindi utilizzare gli stessi segni su semplici tavolette di argilla. I primi campioni universali di misura di cui si ha traccia (riferiti ad una lunghezza) sono una canna di bambù cinese (vedi Fazio, 1995) del 2700 a.C., che dava il campione di lunghezza quando la distanza tra due nodi era tale che soffiando nella canna veniva emessa una particolare nota, ed il *cubito egiziano*, lunghezza di un avanbraccio dal gomito alle dita ( standardizzato intorno al 2500 a.C in un pezzo di marmo di circa 50 centimetri). Cinque o seimila anni fa nacquero le prime civiltà moderne: fu in quel periodo, infatti, che fecero la loro comparsa le prime città-stato, situate nelle valli del Tigri, dell'Eufrate e del Nilo, che rappresentavano delle realtà del tutto autosufficienti. Erano circondate da fattorie e i loro abitanti esercitavano il commercio e l'artigianato, utilizzavano veicoli provvisti di ruote, raffinavano i metalli, tagliavano la pietra ed erano abili architetti. Tutte queste attività necessitavano di strumenti di misura: non è un caso, allora, che pesi e misure standardizzati siano stati ritrovati nei siti archeologici. Le radici dei nostri sistemi moderni di pesi e misure vanno quindi cercati proprio in queste culture.

Ed è proprio nelle antiche città sumere che fu ideato il primo *sistema di conteggio* .

Nelle città sumere la vita raggiunse una notevole complessità. Si inventarono nuovi sistemi di controllo degli ambienti e dei beni posseduti. Le “*cretule* ” erano dei pezzi di argilla che venivano applicati, ancora freschi, a mo' di sigillo, su contenitori, su porte di magazzini o di archivi. Su queste “*cretule* ” si imprimeva il sigillo che, in qualche modo, informava sul genere di materiale sigillato o su chi lo aveva sigillato. Le “*cretule* ” furono uno dei primi strumenti di comunicazione non orale.

L'organizzazione economica legata a criteri di controllo non poteva fare a meno di un sistema contabile espresso graficamente. Fu dunque il *bisogno di registrare dati* ad originare la rappresentazione convenzionale e simbolica dei numerali. Un sistema di conteggio che faceva uso di gettoni fu ampiamente usato in tutta l'Asia occidentale tra il IX e il II millennio a.C. A Giarmo (il cui primo insediamento risale a circa 8500 anni or sono) si sono trovati molti gettoni di argilla a forma di sfere, di dischi, di coni. Se ne sono trovati a Beldibi (Turchia sud occidentale), a Chanu Daru (Pakistan), presso Khartoum.

I gettoni si distinguevano sulla base delle dimensioni, dei segni incisi o impressi o di varianti frazionarie come dei quarti di sfera, delle mezze sfere o dei 3/4 di sfera. Ogni forma particolare aveva un significato proprio: alcune rappresentavano valori numerici, altre oggetti specifici, in particolare merci. Numerosi ideogrammi incisi sulle tavolette di Uruk sono una raffigurazione bidimensionale abbastanza esatta di molti fra i gettoni.

Verso il 3000 a.C. compaiono le *"bullae"* o involucri, di argilla, per i gettoni. La *"bulla"* permetteva di conservare, separati da altri, i gettoni che rappresentavano il tipo e la quantità di merce inviata. Sulla superficie liscia esterna della *"bulla"* si imprimevano, secondo l'uso sumero, i sigilli personali degli individui che dovevano autenticare l'atto. Rompendo la *"bulla"* il destinatario verificava la partita di merce ricevuta. Tale innovazione però presentava un inconveniente. Se i sigilli impressi all'esterno dovevano preservarsi era necessario conservare intatta la *"bulla"*. Si risolse il problema di sapere quanti e quali gettoni erano conservati dentro alla *"bulla"* con le immagini dei gettoni in essa contenuti. L'utilità portò allo sviluppo successivo della rappresentazione bidimensionale dei gettoni. Era nata la scrittura. (Morini, 1989, 11-12).

Fu soprattutto quindi il bisogno di contabilizzare i prodotti di scambio che portò infine alla nascita del linguaggio scritto, che a sua volta contribuì a sviluppare in maniera più progredita il commercio. Col sorgere dei primi imperi, la pesatura e la misurazione divennero scienza applicata. Ed è così che furono gettate le basi non solo di tante nuove tecnologie ma appunto di ciò che possiamo già definire scienza.

In questo contesto il termine "scienza" designa una forma particolare di attività sociale che, attraverso l'osservazione, la raccolta, l'analisi, l'organizzazione di fatti empirici[...] produce risultati che si rivelano utili ed efficaci nell'interazione fra uomo ed ambiente e che rappresentano la più avanzata generalizzazione delle comuni attività umane. Questi risultati portano all'elaborazione di un sistema di conoscenze definite da una serie di termini, proposizioni, teorie[...] regole nelle quali si esprime e si conserva il sapere accumulato nelle epoche passate. [...] I risultati dell'attività scientifica servono a mantenere e a sviluppare la produzione e la riproduzione di un bene, sia esso di natura materiale o immateriale e possono inoltre diventare strumenti di potere. (Reineke, 2002, 57)

La necessità di conservare dei campioni di pesi e misure, come unità di riferimento nazionali recanti iscrizioni in nome del re e depositate nei templi principali, fu riconosciuta almeno fin dal 2000 a.C. I manufatti, ritrovati durante gli scavi in Egitto o in tante altre località di periodi molto antichi, confermano proprio quanto fosse importante, da un punto di vista pratico, avere a disposizione standard di pesi e di misure di spazio e di tempo nell'ambito degli scambi commerciali. Una enorme importanza viene anche attribuita allo studio della matematica babilonese, che si fonda su diverse centinaia di tavolette e di frammenti di tavolette. Tali testi possono essere classificati in due gruppi maggiori: testi di tabelle e testi di problemi, *la cui analisi dimostra in maniera inequivocabile il nesso tra lo sviluppo di questa matematica ed i problemi economici e sociali esistenti*. In effetti il loro contenuto è spesso strettamente legato ai diversi sistemi di misurazione: esistono tavole di conversione fra frazioni ordinarie e misure di capacità o tavole che riportano il quadrato delle misure di lunghezza.

Non v'è dubbio che i testi di tabelle rispondessero a necessità pratiche. Molte di esse contengono elenchi di misure, usate per la trasformazione delle unità maggiori in quelle più piccole e viceversa. Un altro gruppo comprende le tabelle per la moltiplicazione o la divisione, basate sul sistema sessagesimale. [...] Una larga scelta di problemi è presa dalla tecnologia pratica o è direttamente collegata a essa. I grandi sistemi d'irrigazione occupavano un posto essenziale nella vita economica della Mesopotamia. Di conseguenza troviamo molti testi che si occupano dei fattori necessari alla costruzione e alla manutenzione dei canali d'irrigazione. Veniamo così a conoscere le diverse quote di lavoro per norme occorrenti per i lavori leggeri sulla superficie dei canali e per i lavori di scavo a livelli via via più profondi. Le razioni di alimenti, principalmente orzo, per gli operai devono essere calcolate. Inoltre abbiamo notizie sul trasporto e sulla manifattura dei mattoni. Non meno di sette tipi normali di mattoni sono menzionati nei testi matematici. Occorreva calcolare la mano d'opera necessaria per completare le dighe, i pozzi (circolari e prismatici) e le fondazioni dei fabbricati in un dato tempo, misurare il volume di terra da rimuovere, i mattoni necessari, ecc. [...] Considerando l'alto

sviluppo della vita economica dell'antica Mesopotamia, non sorprende trovare dei testi matematici riguardanti la tessitura, le pecore, le misure del grano e il valore dell'argento e delle pietre preziose (Neugebauer, 1992, 798-801).

E' universalmente accettato che la prima importante tappa nello sviluppo dei concetti metrologici dell'uomo sia stata *antropomorfica*: in essa le principali unità di misura sono le parti del corpo umano.

L'uomo misura il mondo con se stesso. E' un sistema antichissimo.

Le misure di lunghezza devono essere state le prime a essere perfezionate, sebbene questa ipotesi non sia che il frutto di semplici congetture. Col passaggio dalla fase cavernicola a quella della costruzione di capanne e di case all'aperto, sarebbe sorta la necessità di qualche forma di misura lineare, anche mediante semplici bastoni con tacche, che poi saranno andati ad alimentare il fuoco domestico. Con la costruzione dei primi fabbricati, però, si ebbe la necessità di qualche unità di riferimento più duratura. Per questo si ricorse all'uso del tutto naturale degli arti dell'uomo e si scelse come unità fondamentale, la lunghezza dell'avambraccio dalla punta del gomito a quella del dito medio.

La lunghezza dell'avambraccio divenne il cubito e 4 cubiti facevano una tesa. Tutti questi termini per le misure lineari con le loro suddivisioni sussistono ancora sotto vari nomi in tutte le lingue, compreso il latino (Skinner, 1992, 786).

Su di un timpano greco del V secolo a.C., conservato nell'Ashmolean Museum di Oxford, si trovano raffigurate in rilievo la testa, il petto, le braccia allargate e l'impronta del piede di un uomo. Qualunque possa essere l'esatta interpretazione dal punto di vista della metrologia di questa rappresentazione (che, del resto, è ancora oggi argomento di discussione), essa è testimone di quanto, in passato, si fosse già consapevoli dell'importanza delle misure ricavate dal corpo umano. Certo, perfino i primi utenti di queste unità dovevano essere consapevoli che la lunghezza del proprio piede o del proprio dito era diversa da quella del vicino di casa o del compaesano, ma agli inizi le differenze individuali non sembravano importanti considerato il basso livello di precisione richiesto per le misurazioni di quei tempi. Con il tempo, comunque, questo sistema raggiunse un *primo livello* di astrazione.

Per misurare oggetti a lui estranei, gli servono le varie parti del corpo: il piede, il braccio, il dito, il palmo, le braccia tese, il passo. E le possibilità sono molte, dato il gran numero di elementi nel corpo umano utilizzabili per misurare.

Ma la cesura intellettuale consiste nel passaggio dalle rappresentazioni concrete a quelle astratte, dal «dito mio o tuo» al «dito in generale». Le misure del tipo «cubito», «palmo» o «spanna», «piede», sono state usate nella nostra civiltà in tempi ancora relativamente recenti, fino alla piena egemonia del sistema metrico. Ma erano ormai concetti astratti. Era il «passo in generale», di una lunghezza stabilita, valida in ogni occasione (benché nel corso del tempo questa lunghezza potesse mutare), di una lunghezza un po' più grande o un po' più piccola del passo «mio» o «tuo». (Kula, 1987, 24)

Anche quando però si arrivò a concepire le unità di misura come concetti astratti ciò non significò affatto eliminare le differenze nello stabilirne il valore, a seconda soprattutto delle regioni o del tempo. In Egitto il sistema delle unità di misura di lunghezza era basato sul cubito reale (corrispondente a circa 52,3 cm.) i cui sottomultipli erano: il palmo (equivalente alla larghezza del palmo escluso il pollice) e il dito (pari alla larghezza di un dito). Gli storici (vedi Dilke, 1993) hanno stabilito le seguenti relazioni, valide di massima almeno nell'ultimo periodo degli imperi egizi:

4 dita = 1 palmo, circa 7,5 cm.

7 palmi = 1 cubito, circa 52,3 cm.

100 cubiti = 1 *ht* o *khet* circa 52,3 m.

Presso i Sumeri il sistema delle unità di misura di lunghezza era basato sul cubito sumero equivalente a 49,5 cm. Abbiamo questa informazione grazie ad una statua risalente al 2170 a.C., che rappresenta Gudea, re di Lagash. Oggi questa statua è conservata al Louvre.

E' curioso notare come le unghie dei pollici in particolare e poi, più in generale, quelle delle altre dita hanno svolto ruoli speciali nella misurazione primitiva delle lunghezze.

La parola greca *onych* o *onyx* indicava l'unghia del dito di un uomo o l'artiglio di un animale. Sebbene oggi *onyx* richiami alla mente della maggior parte dei parlanti inglese un tipo di pietra (il calcedonio), questo stesso termine, in ambito medico, è si riferisce anche alle dita dei piedi o della mano: *onyxis* è, infatti, una condizione patologica nota ai profani col nome di unghia incarnita - sicuramente una fastidiosissima fonte di dolore!

Alcune parole, i cui significati sono legati alla parola greca *onych*, sono *unguis* in latino, *unghia* in italiano, *unglo* in provenzale e *ongle* in francese. Un *ongle* può indicare sia un'unghia umana che l'artiglio di un animale, ma anche lo zoccolo di un cavallo (*ungula* in italiano) e un *ongle in carné* è un unghia incarnita.

“Inch” (pollice) deriva etimologicamente dall'inglese antico *unce* o *ynche*, che a sua volta trova le sue origini nel latino *uncia*, cioè un dodicesimo. Stessa origine ha la parola *uncia*, un'altra unità con diversa etimologia: il vocabolo latino *uncia* deriva infatti da *unus*, che significa “uno”.

L'antico termine inglese *ynche* – *ynch* – *unce*, o *inch*, sembra fosse sempre usato per indicare la lunghezza del pollice, come prescritto dal re Scozzese David I. Ma *nail* (unghia in italiano), che sta qui ad indicare la larghezza dell'unghia del pollice, esordì come una più piccola unità di misura, equivalente a circa tre quarti del pollice attuale. Il *nail* (0,75 pollici) era la controparte inglese di un'unità di misura romana molto più importante, il *digit* (*digitus* in latino, dito in italiano), basato sulla larghezza del dito, pari a circa tre quarti di un pollice o 1,9 centimetri di oggi. Il *digitus* era ampiamente utilizzato nel mondo antico. (Klein,1988,54)

Quando le lunghezze sono estremamente elevate, pensiamo a distanze su scala geografica, gli standard basati sull'anatomia umana non sono evidentemente sufficienti. In questi casi erano allora utilizzate stime basate sul tempo calcolato per uno spostamento, quali “un giorno di cammino” o “un'ora a piedi”, insieme ad analoghe stime “equestri”, quali “a un giorno di cavallo” o “a mezz'ora di piccolo galoppo”. Una misura spesso usata in questo contesto dai romani era la distanza tra due *mutationes*, stazioni dove era possibile ristorarsi e cambiare i cavalli durante i lunghi viaggi su una *viam stratam* (via lastricata) romana, termine da cui deriva l'odierno *strada* o l'inglese *street* (la lunghezza variava approssimativamente tra i 40 e i 45 Km odierni circa).

Tra i greci spesso era usato lo *stadio*. Lo stadio greco oscillava tra i 150 e i 200 metri ed in origine equivaleva alla lunghezza di una pista da corsa. Fu anche ripreso dai romani, dove valeva circa 180 metri. Poiché, nel mondo antico, i Greci erano abili marinai e i Romani ottimi viaggiatori terrestri, la distanza marittime erano normalmente misurate in stadi e quelle terrestri in miglia (vedi prossimo paragrafo).

A noi sembra certamente che il sistema metrico permetta di esprimere tutte le proporzioni, perfino fra grandezze non commensurabili. Una cosa tuttavia è certa: le misure antropometriche, i cui inizi risalgono alla preistoria dell'umanità e che si sono perfezionate nel corso di decine di secoli, dal momento in cui composero un sistema coerente hanno assolto bene al proprio compito e hanno servito bene l'uomo nel suo lavoro.

## 2.2 I greci e i romani

Col progredire della civiltà, le città-stato, un tempo indipendenti, furono inglobate negli imperi. Quelli dell'antica Grecia e di Roma offrirono enormi contributi alla nostra cultura moderna, tra cui molti nuovi elementi di tecnologia della misura.

L'insegnamento della matematica rappresentava nel mondo greco uno degli aspetti più importanti dell'istruzione, mentre per i Romani tale disciplina era considerata *un aiuto necessario alla tecnologia*. Purtroppo gli autori greci e romani non ci dicono tutto quello che vorremmo sapere sull'insegnamento della matematica, di cui le misurazioni erano parte integrante. Lo stesso sostantivo *mathēma* deriva dal verbo *manthanō* e significa “argomento legato all'apprendimento”, il che dimostra che si trattava di una materia posta alla base dell'istruzione. I termini utilizzati per

definire due rami in cui essa era suddivisa nei tempi antichi, l'aritmetica e la geometria, significano rispettivamente “materia dei numeri” (*arithmos* = numero) e “misurazione (*metrein*) della terra (*gē*)”.

Nell'agora di Atene sono stati ritrovati i pesi e le misure di ispettori ufficiali (*metronomoi*).

Tuttavia, ci si trovava sempre di fronte allo stesso problema: *gli standard delle misure differivano in varia forma, in relazione alle diverse città stato e al periodo storico*. Per esempio la lunghezza del piede (*pous*) oscillava nelle diverse regioni tra i 27 e i 35 cm. Di massima valevano le seguenti relazioni( vedi Dilke,1993):

4 *daktyloi* (larghezza di un dito) = 1 *palaste* (palmo)

3 *palastai* = 1 *spithamē*

4 *palastai* = 1 piede

1  $\frac{1}{2}$  piedi = 1 cubito

4 cubiti = 1 *orguia*

10 *orguiai* = 1 *amma*

10 *ammata* = 1 *stadion*

Va sottolineato come un grande contributo qualitativo venne alle problematiche della misurazione dagli sviluppi dell'astronomia e della idrostatica, in particolare ad Alessandria e soprattutto sotto il regno di Tolomeo II.

La situazione dello scienziato assunse, in quel periodo, una fisionomia nuova, molto diversa da quella che aveva durante il periodo greco precedente, e già premonitrice di future trasformazioni. Con uomini come Archimede e Tolomeo appaiono studiosi dediti unicamente al lavoro scientifico; i loro unici oggetti di studio sono *l'osservazione della natura e la memorizzazione dei risultati* tramite la scienza dei numeri.

Fin dalle origini, l'osservazione astronomica era stata l'unica attività positiva che distingueva lo scienziato dal filosofo. L'astronomia poté infatti disporre per prima di una notevole *apparecchiatura*.[...] Tolomeo ha minutamente descritto nel suo *Almagesto* taluni di codesti strumenti; tra i quali bisogna ricordare, [...], l'astrolabio, talvolta considerato il *più antico strumento scientifico del mondo*. La sua origine resta incerta. Le altre discipline non avevano bisogno di strumenti o di osservatori. L'uso delle matematiche o l'interpretazione fisica dei fenomeni erano puri esercizi di pensiero, attività che non richiedevano particolari condizioni materiali di lavoro. Indubbiamente la geometria nacque da operazioni pratiche, ma puramente passive, così come lo studio delle piante, degli animali e dei minerali si limitava alla descrizione del loro aspetto esteriore, dal quale Aristotele poté dedurre certe teorie relative alle loro funzioni organiche. Se i dotti greci partirono da fatti realmente osservati, non tentarono di riprodurre i fatti stessi né di variare le circostanze nelle quali si presentavano. Si conoscevano già numerosi strumenti per i bisogni dell'artigianato, ma i filosofi non pensarono affatto di impiegare codesti strumenti al di fuori del loro uso corrente, né di perfezionarli o di dedicarsi a operazioni strumentali. La lacuna è stata spiegata con il disprezzo che avrebbe colpito il lavoro manuale presso gli antichi; essendo stato praticato fin dai tempi più remoti dagli schiavi, non poteva diventare un'occupazione degna di uomini liberi, né soprattutto degna di uomini colti. *I filosofi greci non hanno riflettuto sugli strumenti perché li ignoravano*.

E tuttavia assistiamo, con Archimede, alle prime manifestazioni del metodo sperimentale, timide indubbiamente, ma senza le quali l'origine della meccanica sarebbe incomprendibile. I principi della idrostatica furono scoperti soltanto mediante l'osservazione di fenomeni provocati o almeno riprodotti. Indubbiamente Archimede aveva imparato da ingegneri alessandrini come Ctesibio e Erone una certa pratica degli esperimenti fisici. Non fu il solo a dedicarsi in quel periodo a quest'arte nuova; tutti i procedimenti in uso allora per far aprire automaticamente le porte dei templi, far fumare gli altari e far parlare le statue poterono esser messi a punto soltanto dopo molti tentativi sperimentali. La costruzione di fari a riflettore e l'invenzione di orologi ad acqua, se datano da quell'epoca, fanno pensare che i loro autori si fossero dedicati a ricerche sperimentali.

Ma Archimede recò in queste operazioni una mentalità ben diversa da quella dei suoi predecessori; la sua opera resta un simbolo dell'origine stessa dell'arte sperimentale.(Daumas, 2000, 23-24)

L'espansione del commercio tra gli imperi richiedeva la navigazione sui mari. La geometria, la fisica, la medicina, la botanica e la zoologia ebbero basi scientifiche. I Romani introdussero l'uso della forza idrica per macinare il grano. Il continuo evolversi della civiltà comportò una sempre crescente gamma di attività che necessitavano di misure e la natura tecnica di tali misurazioni rappresentò una sfida sempre più affascinante. Per i Romani l'aspetto pratico delle misurazioni predominava su tutti: la costruzione di strade, le misurazioni topografiche, l'organizzazione militare, i rifornimenti di acqua e il miglioramento delle condizioni igieniche dipendevano tutti da un sistema di misure ben definito.

I sistemi di pesi e misure degli antichi imperi orientali, sorti nelle valli del Tigri e dell'Eufrate, furono adottati dai Greci e, in seguito, passarono ai Romani. Questi, a loro volta, estesero le loro procedure per la misurazione a tutto il continente europeo: di conseguenza, molte caratteristiche dei sistemi di misura utilizzati in epoche moderne riflettono il sistema romano. Ad esempio, i Romani dividevano il piede e la libbra in 12 parti e tale convenzione sopravvive tuttora nell'oncia (*troy pound*), un'unità di misura usata soprattutto per le monete. L'abbreviazione moderna della libbra negli Stati Uniti (lb) deriva dalla parola latina *libra* che significa "bilancia"; anche la parola "miglio" ha origine nell'espressione latina *mille passus*, che significa "mille passi". Il passo romano corrisponde a circa cinque piedi inglesi. (McCoubrey, 1983, 585)

A Roma la più piccola unità di misura, proprio come in Grecia, era il *digitus*, che equivaleva alla larghezza del dito. Quindi, analogamente alla Grecia, ma anche in altre regioni, quattro dita formavano un palmo e 4 palmi costituivano un piede, cosicché c'erano 16 dita in ogni piede. Riassumendo si può ricordare che le nove unità di lunghezza più usate dai Romani in ordine crescente erano le seguenti: il *digitus*, l'oncia, il *palmus*, il *pes*, il *palimpes*, il *cubitus*, il *passus*, lo *stadium* e il *milliare*.

Dal *digitus* deriva il *nail* inglese, mentre dall'oncia l'*inch* (pollice); la controparte del *pes* è invece il *foot* (piede), diversamente chiamato in tutto il mondo. Il *pes*, che corrisponde normalmente alla lunghezza di circa trenta centimetri, rimanda ad un piede umano piuttosto lungo, pur considerando che questa misurazione va dal tallone fino alla punta del pollice.

Il *passus*, in origine, corrispondeva al passo di un legionario romano durante una lunga marcia. La sua lunghezza, corrispondente a circa 1,5 metri o a poco più di 50 pollici inglesi, potrebbe sembrare eccessiva, ma è, tuttavia, fuor di dubbio che il ciclo completo sinistra-destra-sinistra o destra-sinistra-destra equivalesse al doppio di un passo singolo di circa 29 pollici inglesi o 0,75 metri.

Il *milliare*, che corrispondeva ad una lunghezza di 1.000 passi, fu anche chiamato *mille passuum*, vale a dire "mille passi": da qui ha origine il nome dell'attuale miglio inglese, che, equivalendo a 1.609,35 metri, è di circa il 9 per cento più lungo del miglio romano. (Klein, 1988, 56)

Anche il cubito, come quello egiziano, equivaleva in origine alla lunghezza dell'avambraccio, ottenuta misurando la distanza tra il gomito e la punta del dito più lontano a mano aperta.

Sono stati individuati ben otto diversi cubiti: misurano in media poco più di 50 centimetri di oggi. Si può anche ricordare che un multiplo del piede utilizzato in molte occasioni era l'*actus*. In pratica 120 *pedes* formavano 1 *actus*, equivalente a circa 35 m.; l'*actus*, (pl. *actus*), che deriva da verbo latino *agere*, cioè condurre, era in origine la distanza percorsa da un bue che tirava un aratro prima di girarsi.

Diversi secoli di confusione politica succedettero al declino dell'impero romano e in Europa il sistema di misura si sviluppò in modo disomogeneo. Tuttavia, l'influenza della cultura romana rimase evidente nei nomi delle unità di misura, dei loro multipli e dei loro sottomultipli usati in tutta Europa e la sua eredità fu sfidata solo nel XVIII secolo, con l'introduzione del sistema metrico.

### 2.3 Medioevo e rinascimento



Dopo che i Romani, conquistatori della Gran Bretagna, furono partiti, gli invasori Anglosassoni iniziarono ad utilizzare i campi e le colonie che dai primi erano stati abbandonati. In questi luoghi gli Angli ed i Sassoni stabilirono le loro roccaforti tribali e i loro centri fortificati di difesa detti *buhrs* (che in seguito sarebbero stati chiamati *boroughs* e che avrebbero dato origine ad un consistente numero di località il cui nome termina per *-bury* o *-borough*).

Il buhr era la sede del capo del villaggio o della tribù locale, oppure del governatore della regione. Il commercio fluiva da e verso i buhrs; che divennero anche sede dei tribunali e degli uffici per la riscossione di tasse e pedaggi. La legge del territorio – nella misura in cui poteva esistere una legge finalizzata a tale scopo – forniva al buhr standard autorizzati per i pesi e le misure.(ivi,28)

Una data da menzionare è sicuramente quella del giugno 1215. Un riluttante re Giovanni, sotto le insistenti pressioni dei baroni, appose il suo sigillo alla famosa Magna Charta. Tra le riforme che in essa sono promesse vi era anche un'importante politica metrologica: da allora in poi avrebbero dovuto esserci unità uniformi, riconosciute, riproducibili sulle quali sia gli acquirenti che i venditori avrebbero potuto fare affidamento.

Sfortunatamente, i raggiri, le evasioni e le frodi tendono a rendere la storia molto più colorita di quanto non riesca a fare l'abituale osservanza della legge e dell'ordine. La registrazione delle unità di peso e di misura utilizzate in Inghilterra è, nonostante la Magna Charta, contraddittoria, complessa, vivace, piena di errori, inganni, stratagemmi, la maggior parte dei quali servono ad arricchire mercanti truffatori, funzionari locali e re avidi di denaro, alle spalle di quanti sono più onesti, ma sicuramente meno influenti.(ivi,29)

Nel secolo XII nasce una nuova economia a livello europeo: vengono incrementati lo scambio delle merci e l'uso della moneta. Dalle città marinare (dove arrivano spezie e sete di provenienza orientale e dai centri della pianura padana (luoghi di lavorazione della lana), le direttrici del commercio attraversano Francia e Renania per giungere alle Fiandre e all'Inghilterra.

Gli abitanti delle città, prendendo coscienza di avere interessi comuni da difendere e da sviluppare, si coalizzano e ottengono sempre maggiori autonomie di governo: nascono così i Comuni. In questo clima è sentito in maniera sempre più pressante il problema di migliorare il *supporto tecnico alla attività commerciale*, in particolare per ciò che riguarda il *problema delle misure*.

La figura più rappresentativa di questo periodo storico, denso di commerci e di scambi, è senza dubbio il mercante. I mercanti ingrandiscono progressivamente i loro traffici e affrontano problemi crescenti di organizzazione, creando una rete commerciale (all'inizio i mercanti viaggiavano seguendo la merce; successivamente, dato l'estendersi dei traffici, istituiscono magazzini nelle principali città, vere e proprie succursali dirette da dipendenti o da soci). Istituiscono un servizio di comunicazione fra la sede centrale e le succursali (gestito da corrieri privati). Danno vita ad un sistema bancario, con i mercanti banchieri che lavorano con il denaro altrui, oltre che con il proprio. Una organizzazione simile richiede da parte del mercante una buona cultura di base: leggere, scrivere, far di conto, oltre a conoscenze merceologiche, geografiche, economiche (cambi fra monete, pesi e misure correnti).

Per queste ragioni anche lo stato della matematica appare strettamente legato alla rivoluzione commerciale. Il nuovo modo di fare i conti, presentato dal Fibonacci nel suo *Liber abaci* (1202), sollecita in taluni casi i mercanti a richiedere ai Comuni l'istituzione di scuole pubbliche; talvolta nascono allo stesso scopo botteghe d'abaco, centri di consulenza commerciale e luogo di scambio di informazioni sulle merci e sui paesi interessati al traffico. I titolari di queste scuole o di queste botteghe prendono il nome di Maestri d'abaco. I Maestri d'abaco a partire dal XIV secolo volgarizzano (nel vero senso della parola, poiché scrivono in volgare) il *Liber abaci* di Fibonacci (scritto in latino), semplificandone il contenuto, limitandosi alle sole questioni attinenti il commercio, in modo da potersene servire per l'insegnamento. Scrivono inoltre pratiche di mercatura, contenenti informazioni su fiere, dazi e dogane, monete, pesi, misure delle varie città e le loro equivalenze.(Oliva, 1981, 133-134)

Questa situazione, favorevole a differenti sviluppi in ambito tecnologico, cambia nei secoli successivi. Il sogno umanistico della concordanza delle fedi sotto il segno della ragione lasciò il posto alla drammatica realtà delle guerre di religione che insanguinarono l'Europa. In questo clima mettere in discussione i dogmi religiosi ed il principio di autorità diventò, come noto, sempre più pericoloso e ciò influenzò lo spirito di qualsiasi tipo di ricerca.

## 2.4 Il Seicento e l'osservazione *accurata*

Mettendo il sole al centro del sistema cosmologico e “riducendo” la terra ad un pianeta come un altro, Copernico supera la antica contrapposizione tra cielo e terra. Dopo Copernico - e dopo le successive osservazioni di Galilei – anche i cieli sono concepiti come sottoposti al divenire, al cambiamento, esattamente come la terra; le leggi matematiche che governano i moti dei corpi celesti sono quindi identiche a quelle che regolano i moti di quelli terrestri. Lo spazio è considerato omogeneo in ogni suo punto, secondo il modello astratto dello spazio geometrico. Ciò che era assunto come l'ordine gerarchico del mondo è di conseguenza messo in discussione; ne risulta che il moto rettilineo non è più finalizzato a ristabilire l'ordine gerarchico degli elementi, riportando ciascuno di essi al suo luogo naturale. Si capisce allora che, proprio come la quiete, tale moto può essere mantenuto, a meno di cause perturbanti, indefinitamente.

Ciò che ne deriva è il principio di inerzia, fondamentale nella scienza moderna. Con l'introduzione di questo principio non intuitivo di un moto che, come la quiete, è in grado di durare in modo indefinito, la fisica prende le distanze dall'esperienza tangibile ed immediata a noi trasmessa dai sensi, a cui bene si confaceva invece la cosmologia aristotelica.

Questa “rottura”, unita alle suggestioni pitagoriche, platoniche ed atomistiche presenti, come sappiamo, nella cultura rinascimentale, rafforza il convincimento che i dati sensibili debbano essere interpretati e non più accettati come sono senza alcuna riserva. L'esperienza, cui è interessata la ricerca, si presenterà sempre di più come il risultato di un'osservazione accurata e (questo è l'aspetto più innovativo) *di un' accurata misurazione*.

Organizzazione e descrizione matematica dei dati osservati e ricerca delle leggi che descrivono e spiegano i fenomeni naturali sono, insieme alla verifica sperimentale, le componenti fondamentali della scienza moderna.

Estendere l'osservazione e la misurazione al di là delle capacità dei sensi diventa sempre più un obiettivo primario.

E' evidente che lo scienziato moderno è un uomo di laboratorio. Egli adopera strumenti scientifici e apparecchi per estendere l'osservazione oltre la sfera dei suoi semplici sensi, e per creare possibilità di manipolazione maggiori di quelle delle sue mani. Ma non è stato sempre così; in verità, uno dei fattori più significativi della rivoluzione scientifica del diciassettesimo secolo fu la realizzazione di nuovi strumenti per lo scienziato, che aprirono nuovi mondi alla sua esperienza.

Probabilmente il più interessante nesso tra la storia della scienza e quella della tecnologia sta nel modo con cui la scienza ha sfruttato i suoi stessi progressi col creare strumenti da usarsi per un ulteriore lavoro scientifico o per l'applicazione della scienza a fini pratici. Ci sono già molte notizie su questi strumenti, che servono a gettare luce sulla storia della scienza spiegando come il sapere abbia condotto a nuovi strumenti e come tali nuovi strumenti abbiano condotto all'acquisizione di un ulteriore sapere. [...]Gli scienziati medioevali avevano ben pochi strumenti a loro disposizione. Taluni dispositivi, come la bilancia, la fornace, i compassi da disegno e i compassi per misurare, erano ormai antichi e potevano essere facilmente procurati dagli artigiani. Altri strumenti, quali astrolabi, quadranti solari, strumenti per osservazioni astronomiche e calcolatori, erano più complessi e dipendevano dalla dotta valutazione di una tradizione manoscritta. Lo scienziato poteva servirsi dell'opera di un falegname o di un fabbro per realizzare costruzioni grossolane, ma la progettazione dettagliata, l'incisione e la graduazione dovevano essere fatte da lui stesso.(Price, 1992, 628)

In questo clima non sono davvero rari i tentativi di miglioramento delle tecniche di misurazione. Riporto i più significativi( vedi anche Fazio, 1995). Nel 1660 la Royal Society propone come campione di lunghezza il cosiddetto *pendolo al secondo*, proposta ripresa da Picard, da Huygens e da Roemer: un pendolo che batteva il secondo, ovvero con periodo 2 s e il cui filo doveva essere lungo 0,994 m.

Gli storici sono, in genere, concordi nell'asserire che Gabriel Mouton, vicario a Lione, fece il *primo tentativo di sistema metrico*: Mouton infatti propose che tutte le distanze venissero misurate attraverso un sistema decimale di unità basate sulle dimensioni della terra stessa.

Nel suo lavoro del 1670, *Observationes diametrorum solis e lunae apparentum*, egli suggerì in particolare come unità di lunghezza l'arco di 1 minuto di un meridiano terrestre; in seguito lo stesso Mouton suggerì di adottare come campione di lunghezza 1/10000 di tale arco.

Nel 1670, Mouton propose un sistema decimale di pesi e misure usando, per la prima volta, un'unità di base presa dal mondo fisico piuttosto che dal corpo umano. La sua unità di base era la lunghezza di un minuto di arco di un grande circolo della terra, per esempio l'equatore. Mouton divise questa unità di base di lunghezza per multipli di dieci al fine di ottenere delle sotto unità, con lo scopo di sostituire il piede francese. Propose anche l'uso di un pendolo, la cui lunghezza era stata calcolata in questo modo, per definire l'unità di tempo. È interessante ricordare che il miglio nautico, comunemente usato oggi, fu inizialmente definito come lunghezza di un minuto di arco di un grande circolo terrestre. (McCoubrey, 1983, 588)

L'abate Mouton era ben consapevole che l'accurata misurazione di un minuto di arco di un meridiano della terra era un'impresa difficile da realizzare. Di conseguenza, esaminò un modo alternativo per arrivare ad una lunghezza standard, non rinunciando ad utilizzare le caratteristiche fisiche della terra stessa: fece allora ricorso a pendoli con precise oscillazioni di tempo.

Questa volta, la relazione generale tra la lunghezza di un vero pendolo e il periodo della sua oscillazione era nota. Un vero pendolo è formato da una cordicella molto leggera, con un fulcro a bassa frizione all'estremità superiore e con tutta, o quasi tutta la sua massa concentrata all'estremità inferiore.

Quando questo pendolo oscilla liberamente in avanti e indietro, più lungo sarà, più tempo impiegherà a compiere una completa oscillazione, ma il tempo, o periodo, di tale oscillazione aumenterà in proporzione alla radice quadrata della lunghezza dal fulcro al centro della massa.

Questo tempo, o periodo, è anche inversamente proporzionale alla radice quadrata dell'intensità gravitazionale – più correttamente chiamata accelerazione di gravità – in cui il pendolo sta oscillando.

A livello del mare, ad una latitudine di 45°, a metà strada tra il polo e l'equatore, l'accelerazione standard dovuta alla gravità è di 9,80621 metri al secondo per secondo. A queste condizioni, un puro pendolo lungo appena 0,993577 metri compirà il suo ciclo di oscillazione (andata e ritorno) in soli 2 secondi: 1 secondo per l'oscillazione in una direzione e 1 secondo per tornare indietro.

Mouton mise in evidenza che un pendolo standard di secondi poteva definire anche una lunghezza di base – la sua. (Klein, 1984, 109-110)

Nel 1675 Tito Livio Burattini propose di chiamare *metro cattolico* (cioè, universale) il campione realizzato col pendolo.

## 2.5 Il Settecento e la nascita del sistema metrico decimale

Gli interessi tecnici della scienza settecentesca, fiorita in piena rivoluzione industriale e quindi stimolata a rispondere a sempre crescenti domande pratiche, è troppo ovvia per dover essere sottolineata. Diderot in uno dei passi introduttivi alla "Enciclopedia" afferma esplicitamente che "non avremo mai uno sviluppo scientifico finché tutti gli artigiani tengono i loro segreti".

È l'epoca delle prime applicazioni della macchina a vapore (nel 1769 Watt brevettò il modello perfezionato di una macchina di tal genere, in cui per la prima volta viene sfruttato, anziché il ciclo termico, il principio della forza meccanica del vapore condensato), dei primi studi teorici e delle prime applicazioni pratiche dell'elettricità... In una parola, nasce la grande industria meccanica, e con essa tutta la problematica fisico-sperimentale che vi si connette, con ovvie e dirette ricadute sulla tecnologia della misura.

Il programma baconiano della Royal Society, procurare il dominio dell'uomo sulla natura e con esso il benessere per la società umana mediante il sapere scientifico, in questo secolo non appare un sogno utopistico, bensì uno scopo non solo storicamente attuabile, ma anzi in rapida via di attuazione: donde l'ottimismo circa le sorti del genere umano, e soprattutto circa le possibilità che a questo possono derivare dallo sviluppo della ragione, della scienza e “dell'operosa attività”.

Anche gli avversari dell'ottimismo metafisica di un Leibniz o di un Pope conservano in fondo alla loro critica una fede nella ragione e nel lavoro: Voltaire nel *Candide* conclude la sua satira contro l'ottimismo leibniziano con l'osservazione che tutto può andare bene, ma «bisogna coltivare il proprio orto»; e Rousseau, alla fine della sua violenta polemica contro la civiltà che ha corrotto tutta quanta la natura alienando l'uomo da se stesso, conserva la fede nella rigenerazione dell'umanità stessa mediante un'organizzazione razionale dello stato. (Preti, 1975, 234-235)

James Watt realizzò una macchina in grado di trasformare l'energia del vapore in lavoro meccanico nel 1780: il 26 agosto del 1789, l'Assemblea Nazionale francese approvava la *Dichiarazione dei diritti dell'uomo e del cittadino* sancendo solennemente il sacro e inviolabile diritto alla proprietà privata. Ed anche se naturalmente non è possibile formulare imputazioni causali di tipo unidirezionale fra questi fenomeni, di nuovo però possiamo constatare (come anticipato nell'Introduzione) che *solo quando una serie di invenzioni e una serie di pratiche sociali, politiche ed economiche si incontrano abbiamo vera innovazione in ambito scientifico e tecnologico*.

Le innovazioni tecno-economiche, migliorando la produttività del lavoro umano, hanno determinato la fine del regime feudale dell'autoconsumo ed incentivato la produzione per il mercato su vasta scala e la *ricerca del profitto*. D'altra parte, l'applicazione diffusa e sistematica della scienza ai processi produttivi implicava investimenti di capitali talmente elevati che non sarebbero stati pensabili se non in un clima culturale ed ideologico congeniale alla libera iniziativa e ai valori della proprietà privata e del successo individuale. (Abruzzese, Borrelli, 2000, 63)

Il problema della comunicazione sempre più diventa impellente, ma

[...]la rivoluzione industriale non avrebbe potuto assicurare la libera circolazione delle merci teorizzata da Adam Smith se non fosse stata accompagnata da un'imponente rivoluzione dei trasporti. Se si pensa che fino a quel momento il mezzo di locomozione più rapido era il cavallo, si può immaginare quale straordinaria impressione dovettero destare presso i contemporanei l'invenzione ad opera dell'americano Robert Fulton del primo battello a vapore che nel 1819 attraversò l'Atlantico, oppure la realizzazione del primo tronco ferroviario tra Stokton e Darlington in Inghilterra per merito dell'ingegnere inglese Gorge Stephenson. (ivi, 64)

E fu proprio l'adozione di uno scartamento unico per le strade ferrate europee che diede un impulso decisivo al *progetto di standardizzazione e normalizzazione internazionale* (vedi prossimo paragrafo).

E' con l'avvento del metodo sperimentale da una parte e la spinta alla collaborazione internazionale dall'altra che venne per la prima volta fortemente sottolineata la necessità di disporre di unità di misura unificate in sostituzione dell'enorme numero di unità in uso nei diversi paesi, situazione che rendeva pressoché impossibile qualsiasi confronto dei risultati ottenuti da ricercatori di diversa nazionalità nell'osservazione dello stesso fenomeno fisico. Il problema *fu tuttavia affrontato in maniera seria* solo ai tempi della rivoluzione francese quando, nel 1790, l'Assemblea Nazionale avviò il primo tentativo di costruire un sistema di unità di misura universale (con l'intento dichiarato di essere “Per tutti i popoli, per tutti i tempi”) incaricando del compito di fissare le unità di misura e i campioni delle grandezze fondamentali lunghezza e massa una commissione della quale fecero parte insigni scienziati.

Uno tra i membri dell'Assemblea era il vescovo di Autun, Charles Maurice de Talleyrand-Perigord, passato alla storia semplicemente col nome di Talleyrand. Era entrato in politica come rappresentante della chiesa negli Stati Generali, ma, nel 1789, si oppose all'ingresso del clero nell'Assemblea Nazionale.

Quando la prima Costituente stava volgendo al termine nel 1791, Talleyrand si espresse in favore dell'istruzione gratuita fino all'università e sostenne che la religione – ma non un particolare dogma o una fede specifica – doveva essere insegnata nelle nuove scuole pubbliche.

Circa un secolo dopo la proposta di Mouton, l'iniziativa per una riforma del sistema dei pesi e delle misure fu sostenuta a livello politico nell'Assemblea Nazionale Rivoluzionaria di Francia dal vescovo Autun, più noto come Charles Maurice de Talleyrand. Nell'aprile del 1790, Talleyrand propose all'Assemblea un progetto basato su un'unità di lunghezza determinata da un pendolo che batteva secondi di tempo. Nuove e più precise indagini scientifiche erano necessarie per stabilire questa lunghezza. Tale progetto fu accolto favorevolmente dall'Assemblea e Luigi XVI approvò una legge in proposito il 22 agosto 1790. (McCoubrey, 1983, 588)

Questa legge prevedeva che il re suggerisse anche al parlamento inglese di procedere in tal senso e che la Royal Society di Londra e l'Accademia delle Scienze di Parigi collaborassero al fine di sviluppare la ricerche scientifiche necessarie a determinare definitivamente questa unità di base.

Viene invitata l'Accademia delle Scienze a contattare la Royal Society. Non giunge alcuna risposta e la Francia continua da sola sulla strada metrica.

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, ebbe l'incarico di fissare l'unità di lunghezza tra 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*, affidando a Delambre e a Méchain il compito di misurare la lunghezza del meridiano e a Lavoisier quello di misurare la massa di un volume d'acqua noto e di definirne operativamente l'unità, precedentemente chiamata *grave*. (Fazio, 1995, 190)

L'obiettivo di universalità che fu alla base di tutti i lavori proposti dall'Assemblea Nazionale era tipico dello spirito illuminista.

Talleyrand proponeva di rinunciare all'idea (diffusa sotto l'Ancien Régime e cara alla monarchia) di estendere a tutta la Francia le misure di Parigi. Proponeva, invece, di fissare un nuovo prototipo che doveva essere scelto nella natura («pris dans la nature») e poteva perciò essere accettato da tutte le nazioni. Auspicava, inoltre, che fin dall'inizio i lavori preparatori fossero condotti dall'Assemblea Nazionale e dall'Accademia delle Scienze francese assieme al Parlamento britannico e alla Royal Society.

L'8 maggio 1790 queste proposte furono approvate dall'Assemblea Nazionale, che affidò l'esecuzione della riforma all'Accademia delle Scienze, ordinando al tempo stesso che a questa fossero inviate dalle province tutte (!) le misure in uso. Si pensava che l'operazione sarebbe stata semplice: si prevedeva, infatti, che entro sei mesi dall'invio dei nuovi campioni «le vecchie misure sarebbero abolite e sostituite dalle nuove».

Apparentemente si trattava di un passo importante verso la realizzazione di un'antica aspirazione della monarchia. E tuttavia il re pareva non avere alcuna fretta di apporre la sua sanzione al progetto. Lo fece soltanto il 22 agosto 1790, mentre l'11 novembre dello stesso anno affidò a Condorcet, allora segretario dell'Accademia, il compito di condurre in porto l'operazione. (Kula, 1987, 243)

Voglio ora anche mettere in luce che l'obiettivo di universalità era un obiettivo *del tutto nuovo e rivoluzionario*.

Nel secolo XVIII le unificazioni premetriche non hanno obiettivi universali; al contrario, come di regola fin dal tempo della dinastia carolingia, le misure sono attributo del sovrano e devono essere in vigore fin dove si estende il suo potere. Obiettivi universali, globali se li pone la riforma metrica. (ivi, 130)

I sistemi di misura tradizionali più conosciuti risalgono a tempi antichi e sono il risultato dell'evoluzione di pratiche tradizionali usate in quelle società. *Il sistema metrico, invece, fu creato dal niente*: ebbe come base i principi scientifici più certi disponibili all'epoca della sua invenzione e fu ideato con lo scopo di soddisfare le nuove esigenze emerse a seguito dello sviluppo del commercio e dell'industria. L'impegno civile che caratterizza l'illuminismo, onde la cultura filosofica deve scendere alla considerazione dei concreti problemi della società, commisurarsi con questi ultimi indicando nel contempo le soluzioni più confacenti ai veri interessi della società, è certamente alla base di questo imponente sforzo.

Date ascolto alla vostra passione per la scienza dice la natura, ma cercate che la vostra scienza sia umana e tale che possa avere un legame diretto con l'azione e la società[...]Sii filosofo, ma in mezzo a tutta la tua filosofia resta pur tuttavia un uomo.(Hume,1957,8)

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

Ciò che si rimproverava alla molteplicità dei gerghi veniva rimproverato anche alla diversità di pesi e misure: la legna da ardere era venduta a corde, il carbone di legna a carrate, il carbon fossile a carra, l'ocra a botti, e il legname per carpenteria al marco o alla solive. Si vendevano i frutti di cedro alla poinçonnée, il sale al moggio, al sestario, a mine, a mezza mine, a staia, a once; la calce si vendeva al poinçon, e i minerali alla raziara. Si comprava l'avena a profonda e il gesso a sacchi; il vino a pinta, a mezza pinta, a caraffa, a roquille, a boccale e a mezzetta. L'acquavite si vendeva a brente, il grano a moggi e a salme. Le stoffe, i tappeti e la tappezzeria si compravano ad aune; boschi e prati venivano misurati in pertiche, i vigneti in daureés. L'arpento valeva dodici hommées, misura che indicava una giornata di lavoro di un uomo; altrettanto valeva per l'ouvrée. Gli speciali pesavano in libbre, once, dramme e scrupoli; la libbra valeva dodici once, l'onda otto dramme, la dramma tre scrupoli, e lo scrupolo venti grani.

Le lunghezze erano misurate in tese e in piedi del Perù, che equivalevano a un pollice, una logne, e otto punti di piede del Re, il quale piede poteva essere quello del re di Macedonia o di Polonia, e anche quello delle città di Padova, di Pesaro e Urbino. Era, molto approssimativamente, l'antico piede della Franca Contea, del Maine e del Perche, e il piede di Bordeaux per l'agrimensura. Quattro di questi equivalevano più o meno all'auna di Laval, cinque formavano l'esapodo dei Romani, che era pari alla canna di Tolosa e alla verga di Norai. C'era poi quella di Raucourt, e anche la corda di Marchenoir en Dunois. A Marsiglia, la canna per le lenzuola era di circa un quattordicesimo più lunga di quella per la seta. Che confusione: sette-ottocento nomi!

«Due pesi e due misure!» era il simbolo stesso dell'ineguaglianza.(Guedj,2001,24)

Ed in effetti la diversità delle misure nell'età feudale aveva lasciato evidentemente libero campo alle dispute e alle ingiustizie sociali.

Le misure premetriche - proprio perché hanno un carattere non convenzionale ma significativo, perché sono un attributo del potere e uno strumento per imporre il privilegio di classe e perché attorno ad esse si è accesa spesso violenta la lotta di classe - posseggono un ricco e concreto contenuto sociale, che la metrologia storica avrebbe il compito di portare alla luce.( Kula, 1987, 109)

Va anche messo in luce che gli ideali e i valori nuovi erano del tutto compatibili con l'evidenza, considerata indiscutibile agli albori della società moderna, che la proprietà privata era un fattore decisivo di progresso economico. Ciò includeva la necessità di una profonda rivoluzione di tutti i rapporti sociali e di tutti i modi di vivere, ma anche quindi di tutte le istituzioni che regolavano il lavoro, la produzione e in generale tutta la vita sociale. Lo squilibrio fra il dinamismo delle strutture economiche e "l'arretratezza" delle istituzioni (politico-amministrative, culturali, religiose, civili) fu percepito in maniera sempre più consapevole dagli uomini di governo e dai ceti intellettuali. Questo passaggio decisivo della storia dell'umanità è stato descritto davvero in maniera mirabile in alcuni importanti aspetti e sfaccettature da Michel Foucault. In tentativi celebri, rimasti nella storia della filosofia e della letteratura, di originale ricostruzione storica di alcune fondamentali istituzioni

Foucault ha cercato di reperire in una serie di esempi le tecniche e le strategie che si sono più di altre generalizzate. Tecniche, come lui afferma, spesso *attente al dettaglio* che definiscono una nuova *microfisica del potere*, per usare una sua famosa espressione. In *Sorvegliare e punire*, per esempio, nel descrivere la nascita della istituzione penitenziaria moderna a lungo si sofferma sulle esigenze di precisione talvolta minuziosa che il nuovo atteggiamento richiedeva.

Per ammonire gli impazienti, ricordiamo il maresciallo di Saxe: «Benché coloro che si occupano dei dettagli passino per persone limitate, mi sembra tuttavia che questa parte sia essenziale, poiché è il fondamento ed è impossibile costruire alcun edificio né stabilire alcun metodo senza averne i principi. Non basta aver il gusto dell'architettura. Bisogna conoscere il taglio delle pietre». Di questo «taglio delle pietre» ci sarebbe tutta una storia da scrivere - storia della razionalizzazione utilitaria del dettaglio nella contabilità morale e nel controllo politico. L'età classica non l'ha inaugurato, l'ha accelerato, ne ha mutato la scala, le ha dato strumenti precisi e, forse, ne ha trovata qualche eco nel calcolo dell'infinitamente piccolo o nella descrizione dei più minuscoli fra gli esseri naturali[...]La minuzia dei regolamenti, lo sguardo cavilloso delle ispezioni, il controllo sulle minime particelle della vita e del corpo daranno ben presto, nell'ambito della scuola, della caserma, dell'ospedale o dell'opificio, un contenuto laicizzato, una razionalità economica o tecnica a questo calcolo mistico dell'infimo e dell'infinito. [...]Una minuziosa osservazione del dettaglio e, nello stesso tempo, un'assunzione politica delle piccole cose, per il controllo e l'utilizzazione degli uomini, percorrono l'età classica, portando con sé tutto un insieme di tecniche tutto un corpus di procedimenti e di sapere, di descrizioni, di ricette e di dati. E da queste inezie, senza dubbio, è nato l'uomo dell'umanesimo moderno.(Foucault,1976, 151-153)

Niente deve essere lasciato all'arbitrio e al disordine. Il sogno di una società perfetta è il sogno di una società ordinata. Alla base c'è la speranza, il tentativo, di costituire una sorta di vita al riparo di tutto ciò che può portare scompiglio, disordine.

La costituzione di *quadri* è stata uno dei grandi problemi della tecnologia scientifica, politica ed economica del secolo XVIII: sistemare orti botanici e giardini zoologici, e costruire nello stesso tempo classificazioni razionali degli esseri viventi; osservare, controllare, regolarizzare la circolazione delle merci e della moneta, e costruire, nello stesso tempo, un quadro economico che possa valere come principio di arricchimento[...] (ivi,161)

Questa è certo una tecnica di potere come le precedenti, ma Foucault sottolinea che è anche un *procedere conoscitivo*.

Il quadro, nel secolo XVIII, è insieme una tecnica di potere ed un procedimento di sapere. Si tratta di organizzare il multiplo, di darsi uno strumento per percorrerlo e padroneggiarlo; si tratta di imporgli un *ordine* [...]ordinamento spaziale degli uomini, tassonomia, spazio disciplinare degli esseri naturali; quadro economico, movimento regolato delle ricchezze.(Ibidem)

In questo caso potremmo dire che il potere non è *qualcosa che si ha* ma è qualcosa di cui si è attraversati, che funziona cioè come un meccanismo.

Non è un potere trionfante, che partendo dal proprio eccesso può affidarsi alla propria sovrapotenza: è un potere modesto, sospettoso, che funziona sui binari di un'economia calcolata, ma permanente.(ivi, 186)

E' in questa cornice storica e politica quindi che la Commissione composta da Borda, Lagrange, Laplace, Monge e Condorcet( a stretto contatto con loro, fino a quando venne ghigliottinato per ordine della Convenzione, vi fu, come visto, anche il grande chimico Antoine Lavoisier) ebbe il merito di dare a tutte le generazioni che seguirono il primo sistema di misura scientifico. Gli Accademici presentarono il loro rapporto nel marzo del 1791, e il 26 dello stesso mese l'Assemblea Costituente istituì la Commissione Generale dei Pesi e Misure, «per far cessare - diceva il decreto - la stupefacente e scandalosa diversità delle nostre misure»(cit. in Mondini, 1977, 334).

I padri fondatori del sistema metrico erano persone dotate di conoscenze universali, uomini dal sapere enciclopedico, che contribuirono a redigere i 36 volumi dell'Enciclopedia di D'Alambert e Diderot.

Come visto il principio guida implicato nella fase iniziale dell'elaborazione del sistema metrico riconosceva la necessità di definire alcune unità base di misura secondo criteri universalmente accessibili e collegati alla Natura, oltre al bisogno di far derivare tutte le altre unità di misura necessarie, utilizzando regole logiche. Durante il discorso all'Assemblea del 26 marzo 1791 Condorcet affermò:

Abbiamo ritenuto che non fosse necessario attendere la partecipazione delle altre nazioni, né per decidere sulla scelta dell'unità di misura, né per cominciare le operazioni. Infatti, abbiamo escluso da questa scelta ogni determinazione arbitraria, ammettendo soltanto quegli elementi che appartengono allo stesso modo a tutte le nazioni. Dunque non appaiono motivi che diano adito al rimprovero di aver voluto ostentare una sorta di preminenza. In una parola, se la memoria di questi lavori dovesse cancellarsi, se ne restassero soltanto i risultati, essi non ci offrirebbero niente che possa servire a far conoscere quale nazione ne ha concepito l'idea e ne ha realizzato l'esecuzione. (citazione in Guedj, 2001, 38)

L'affermazione riguardante l'esclusione di ogni tipo di *determinazione arbitraria* è, comunque, più discutibile e meno scontata di quanto possa apparire. Per esempio la componente di "convenzionalità" sarà subito evidente nella definizione delle prime unità di misura universali del sistema metrico, come presente in maniera decisiva lo è anche nella definizione di quelle contemporanee (decisamente più sofisticate, vedi prossimo paragrafo). Voglio comunque qui mettere in luce che, almeno a mio avviso, nel concetto di Natura tipico dei filosofi illuministi, giocano un ruolo, come in altre epoche storiche e culturali,

capacità ideative, assunzioni di principio, pratiche operative e potenzialità che canalizzano l'accesso a quelle categorie in cui si può "incontrare" la realtà: una dimensione che, a livello cognitivo, è stata indicata come una *capacità di sfondo* e che imposta vere e proprie percezioni diverse della natura nei soggetti, o [...] scuole di pensiero. (Gagliasso, 2001, 61)

Quindi, tenendo anche presente tutte le altre considerazioni fatte precedentemente in questo paragrafo, si può ipotizzare che i temi qui discussi sono un esempio di come

sin nelle sue rappresentazioni scientifiche più elaborate, la società descrive spesso la natura per analogia con la propria organizzazione. Non di rado il modo in cui concepisce l'ordine della natura è anche un modo di legittimare la propria struttura. (Deléage, 1994, cit. in Gagliasso, 2001, 46)

E, come cercherò di mostrare (vedi in particolare prossimo paragrafo), in questo caso (come talvolta avviene) l'idea di natura rispecchia più un'esigenza del soggetto che la realtà in quanto tale. Soggetto che, peraltro, è sempre anche un soggetto biologico e dunque parziale per ragioni bio-strutturali oltre che storico-sociali (Gagliasso, 2001). In generale alcuni sottolineano (vedi per esempio Piaget, 1962, 1967, e 1981) che il *reale* sia definibile solo ponendolo in relazione al soggetto e al suo sistema sociale e culturale. Non può, dunque, che essere convenzionalmente stabilito e varierà da un periodo storico all'altro in base al livello di conoscenze scientifiche raggiunte. Ricordo che *il ruolo del soggetto* è ormai all'ordine del giorno nella ricerca epistemologica attuale, come inter-soggettività attiva e costruttiva in una comunità scientifica (vedi per esempio Fox Keller, 1996 e Gagliasso, 2001).

A questo proposito un'ultima considerazione vorrei qui ancora fare (prima di tornare subito alla storia del sistema metrico) sugli ideali di "universalità e razionalità" illuministi. Questi ideali non solo hanno segnato, come appena detto, l'avvento della società moderna ma, almeno secondo l'analisi di alcuni (vedi per esempio Foucault, 1976 e 1994), sono alla base della stessa nascita del *soggetto moderno* che nella ricerca di una *apparente* universalità assume di fatto se stesso ad universale. In quest'ottica i concetti e i valori di riferimento dipendono cioè da un *processo di normalizzazione operato da coloro che decidono le norme* (vedi anche prossimo paragrafo): l'idea di soggetto moderno viene così partorita da un insieme di pratiche concrete che hanno a che fare con l'esigenze della società.



Ma torniamo alla storia del sistema metrico. Come avevo iniziato ad accennare precedentemente si pensò che l'unità di base più appropriata fosse la lunghezza.

L'unità della massa sarebbe stata rappresentata dalla massa d'acqua necessaria a riempire un volume corrispondente a quell'unità. L'unità del tempo sarebbe stata calcolata in base ai battiti di un pendolo che avesse la lunghezza di un'unità [...] L'idea di porre un insieme costituito dal più piccolo numero possibile di unità di base come fondamento per la derivazione di tutte le altre unità di misura richieste dalla società, fa parte oggi del nostro moderno sistema di unità di misura[...]L'Accademia delle Scienze francese creò diverse commissioni che svolsero le ricerche e proposero dei rapporti il 27 ottobre 1790 e il 19 marzo 1791. Il primo di questi rapporti accoglieva le raccomandazioni e sollecitava l'adozione di un sistema decimale. Il secondo rapporto prendeva in considerazione diverse alternative possibili per definire l'unità di lunghezza e consigliava l'adozione di un'unità corrispondente a un decimilionesimo di distanza sulla superficie della terra dal Polo Nord all'Equatore. A questa unità venne dato il nome di "metro", che deriva dalla parole greca *metron*, che, a sua volta, significa "una misura". (McCoubrey, 1983, 588)

L'unità di massa adottata fu il *kilogrammo*, definito come la massa di un decimetro cubo di acqua distillata alla temperatura della sua massima densità (3,98 °C). Il comitato decise infatti che l'unità di peso (massa), sarebbe equivalsa alla quantità di acqua contenuta in un cubo il cui lato corrispondesse a un centesimo del metro che ancora non era stato individuato. In tal modo il peso di un centimetro cubo di acqua distillata fu chiamato grammo. Era noto che il peso di un certo volume d'acqua variava in base alla temperatura. Inizialmente si decise di utilizzare la temperatura dell'acqua in cui il ghiaccio inizia sciogliersi (0° C nella scala moderna). In seguito, si ritenne necessario cambiare quella temperatura e di sostituirla con quelle in cui l'acqua raggiunge il massimo della sua densità, cioè circa 4° C. Sebbene possa sembrare strano l'acqua è più densa a quella temperatura di quanto non lo sia a temperature inferiori a 0° C.

Le proposte del comitato furono subito accettate dall'Assemblea Costituente nel 1791. Successivamente venne adottato come unità di capacità o di volume il *litro*, ovvero il volume di un kilogrammo di acqua distillata a 3,98 °C, che risultò essere pari a 1,000028 dm<sup>3</sup>. Era nato in questo modo ( e fu istituito poi con decreto legge del 7 aprile 1795) il *Sistema Metrico Decimale*(SMD). Con la rapidità tipica dei tempi in cui tutto cambia velocemente, l'Assemblea procedette ad attuare le raccomandazioni del comitato dell'Accademia.

E' così quindi che fu definito per la prima volta in maniera ufficiale il metro, come la frazione  $1/10^7$  dell'arco di meridiano terrestre dal polo all'equatore. Il rapporto dell'Accademia Francese del marzo 1791 raccomandava anche un metodo per determinare il modello per l'unità di base di lunghezza. Due astronomi e topografi furono nominati per affiancare Borda sulla misurazione delle lunghezze di un quadrante di meridiano: J. B. J. Delambre e P. F. A. Méchain. Non vi fu bisogno di dividere in triangoli un intero quadrante partendo dal Polo Nord fino all'Equatore: i tre scienziati scelsero un settore pari a circa un nono di quadrante (10 gradi di latitudine) che si estendeva da Dunkirk, sulla Manica, fino ad una località situata nei pressi di Barcellona, sulla costa meridionale della Spagna. Questa misurazione infatti, associata ad accurate osservazioni astronomiche nelle due città, permetteva di calcolare la lunghezza dell'intero quadrante del meridiano dal polo all'equatore. Uno dei vantaggi della scelta era che entrambe le estremità dei settori erano a livello del mare. Questo lavoro durò dal 1792 al 1799. I ricercatori incontrarono ostacoli di varia natura, alcuni divertenti altri drammatici (vedi per i dettagli di questa importante vicenda Guedj, 2001), ma le prime informazioni fornite consentirono di stabilire un modello di lunghezza preliminare.

Ma in questa storia c'è un altro livello, più profondo, più grave e tragico. Le avventure che costellano questo viaggio non potrebbero celare che si tratta della ricerca di una misura, «per tutti i tempi, per tutti gli uomini», secondo le parole di Condorcet, nel bel mezzo della dismisura rivoluzionaria. Di una misura ricavata dalla natura, adorna delle virtù della filosofia dei Lumi e dei valori della Rivoluzione - uguaglianza, universalità, obiettività, invariabilità - rischiarati dalla

Ragione. Una specie di Graal metrologico, dove la quète, la ricerca della perfezione impossibile, fu soprattutto quella di Méchain. Non vi sopravvivrà.(Guedj,2001,11)

Le misurazioni effettuate tra Dunkirk e Barcellona modificarono lo standard del metro di poco meno di 0,3 millimetri – meno di tre decimillesimi.

Questo fatto dimostra che le proiezioni, fin dalle prime e limitate ricerche, erano state accurate, soprattutto se le si rapporta a questa operazione, che richiese un lavoro di 6 anni e fu effettuata su una distanza di 1,1 milioni di metri. [...] Sappiamo ora che la lunghezza di un quadrante di meridiano standard è di 10.002.288,3 metri, poco più di 2 decimillesimi più grande della lunghezza del quadrante individuata durante la spedizione di Dunkirk e Barcellona. Il resoconto dettagliato di questa ricerca fu pubblicato in tre volumi da Delambre col titolo di *Base del sistema metrico*.(Klein,1989,115)

Come già ricordato, le nuove unità di misura furono ufficialmente adottate con obbligo di legge nel 1795. Riporto gli articoli più significativi di quello storico provvedimento( vedi Mondini, 1977, Guedj, 2001, Ferraro, 1965).

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

*Questo tipo sarà eseguito colla massima precisione, giusta le esperienze e le osservazioni dei commissari incaricati della determinazione, e sarà depositato presso il Corpo Legislativo, in un col processo verbale delle operazioni che avranno servito a determinarlo, affinché possano essere verificati in ogni tempo.*

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

*ART.IV. L'estrema precisione che sarà data al campione di platino, non potendo influire sull'esattezza delle misure d'uso comune, coteste misure continueranno ad essere fabbricate secondo la lunghezza del metro adottata dagli anteriori decreti.*

*ART.V. Le nuove misure saranno quindi distinte col soprannome di repubblicane; la loro nomenclatura è definitivamente adottata come segue.*

*Si chiamerà:*

*Metro, la misura eguale alla diecimilionesima parte dell'arco del Meridiano terrestre compreso fra il polo boreale e l'equatore;*

*Ara, la misura di superficie pei terreni, eguale ad un quadrato di dieci metri di lato*

La nuova ricerca fu completata nel novembre del 1798 e, sulla base delle definizioni, la costruzione dei modelli definitivi per la lunghezza e la massa venne completata nel giugno del 1799. Il 22 giugno 1799 i prototipi del metro e del chilogrammo furono presentati al Consiglio degli Anziani e dei Cinquecento. Giustamente Napoleone affermò, riferendosi al sistema metrico decimale: «*Les conquêtes passent, mais ces opérations restent*»<sup>1</sup>.

Il primo metro campione era una sbarra di platino a sezione rettangolare di 25,3 x 4 mm; il chilogrammo era invece un cilindro di platino, la cui massa era riferita alla temperatura della massima densità dell'acqua, grazie agli studi dell'italiano Fabbroni che aveva misurato con cura la variazione di densità dell'acqua con la temperatura.(Fazio,1995,191)

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

Fu solo dopo molti anni che vennero adottate anche l'unità di tempo, *il secondo*, definito inizialmente come *la frazione 1/86400 della durata del giorno solare medio* (scartata l'idea di definire l'unità di tempo in base ai battiti di un pendolo lungo un metro, con la scoperta che *g* cambia a seconda di alcune condizioni) e di temperatura, il *grado Celsius*, definito come la centesima parte dell'intervallo compreso tra i punti di solidificazione (0 °C) e di ebollizione (100 °C) dell'acqua alla pressione di 1 atm.

La disputa su come misurare il tempo in effetti si era protratta per un lungo periodo. Come visto la nuova filosofia della misura era basata su due cardini: il sistema decimale e la natura. La natura come legittimità, il sistema decimale come effettività. La misura dello spazio si fondava sulla terra stessa: e perché la misura della durata non si sarebbe dovuta ancorare anch'essa al corso della natura? E il sistema decimale, che quantificava l'uno, avrebbe registrato l'altro. C'erano cento centimetri in un metro, perché non inserire cento minuti in un'ora? Ma per questo sarebbe stato necessario distruggere e ricostruire tutti gli orologi esistenti. E ciò non fu considerato realistico neppure dai rivoluzionari!

Ciononostante la Convenzione Nazionale nominò un comitato con l'incarico di elaborare i dettagli di un nuovo calendario. Questo comitato era diretto da G. C. Romme, che, come presidente del comitato della pubblica istruzione della Convenzione, era anche Ministro dell'Istruzione. Gli altri membri erano Lagrange e Monge e il poeta Fabre d'Eglantine.

Dopo quasi un anno, nel settembre del 1793, il comitato presentò le proprie proposte alla Convenzione, che le adottò. Il 5 ottobre 1793 divenne il 14 Vendémiaire dell'anno II, e, retrospettivamente, il 22 settembre 1792 divenne il primo Vendémiaire dell'anno I.

Nel calendario della nuova Repubblica ogni anno doveva iniziare con il primo Vendémiaire, che corrispondeva al 22 o al 23 settembre del calendario gregoriano allora in uso. I dodici mesi di trenta giorni ciascuno furono ribattezzati e i loro nomi furono ispirati dal tempo meteorologico o dai lavori agricoli:

Autunno

Vendémiaire (mese del vino della vendemmia: dal 23 settembre al 21 ottobre)

Brumaire (mese della nebbia: dal 22 ottobre al 20 novembre)

Frimaire (mese del gelo: dal 21 novembre al 20 dicembre)

Inverno

Nivôse (mese della neve: dal 21 dicembre al 19 gennaio)

Pluviôse (mese della pioggia: dal 20 gennaio al 18 febbraio)

Ventôse (mese del vento: dal 19 febbraio al 20 marzo)

Primavera

Germinal (mese dei germogli: dal 21 marzo al 19 aprile)

Floréal (mese dei fiori: dal 20 aprile al 19 maggio)

Prairial (mese del prato: dal 20 maggio al 18 giugno)

Estate

Messidor (mese del raccolto: dal 19 giugno al 18 luglio)

Thermidor (mese caldo: dal 19 luglio al 17 agosto)

Fructidor (mese dei frutti: dal 18 agosto al 17 settembre) (Klein,1989,118)

Il calendario repubblicano venne utilizzato in Francia per tutto il periodo del Direttorio e fu abolito il primo gennaio 1806 da Napoleone che, volendo ripristinare le tradizioni, si stava riavvicinando alla Chiesa.

Napoleone non mostrò particolare entusiasmo per la riforma metrica in quanto tale. Dall'inizio del suo governo come Primo Console fino al 1812, l'anno del suo fallito tentativo di diventare anche dittatore della Russia, il sistema metrico ebbe un ruolo in qualche modo ambiguo in Francia. Fu usato da scienziati, uomini di cultura e burocrati e, grazie al sistema dell'istruzione pubblica unificato e rigidamente controllato, una nuova generazione di alunni familiarizzò man mano con le sue unità e le sue basi teoriche. Ma la gente comune, negli scambi commerciali quotidiani, continuò ad utilizzare le vecchie unità, ben più note, quali *pieds*, *pouces*, *livres*, *bosseaux* e tante altre. Solo

nel 1837 la Francia abolì tutte le unità non metriche e impose multe nel caso fossero ancora adottate.

Di per sé il sistema metrico non ha un particolare valore. Le misure primitive, come in generale tutte quelle esistenti fino agli inizi del capitalismo, hanno un carattere significativo, significano cioè qualche cosa, esprimono qualcosa di umano, legato alla persona umana o alle condizioni della sua vita e del suo lavoro. Il sistema metrico no.

E non è affatto vero che sia naturale e facile da usare.

Tutto il nostro modo di pensare in termini quantitativi si fonda sul sistema decimale. Esso ci appare perfetto nella sua semplicità e incredibilmente facile da usare.

Eppure [...] tale sistema apparve alle masse incredibilmente difficile.

Già Leibniz aveva dimostrato, in verità, che non era tanto il sistema decimale a rivelarsi così perfetto, quanto l'invenzione della cifra «zero», e che è possibile costruire un sistema altrettanto o persino più perfetto basandosi su raggruppamenti per otto o per dodici. Ma non si tratta adesso di questo.

Quando si parla di tali problemi, si sente spesso dire che il sistema decimale è «privilegiato dalla natura», dal momento che l'uomo incolto conta sulle dita e queste sono per l'appunto dieci. Chi dice una cosa del genere è da compatire. Personalmente io non ho dieci, ma venti dita. I nostri interlocutori si dimenticano delle altre dieci, perché nella vita quotidiana esse sono per noi, diciamo francamente, di difficile accesso. Ma tali non erano per coloro che un tempo andavano scalzi o in sandali e stavano per lo più seduti «alla turca». Al contrario: era più facile contare sulle dita dei piedi, perché con una stessa mano si poteva contare fino a dieci.

Non deve quindi stupirci se, nonostante questo apparente fondamento «naturale», il raggruppamento decimale si incontra relativamente di rado presso le popolazioni primitive. Più di frequente si incontra invece la numerazione per venti. (Kula, 1987,90)

Dal punto di vista storico e sociale però il sistema metrico decimale segna una tappa importantissima dell'umanità verso l'obiettivo di un linguaggio comune globale, per la comprensione, la comunicazione e la collaborazione reciproca.

Non c'è dubbio quindi, almeno a mio avviso, che sia un prodotto di una società più “giusta”. Ma deve anche essere decisamente sottolineato che il suo successo è legato *ad una più ampia strategia pensata economicamente*.

Due condizioni, e non insignificanti, sono tuttavia indispensabili perché una società possa adottare misure puramente convenzionali: deve vigere in quella società un'effettiva uguaglianza di fronte alla legge e deve essere portato a compimento il processo di alienazione delle merci.

Non c'è posto per le misure convenzionali - e quindi per il sistema metrico - là dove gli uomini sono soggetti a leggi diverse. Disuguaglianza di fronte alla legge è anche disuguaglianza di diritti di fronte alle misure: c'è sempre almeno uno che le detta e un altro che le subisce, ognuno ha la sua e il più forte la impone al più debole. La misura non è impersonale, è «umana», appartiene agli uni e non appartiene agli altri, dipende dalla volontà di colui che detiene su di lei il potere.

Soltanto l'uguaglianza di fronte alla legge rende possibile l'uguaglianza di fronte alle misure. La misura cessa di dipendere dalla volontà di chicchessia, e simbolicamente ciò si esprime nell'essere collegata alle dimensioni della sfera terrestre, sulle quali nessuno può in alcun modo interferire. Davanti alla misura tutti devono inchinarsi, sia il re, sia il mendicante. E infine, la misura deve potersi alienare, come la merce.

Il prodotto artigianale, fatto a mano, su ordinazione e in modo conforme ai desideri concreti del cliente, contiene in sé un duplice marchio umano: quello di colui che l'ha fatto e quello di colui per cui è stato fatto. Ogni artigiano ha un suo «stile», ogni acquirente le sue esigenze. Fra le varie caratteristiche qualitative del prodotto artigianale, caratteristiche individuali e irripetibili, c'è anche la «misura». Una misura che per gli uni è «buona», per gli altri «cattiva». Una misura le cui concrete dimensioni sono concordate in un rapporto umano diretto, attraverso discussioni, mercanteggiamenti e compromessi. [...]

Le misure tradizionali erano molteplici «umane». Esprimevano l'uomo e il suo lavoro, dipendevano a volte dalla sua volontà, a volte invece dal suo carattere o dai suoi rapporti con il vicino. Ma nello stesso tempo le misure tradizionali aprivano infiniti spazi agli abusi, alle offese, al prepotere del più forte sul più debole. Il metro, «disumanizzando» le misure, nel renderle indipendenti dall'uomo, «oggettive» nei suoi confronti, moralmente neutre, le trasforma al tempo stesso da strumento della prepotenza umana in un mezzo capace di facilitare la comprensione e la collaborazione fra gli uomini. (ibid, 134-135)

*Ogni misura*, afferma Kula( Kula,1987), in quanto istituzione sociale, è *espressione di una particolare categoria di rapporti fra gli uomini* e perciò può informarci di questi rapporti. E le

successive adozioni ( come vedremo nel prossimo paragrafo) del sistema metrico sono una precisa *misura* del più importante avvenimento storico del genere umano: quello della sua cooperazione.

## 2.6 L'Ottocento e il Novecento

Passa molto tempo prima che il carattere internazionale del sistema metrico trovi una sua forma organizzativa. Ciò avverrà in una conferenza tenuta a Parigi che si conclude l'8 maggio 1875 con una convenzione internazionale e con la creazione, a spese di tutti i partecipanti, di un ufficio internazionale dei pesi e delle misure a Parigi. La convenzione è sottoscritta in un primo momento da Russia, Germania, Impero austro-ungarico, Belgio, Brasile, Argentina, Danimarca, Spagna, Stati Uniti, Francia, Italia, Perù, Svezia, Norvegia, Svizzera, Turchia e Venezuela. Ma ciò aveva avuto una lunga preparazione. Nel 1869 il governo francese aveva proposto la Commissione Internazionale del Metro per la costruzione dei campioni internazionali, che tentò di riunirsi nel 1870. La riunione andò però deserta per lo scoppio della guerra tra Francia e Germania. Nel 1873 il governo francese decise di convocare di nuovo a Parigi una conferenza diplomatica sui problemi della metrologia. Nel 1875 infine avvenne la firma della Convenzione del Metro e la nascita del Bureau International des Poids et Mesures ( BIPM) come organo scientifico permanente con sede a Parigi. Va messo in evidenza che l'opposizione più seria venne dall'Inghilterra.

Sconfitto Napoleone ed evitata l'ondata rivoluzionaria che spazzava il continente, gli Inglesi non vedevano ragioni sufficienti per adottare in casa propria il metro, che era pur sempre una delle riforme della Rivoluzione. Tanto più che non se ne avvertiva la necessità. L'Inghilterra, il regno da secoli meglio amministrato in Europa, dalla metà del secolo XVIII aveva misure relativamente più unificate che altrove. In realtà la sterlina si divideva per venti, lo scellino per dodici e la libbra per sedici, ma la popolazione era abituata da generazioni a quel tipo di suddivisione. E che quelle suddivisioni per venti, sedici e dodici presentassero grandi vantaggi l'abbiamo già detto. Il commercio con le colonie si svolgeva senza problemi in misure inglesi, dal momento che i colonizzatori si erano portati oltre oceano le loro misure. Il commercio con il continente europeo seguiva strade consolidate da secoli, e se qualcosa lo disturbava non era certo la diversità delle misure. (Kula, 1987,295-296)

Come forse è a tutti noto ora in Inghilterra, anche se il sistema metrico è stato ufficialmente adottato da tempo, in pratica non è ancora universalmente utilizzato. Sarebbe utile riflettere sulle cause di una tale situazione, la prima di tutte come si indicava nella precedente citazione rappresentata dal fatto che l'Inghilterra aveva avuto da tempo misure più unificate che altrove. Ma ciò, sia per motivi di spazio che di competenza andrebbe oltre i compiti che mi sono riproposto in questo scritto.

Nel 1889 la I CGPM ufficializza i nuovi campioni internazionali in platino-iridio da distribuire ai paesi membri della Convenzione.

Nel 1960 il campione artificiale del metro verrà sostituito da un campione naturale, il metro ottico, definito come un multiplo della lunghezza d'onda della luce emessa dall'isotopo 86 del kripton; nel 1983 la 17<sup>a</sup> C.G.P.M. ridefinirà il metro come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un ben definito intervallo di tempo. Anche la definizione dell'unità di tempo, il secondo( definito inizialmente, come visto, come la frazione 1/86400 della durata del giorno solare medio) fu poi rivista.

E' importante vedere come si è arrivati a queste nuove definizioni.

La necessità di disporre di campioni rigorosamente invariabili, riproducibili e universali spinse i primi studiosi di metrologia, come abbiamo visto, 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. Già nel 1870 Maxwell sottolinea che le lunghezze d'onda, i periodi di vibrazione e le masse dei sistemi atomici danno ben altre garanzie di eternità, invarianza, identità e disponibilità delle analoghe grandezze relative a sistemi macroscopici. E così Popper( la prima stesura della *Logica della scoperta scientifica* è del 1934) può anticipare:

[...]ma le unità di misura del sistema di coordinate che in un primo tempo furono anche definite mediante nomi individuali ( la rotazione della terra, il metro campione di Parigi) possono essere definite, in linea di principio, mediante nomi universali: per esempio, mediante la lunghezza d'onda o la frequenza della luce monocromatica emessa da un certo tipo di atomi trattati in un certo modo.(Popper, 1990, 50)

Piuttosto recentemente, è stato scoperto che i cristalli di quarzo possono essere tagliati in modo tale da risuonare a precise frequenze di oscillazioni elettriche. Gli orologi meccanici, corretti e controllati attraverso l'interazione tra cristalli e oscillazioni elettriche, hanno portato a numerosi progressi all'interno della strumentazione utilizzata per misurare il tempo. Durante la Seconda Guerra Mondiale, lo sviluppo di radar sofisticati e di circuiti a microonde aumentò le possibilità di controllo sulle oscillazioni ad alta frequenza. Tali oscillazioni, provocate dall'uomo e identiche a quelle delle onde radio corte, furono sintonizzate in modo da corrispondere a specifici cambiamenti di energia nelle molecole e negli atomi. Questi cambiamenti furono accuratamente misurati nei termini delle oscillazioni elettromagnetiche che emettevano o assorbivano. *Ogni oscillazione, che può essere mantenuta ad una frequenza uniforme, può servire come base per un orologio. Questo è vero sia nel caso in cui l'oscillazione sia quella di un pendolo o quella di una molecola che emette energia alla frequenza determinata dalla sua struttura.* Nei successivi e più efficaci apparecchi realizzati per misurare il tempo furono utilizzati fasci di atomi al posto di molecole. Il migliore tra questi strumenti moderni si serve degli atomi di un comune isotopo di Cesio, noto come Cesio 133. Il Cesio 133 ha un nucleo composto da 54 protoni, 79 neutroni (particelle prive di carica), e attorno, disposti in orbite, 54 elettroni, il più esterno dei quali è solo nella sua orbita.

Nei primi anni '50, Harold Lyons e alcuni suoi colleghi del National Bureau of Standards misurarono fino a 1 parte su 10 milioni la frequenza risuonante dell'atomo di Cesio 133 nel suo passaggio dallo stato di energia minima al livello di energia più alto. Si scoprì che quella frequenza era molto vicina ai 9,19 gigahertz . Nel 1957, Essen e Parry, del National Physical Laboratory della Gran Bretagna, migliorarono ulteriormente i livelli di precisione di queste misurazioni. La loro relazione, pubblicata in Philosophical Transactions della Royal Society di Londra, fu significativamente intitolata "Il Cesio risuonatore come standard di frequenza e di tempo". Risuonatore indica, in questo contesto, lo stesso atomo di Cesio 133, che si muove liberamente in un raggio atomico attraverso il vuoto e che assorbe o emette microonde della caratteristica frequenza risuonante. Questa transizione o cambio di energia dell'atomo di Cesio è provocata dal fatto che, quando lo spin (movimento rotatorio su se stesso) dell'elettrone posizionato più lontano è opposto alla direzione del movimento rotatorio del nucleo, l'atomo di Cesio ha il minimo possibile contenuto di energia. Se, tuttavia, assorbe una precisa e piccola quantità di energia dalle oscillazioni elettromagnetiche circostanti alla giusta frequenza, allora l'elettrone esterno inizia a roteare nello stesso senso o nella stessa direzione del nucleo. L'atomo ha compiuto quella che è stata definita transizione "iperfina" verso uno stato di energia più elevato. L'energia di questa transizione, sia verso l'alto che verso il basso, è precisamente determinata dalla struttura invariabile dell'atomo di Cesio 133. Non differisce affatto da un atomo all'altro, indipendentemente dalle miriadi di atomi che in quel momento possono trovarsi a muoversi nello stesso fascio o a vibrare all'interno del contenitore.(Klein,1989,158-159)

Un orologio moderno al cesio, accuratamente costruito e con un'adeguata manutenzione, può misurare il tempo con una stabilità tale che se dovesse essere utilizzato per un intero secolo, la deviazione rispetto all'ora precisa non sarebbe più grande di 3 millisecondi. Nel 1967 la XIII Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure ha sostituito così con l'atomo di Cesio 133 tutti gli altri corpi celesti che precedentemente erano stati utilizzati come base dell'unità di tempo. Ecco la frase, davvero storica, che fu pronunciata in quell'occasione: "Il secondo equivale alla durata di 9.192.631.770 periodi (o cicli) della radiazione che corrisponde alla transizione tra due livelli iperfini dell'atomo di cesio 133."

Veniamo all'unità di lunghezza. Dalla fine del XVIII secolo fino alla seconda metà del XX, il metro è stato sempre una particolare barra di metallo, conservata accuratamente e adeguatamente protetta in una località selezionata della Francia. L'ultima di queste barre di metallo, che rappresenta fisicamente il metro, è ancora oggi conservata in una cripta di Sèvres, poco lontano da Parigi. Altre copie, fatte con precisione e scrupolosamente protette di questo unico metro, sono conservate presso

uffici e laboratori preposti di ogni nazione che aderisce al Trattato del Metro( analogamente sono state effettuate delle copie del chilogrammo, preservato anch'esso nella cripta di Sèvres).

Ovviamente gli sviluppi della fisica atomica permisero anche di elaborare dei metodi che erano di gran lunga più esatti della misurazione della distanza tra i due estremi di una barra di metallo. Dopo uno studio intensivo della luce monocromatica emessa da lampade che usano sostanze diverse, nel 1960, l'XI Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure, scelse una radiazione di color rosso-arancio emessa dall'atomo di krypton 86 e definì il metro con queste parole: "Il metro è quella lunghezza che equivale a 1.650.763,73 lunghezze di onda nel vuoto della radiazione che corrisponde alla transizione tra i livelli 2 p alla decima e 5 d alla quinta dell'atomo di krypton 86."

Un ulteriore passo avanti nella ricerca di universalità fu realizzato poi su un suggerimento che aveva avanzato sin dal 1889 il fisico tedesco Planck. *Egli suggerì di basare il sistema di unità su valori assegnati per convenzione ad alcune costanti fondamentali della fisica* (ad esempio la velocità della luce, la costante di Planck, la costante di Avogadro) che riassumono le informazioni più profonde di quanto noi conosciamo sulla realtà. La prima (parziale) realizzazione del progetto di Planck è avvenuta così nel 1983: l'invarianza della velocità della luce è stata adottata quale principio fondamentale *assegnando ad essa il valore convenzionale  $c=299792458$  m/s*. Il metro è ora di fatto un'unità derivata: è il tragitto percorso dalla luce nella frazione  $1/299792458$  di secondo. Una delle proposte discusse attualmente è appunto definire tutte le unità fissando per ciascuna di esse un valore convenzionale per una costante fondamentale misurata con altissima precisione( vedi Mana, 1994). In un simile sistema il secondo sarà definito da un fenomeno naturale (probabilmente il periodo di una transizione atomica oppure della rotazione di una pulsar) mentre tutte le altre unità saranno derivate assegnando convenzionalmente il valore di alcune costanti fondamentali. Per esempio è possibile che il chilogrammo sia ridefinito come un grande multiplo della massa dell'atomo di qualche elemento designato. L'attuazione di questo programma richiede tuttavia ancora molti anni in quanto una costante universale diventa utilizzabile ai fini metrologici solo se l'unico limite all'incertezza della sua misurazione è costituito dall'incertezza della realizzazione dell'unità che si intende ridefinire. C'è però da dire che, oltre i problemi tecnici, *lo stesso concetto di "costante universale" può aprire una discussione di ordine teoretico*, che cercherò di riassumere brevemente, i cui esiti influiranno sulla discussione e quindi *su come misureremo il mondo che ci circonda*. L'argomento è collegato al problema del concetto stesso di Natura che ho cercato precedentemente di introdurre. Un'ottima trattazione introduttiva di questa problematica può essere trovata nell'articolo online del 1999 *Le costanti fisiche fluttuano?*, del filosofo inglese Rupert Sheldrake, all'indirizzo [www.transaction.net/science/seven/constant.html](http://www.transaction.net/science/seven/constant.html).

I valori delle costanti di natura dipendono dalle misurazioni effettuate nei laboratori e non possono essere calcolati a priori.

Come il loro stesso nome suggerisce, si presume che le così dette costanti fisiche siano immutabili: si ritiene, infatti, che riflettano una costanza fondamentale di natura.

Le costanti fisiche sono molto numerose anche se solamente alcune sono considerate come veramente fondamentali. Tra queste la velocità della luce ( $c$ ), la carica elementare( $e$ ), la massa dell'elettrone ( $m_e$ ), la massa del protone ( $m_p$ ), la costante di Planck ( $h$ ) e la costante gravitazionale universale ( $G$ ).

Ovviamente se le unità di misura cambiano, anche i valori delle costanti mutano. Inoltre, come abbiamo spesso visto in questo lavoro, le unità sono arbitrarie, dipendono cioè da definizioni che possono variare di volta in volta: la storia del metro è davvero esemplare.

Come ogni modifica dovuta al cambiamento delle unità, i valori ufficiali delle costanti fondamentali variano ogni volta che vengono effettuate nuove misurazioni: esse sono continuamente aggiornate dagli esperti e dalle commissioni internazionali. I vecchi valori sono sostituiti dai nuovi, basati sugli ultimi "migliori valori" ottenuti nei laboratori di tutto il mondo. Secondo Sheldrake:

I valori "migliori" sono già il risultato di una lunga selezione. I primo luogo, coloro che conducono gli esperimenti tendono a scartare i dati inattesi partendo dal presupposto che siano errori. Secondo, una volta eliminate le misurazioni che più si distaccano dalle altre, le variazioni ottenute all'interno di uno stesso laboratorio vengono attenuate calcolando

la media dei valori ottenuti in momenti diversi: il valore finale viene, poi, sottoposto a una serie di correzioni in qualche modo arbitrarie. Infine, i risultati provenienti da diversi laboratori nel mondo sono selezionati, messi in ordine e utilizzati per ricavare delle medie con lo scopo di ottenere un valore ufficiale definitivo. (Sheldrake, 1999, 2)

In pratica, sottolinea Sheldrake, i valori delle costanti cambiano, anche se, in teoria, si suppone siano immutabili.

Si pensi inoltre che *il valore anche di una singola costante è determinato da una catena indiretta di informazioni basate su fenomeni indipendenti*. Per esempio, il valore della massa dell'elettrone in kilogrammi è basato principalmente su informazioni combinate provenienti da esperimenti che implicano misure elettromagnetiche e di meccanica classica, la più alta precisione possibile nella spettroscopia laser, fenomeni quantistici, teoria della materia condensata e complessi calcoli di elettrodinamica quantistica.

Questo conflitto tra teoria e realtà empirica è in genere messo da parte senza particolare discussione, perché si ritiene che tutte le variazioni siano dovute ad errori sperimentali, mentre gli ultimi valori sono sempre considerati i migliori. Sheldrake non è d'accordo con questo atteggiamento, *ed esprime criticamente un punto di vista che a mio avviso merita di essere conosciuto*:

Ma che cosa accadrebbe se nella realtà le costanti cambiassero? Che cosa accadrebbe "se la natura fondamentale della natura cambiasse"? Prima di esaminare questo argomento è necessario riflettere su uno degli assunti della scienza a noi noti: *la fede nell'uniformità della natura*. Per chi crede ciecamente in questo precetto tali interrogativi appaiono come mere sciocchezze: le costanti, infatti, non possono che essere costanti.

Per alcuni decenni si è proceduto alla misurazione della maggior parte delle costanti solo in questa piccola regione dell'universo e le attuali misurazioni variano in modo casuale. L'idea che tutte le costanti siano le stesse sempre e dovunque non è un assioma basato sui dati: se lo fosse, sarebbe un oltraggio. I valori delle costanti, così come sono state misurate sulla terra, sono cambiati notevolmente negli ultimi cinquant'anni. Non c'è alcuna prova che dimostri che non abbiano subito alcuna modifica in quindici miliardi di anni in qualsiasi parte dell'universo. Il fatto che questo assunto sia così poco dibattuto e sia così dato per scontato mostra la forza della fede scientifica nelle verità eterne. (Sheldrake, 1999, 2)

In base all'approccio più tradizionale della scienza, la Natura è governata da leggi immutabili e da verità eterne. Le leggi della natura sono le stesse in ogni tempo e in ogni luogo, transcendendo lo spazio e il tempo.

Per i padri fondatori della scienza moderna, come Copernico, Keplero, Galileo, Cartesio e Newton, le leggi della scienza sono Idee immutabili della mente divina. Dio era un matematico e la scoperta delle leggi matematiche della natura offriva la possibilità di penetrare direttamente nella Mente eterna di Dio. Da sempre tra i fisici corrono tali opinioni[...]Fino agli anni '60, l'universo della fisica tradizionale era ancora eterno, ma le prove dell'espansione dell'universo si sono accumulate in diversi decenni e la scoperta della radiazione di fondo cosmica ha dato finalmente l'avvio a una grande rivoluzione cosmologica. La teoria del Big Bang ha allora preso il volo e, invece di un universo eterno, funzionante come una macchina, che gradualmente procede verso una morte provocata dal riscaldamento termodinamico, l'immagine è ora quella di un cosmo in crescita, in fase di sviluppo e di evoluzione. E se ci fosse stata una nascita del cosmo, una "singolarità" iniziale", come i fisici la chiamano, allora rispunterebbero fuori questioni antiche: da dove e da che è nata ogni cosa? Perché l'universo è così? Inoltre, anche una nuova domanda potrebbe essere sollevata: se tutta la natura è in continua evoluzione, perché le leggi della natura non dovrebbero evolvere? Se le leggi sono immanenti alla natura che è in evoluzione, allora anche le leggi dovrebbero evolvere con essa. (ivi, 3)

Oggi tali problematiche vengono discusse in base al principio antropico cosmologico nei seguenti termini: tra i molti universi possibili, solo quello con le costanti stabilite in base ai valori scoperti attualmente avrebbe potuto dare origine ad un mondo dotato di una vita così come noi la conosciamo e consentire la nascita di studiosi del cosmo capaci di discuterne. Se i valori delle costanti fossero stati diversi, non ci sarebbero state stelle, atomi, pianeti, persone.

In generale eventuali piccole variazioni delle costanti fondamentali avrebbero prodotto strutture stellari e planetarie totalmente diverse da quelle attuali con conseguenze negative per l'esistenza di quelle forme di vita che oggi conosciamo (Carter, 1974).

Non è davvero il caso di discutere qui tutti i possibili aspetti di queste problematiche. Mi limito a ricordare che diversi fisici, tra cui Paul Dirac, hanno asserito che almeno alcune delle "costanti



fondamentali” possono cambiare col tempo. Per esempio l'idea di una variazione temporale di  $G$  ha origine in un'ipotesi, formulata da Dirac (Dirac, 1937), sulla base di alcune considerazioni di Eddington sulla grandezza delle costanti adimensionali; l'ipotesi di Dirac prende il nome di "Ipotesi dei Grandi Numeri" ed è stata lo stimolo che ha dato vita a tutta una serie di lavori teorici e di verifiche sperimentali atti, rispettivamente, a considerare una variabilità temporale di  $G$  e a misurarne l'entità di variazione. In un recentissimo articolo apparso l'8 Agosto 2002 su Nature, Paul Davies et al. asseriscono che la velocità della luce potrebbe essere cambiata negli ultimi 12 miliardi di anni.

Che cosa accadrà se un giorno si scoprisse davvero che le “costanti “ universali cambiano nel tempo? Credo sia davvero difficile prevedere tutte le conseguenze di una tale scoperta, ma una previsione credo sia sostenibile: il metro, anche se basato su un valore convenzionale della velocità della luce, dovrà probabilmente essere definito di nuovo!

Malgrado le precedenti considerazioni dimostrino come sia ora ancora più difficile sostenere *una presunta universalità ed oggettività dei campioni di misura*, si può però affermare in maniera convincente che

molta strada si è fatta dalle misure così ricche di significato umano dell'epoca feudale. La «disumanizzazione» di uno strumento così strettamente legato alla vita quotidiana di ogni persona, qual è il metro, ha raggiunto il suo apice. Ma al tempo stesso le comunicazioni e la cooperazione fra gli uomini possono, per questa via, svilupparsi più efficacemente e giungere a risultati più qualificanti. (Kula, 1987,134)

Per capire come sia stato possibile giungere a questi risultati credo vada a mio avviso di nuovo messo in luce che il processo di standardizzazione dei sistemi di misura è stato un aspetto, certo il più importante, di un *processo più generale di normalizzazione delle comunicazioni* volto ad una vera e propria *razionalizzazione della società* (vedi anche Olshan,1993). Questo sviluppo scaturì certo inizialmente, come ho cercato di chiarire nei paragrafi precedenti, da una parte dalla ricerca di quell'ideale di universalità tipico del movimento illuminista e dall'altra da una nuova *strategia politica della società* pensata economicamente. Da sempre *la politica consiste nello studio dei mezzi e degli accorgimenti mediante cui l'uomo viene sottratto al disordine, verso cui naturalmente tende, per essere mantenuto nell'ordine* (vedi anche D'Addio, 1980). Ma è con l'avvento della società moderna che il processo di sviluppo economico diventa il *motore riconosciuto* del costituirsi e del successivo formarsi della società civile *in tutte le sue istituzioni*, dalle più primitive alle più evolute: e le relazioni fra gli uomini, la loro reciproca collaborazione che si esprime soprattutto sul piano del lavoro, volto ad aumentare la quantità di beni di cui può disporre una determinata società, sono possibili solamente a patto che vengano fissate *regole precise* e non ambigue o arbitrarie. Tutto il sistema delle leggi e dei regolamenti non rappresenta altro che la razionalizzazione, se così posso dire, dell'utile della società, l'indicazione cioè dei *modi mediante cui realizzarlo*.

Consideriamo che dalle più sofisticate unità di misura all'oggetto più insignificante, come il cacciavite cruciforme, fino ad arrivare alle tecniche più recenti di normalizzazione internazionale nella gestione delle imprese (sia che si tratti della certificazione di qualità che dell'ambiente), la normalizzazione tecnologica impregna la nostra vita quotidiana, gli oggetti che ci circondano, ma soprattutto il nostro modo di lavorare, di produrre, di viaggiare e di vivere nella società. Come ho ricordato nel paragrafo precedente uno degli impulsi decisivi al processo di standardizzazione tecnologico internazionale fu, nei primi decenni dell'Ottocento, l'adozione di uno scartamento unico nelle ferrovie europee. La rivoluzione dei trasporti che ne scaturì non ebbe solo dirette conseguenze di ordine economico, ma cambiò in maniera decisiva abitudini e modi di pensare della gente comune: dei borghesi che commerciavano o viaggiavano per istruzione e per diporto, ma anche dei ceti popolari (lavoratori che emigravano, manovali impiegati nelle costruzioni ferroviarie). La stessa immagine del mondo cambiò radicalmente e l'idea di un mondo più unito, le cui parti erano legate fra loro da stretti rapporti di interdipendenza, cominciò a farsi strada nella coscienza collettiva.

Nel 1850, le ferrovie avevano già alle spalle alcuni decenni di storia. La prima locomotiva di *Stephenson* era stata realizzata nel 1814. Il primo tronco ferroviario, da Stockton a Darlington, in Inghilterra, era stato inaugurato nel 1825. Negli anni '30 e '40, molte linee ferroviarie erano state aperte in Europa e nel Nord America; ma si trattava per lo più di linee di limitata estensione, che non giungevano a formare delle reti capaci di collegare fra loro i centri principali.

All'inizio degli anni '50 esistevano in tutto il mondo circa 40.000 km di ferrovie: 15.000 negli Stati Uniti e 25.000 in Europa (di cui 11.000 nella sola Gran Bretagna). Dieci anni dopo, l'estensione della rete ferroviaria mondiale era quasi triplicata (111.000 km, di cui più della metà nel Nord America). La crescita continuò, con un ritmo di poco inferiore, nei due decenni successivi (oltre 200.000 km nel 1870 e 370.000 nell'80), favorita dai grandi progressi dell'ingegneria civile, che permisero di superare gli ostacoli naturali e di portare le linee ferroviarie anche nelle zone più impervie. (Giardina et al., 2000, 155)

Alla fine dell'Ottocento fecero la loro comparsa una serie di strumenti e di macchine che sarebbero poi diventati parte integrante della nostra vita: la lampadina, il motore a scoppio e i pneumatici, il telefono e il grammofo, la macchina da scrivere e la bicicletta, il tram elettrico e l'automobile e davvero tanti altri. La seconda rivoluzione industriale fu forse meno radicale della prima quanto alle conseguenze di lungo periodo, ma sicuramente mutò le abitudini, i comportamenti, i modelli di consumo di centinaia di milioni di uomini.

Ma la vera novità di questo periodo non consistette tanto nelle conquiste della scienza, quanto nell'applicazione su sempre più larga scala delle scoperte (recenti o meno recenti) ai vari rami dell'industria, nel legame sempre più stretto che si venne a creare fra scienza e tecnologia e fra tecnologia e mondo della produzione. Mentre la prima rivoluzione industriale aveva avuto per protagonisti imprenditori e dilettoni di genio, spiriti eminentemente pratici spesso sprovvisti di una seria preparazione teorica, la seconda impegnò in larga misura le energie del mondo scientifico. Scienziati di grande prestigio misero i loro studi a disposizione dell'industria, che applicò in modo sistematico i risultati delle loro scoperte e ne moltiplicò immediatamente gli effetti pratici. Ingegneri, biologi, chimici e fisici divennero titolari o contitolari di imprese: nomi come Edison, Siemens, Bell, Dunlop, Bayer - nomi di scienziati e inventori ancor oggi associati indissolubilmente a marchi industriali - bastano a ricordarci quanto stretti fossero diventati alla fine dell'800 i rapporti fra scienza ed economia. (ivi, 286)

E' in questo quadro sociale e politico che l'attività di normalizzazione delle tecnologie si sviluppò in maniera decisiva. *La normalizzazione della tecnica è il prodotto di un processo di negoziazione quanto ogni altra forma di coordinamento sociale.* Questa dinamica riunisce attori che arrivano ad un enunciato normativo attraverso una serie di convenzioni necessarie a questo sviluppo, ma questi attori, al di là del loro ruolo istituzionale all'interno della società, sono innanzi tutto *soggetti portatori di progetti politici* (vedi Mertz, 2002).

A livello di organismi internazionali, come già introdotto è l'ISO ora l'organismo sicuramente più accreditato per definire il genere di norme che si rendono necessarie in questo ambito. L'ISO è nata nel 1946 in seguito alla Conferenza di Londra. Precedentemente esistevano due organismi internazionali di normalizzazione: la Commissione Elettrotecnica Internazionale (CEI, creata nel 1906 e che esiste ancora oggi) e la Federazione Internazionale delle Associazioni Nazionali di Normalizzazione (ISA, International Standardization Associations), fondata nel 1926 e antenata dell'ISO. L'obiettivo dell'ISO (vedi il sito [www.iso.ch](http://www.iso.ch) alla voce "comunicati stampa") è proprio quello di

*favorire lo sviluppo della normalizzazione e delle attività ad essa connesse nel mondo, al fine di facilitare gli scambi di beni e di servizi tra le nazioni e di sviluppare la collaborazione in ambito intellettuale, scientifico, tecnico ed economico.*

In altre parole, gli obiettivi della normalizzazione tendono a favorire gli scambi a livello internazionale *riducendo gli ostacoli tecnici al commercio.* Le relazioni molto forti tra l'ISO e l'Organizzazione Mondiale del Commercio, WTO (World Trade Organization) testimoniano d'altronde la grande familiarità tra gli obiettivi di entrambi. Questi aspetti permettono senz'altro di formulare l'ipotesi, che ho anticipato nell'Introduzione di questo scritto, di un *legame tra*

*l'evoluzione della normalizzazione e quella dello spirito del capitalismo moderno e del libero mercato.*

Il campo d'azione dell'ISO non si limita a un settore particolare, ma copre tutti i campi tecnici, con l'eccezione dell'ingegneria elettrica ed elettronica, che sono di competenza della CEI. All'inizio il ruolo dell'ISO era limitato all'emissione di "raccomandazioni", che avevano come unico scopo solo quello di influenzare le norme nazionali esistenti (vedi Mertz, 2002).

Secondo il primo Rapporto annuale dell'ISO del 1972( vedi sempre sito web dell'organizzazione), tra le cause profonde dell'accelerazione del ritmo della normalizzazione internazionale, vi fu lo *sviluppo esplosivo degli scambi internazionali* provocato da *una rivoluzione nelle modalità di trasporto*. E il rapporto aggiunge che solo alla metà degli anni '60 il *bisogno di norme internazionali* si fece sentire e non fu più semplicemente un auspicio.

Inizialmente l'ISO trattava soprattutto dei sistemi di misura o di *prodotti* squisitamente tecnici (come, per esempio, la norma internazionale relativa al sistema internazionale per la numerazione dei libri, ISBN). In questi ultimi venti anni, è stato possibile assistere alla comparsa di norme di natura diversa che si riferivano non a prodotti, bensì a *processi*, come nel caso delle norme relative alla gestione della qualità (ISO 9000, che si indirizzano all'obiettivo di una razionalizzazione della gestione aziendale) o dell'ambiente (ISO 14000, che insistono particolarmente sulla formalizzazione di strutture e di responsabilità, sulla formazione e sulla sensibilizzazione del personale nel sistema di gestione ambientale).

Va anche sottolineato che nei paesi economicamente più avanzati, la rivoluzione elettronica ha contribuito a dare una forte accelerazione al processo di transizione verso un tipo di società che è stato definito «post-industriale». Del resto anche l'organizzazione del lavoro in fabbrica era ormai cambiata: l'organizzazione rigidamente gerarchica e taylorista fondata sulla catena di montaggio aveva ceduto il passo a una struttura più flessibile e leggera in grado di rispondere più rapidamente - e a costi più ridotti - alle domande del mercato e di adattarsi più agevolmente alle innovazioni tecnologiche. Questo nuovo tipo di organizzazione del lavoro e di sistema produttivo viene definito anche con il termine «post-fordismo», ad indicare l'abbandono del modello taylorista applicato da Henry Ford già nei primi decenni del secolo.

Il termine «post-industriale» non indica tuttavia un mondo senza industria, ma suggerisce che l'industria tradizionale non è più l'asse portante delle attività produttive e delle relazioni umane e sociali. Ciò che connota la società post-industriale è invece *l'informazione*. Il controllo dell'informazione, dei suoi linguaggi, delle sue procedure, dei suoi flussi è divenuto decisivo. Produrre e vendere informazione definisce le nuove gerarchie di potere e di ricchezza, di dominio e di libertà.

Questa evoluzione nel campo della normalizzazione, soprattutto quella internazionale, può essere quindi vista come *un'estensione di norme* relative a dei prodotti, verso norme relative a dei sistemi, dei processi, delle strutture di organizzazione( vedi Pristina,1996 e Mertz, 2002) :

*Le norme sono degli accordi documentati che contengono delle specificazioni tecniche o altri criteri precisi, destinati ad essere utilizzati sistematicamente in quanto regole, linee guida o definizioni di caratteristiche per assicurare che materiali, prodotti, processi e servizi siano adatti al loro uso.(Vedi sito web dell'organizzazione).*

La norma appartiene dunque al dominio convenzionale, è un *dispositivo cognitivo collettivo* (vedi Favereau, 1989), che mira ad assicurare il coordinamento dei comportamenti individuali permettendo un'economia del sapere e una riduzione dell'incertezza, sviluppando così una *razionalità procedurale* che è sicuramente uno degli approdi di quella ricerca di razionalità economica iniziata con la nascita stessa della cultura moderna.

Appare, attraverso le discipline, il potere della Norma. Nuova legge della società moderna? Diciamo piuttosto che, dal secolo XVIII, esso è venuto ad aggiungersi ad altri poteri costringendoli a nuove delimitazioni; quello della Legge, quello della Parola e del Testo, quello della Tradizione. ( Foucault, 1976, 201)

Ed è anche il caso di notare che accanto alle norme fa la sua apparizione un nuovo tipo di esami che riguarda appunto l'accertamento della conformità a queste norme; si pensi, ai nostri giorni, a quanto formali e procedurali sono per esempio le verifiche ispettive nelle aziende condotte da enti certificatori e dirette al rilascio appunto di Certificazioni di Qualità. Ed anche queste attività hanno le loro fondamenta nella nascita della società moderna.

L'esame combina le tecniche della gerarchia che sorveglia e quelle della sanzione che normalizza. E' un controllo normalizzatore, una sorveglianza che permette di qualificare, classificare, [...]Per questo, in tutti i dispositivi disciplinari, l'esame è altamente ritualizzato. In esso vengono a congiungersi la cerimonia del potere e la forma dell'esperienza, lo spiegamento della forza e lo stabilimento della verità. [...]La sovrapposizione dei rapporti di potere e delle relazioni di sapere assume nell'esame tutto il suo splendore visibile. Ecco un'altra innovazione dell'età classica che gli storici delle scienze hanno lasciato nell'ombra.(ivi, 202)

La ragione dell'uomo occidentale, *le cui radici sono certo da ricercare in tempi ben più remoti*, dal momento in cui si è affermata la società moderna si è però sempre più esplicita in occasione del lavoro che svolge, nel senso cioè che la razionalità si esprime pienamente nei tentativi che fa l'uomo per rendere sempre più produttivo il suo lavoro: e il lavoro perviene a questo risultato solamente quando viene *disciplinato* in tutte le sue attività.

## BIBLIOGRAFIA

- Abruzzese A., Borrelli D., *L'industria culturale*, Roma, Carocci, 2000
- Bernardini G., *Fisica Generale Parte I*, Roma, Veschi, 1974
- Boyer C. B., *Storia della Matematica*, Milano, Mondadori, 1990
- Calorio D., Imbasciati A., *Il protomentale: psicanalisi dello sviluppo cognitivo del primo anno del bambino*, Torino, Boringhieri, 1999
- Carter B., *Large Number Coincidences and the Antropic Principle*, In: *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, Symposium of the Int.Astr.Union N.63, Ed. Longair M.S., Dordrecht, 1974
- Cromer A., *L'eresia della scienza*, Milano, Cortina, 1996
- D'Addio M., *Storia delle dottrine politiche*, Genova, E.C.I.G., 1980
- Daumas M., *La scienza dei Greci*, in AA.VV., *Filosofia e Scienza*, a cura di Baldini M., Roma, Armando Editore, 2000, pp. 17-24
- Deléage, J. P., *La storia dell'ecologia*, Napoli, CUEN, 1994
- Dilke O.A.W., *Reading the past. Mathematics and measurement*, London, British Museum Press, 1993
- Dirac P.A.M., *The Cosmological Constants*, Nature 139, 323, 1937
- Dyson G. B., *L'evoluzione delle macchine*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 2000
- Favereau Olivier, *Marchés internes, marchés externes*, Revue Economique, vol. 40, n°2, 1989.
- Fazio M., *SI, MKSA, CGS & CO. Dizionario e manuale delle unità di misura*, Bologna, Zanichelli, 1995
- Ferraro A., *Dizionario di metrologia generale*, Bologna, Zanichelli, 1965
- Foucault M., *Sorvegliare e punire. Nascita della prigione*, Torino, Einaudi Tascabili, 1976
- Foucault M., *Perché studiare il potere: la questione del soggetto*, in Foucault M., *Poteri e strategie*, a cura di Dalla Vigna P., Milano, Mimesis, 1994

- Fox Keller E., *Vita, Scienza e Ciberscienza*, Milano, Garzanti, 1996
- Gagliasso E., *Verso una epistemologia del mondo vivente*, Milano, Edizioni Guerini, 2001
- Galimberti V., *Psiche e teche. L'uomo nell'età della tecnica*, Milano, Feltrinelli, 1999
- Giannini A., *La civiltà della scrittura*, in AA.VV., *Dal segno alla scrittura*, Le Scienze Dossier n.12, Milano, Le Scienze Spa, Estate 2002, p.1
- Giardina A., Sabbatucci G., Vidotto V., *Manuale di storia: l'età contemporanea*, Roma-Bari, Laterza, 2000
- Guedj D., *Il Meridiano*, Milano, Longanesi, 2001
- Hume D., *Ricerche sull'intelletto umano e sui principi della morale*, a cura di Dal Pra M., Bari, 1957
- International Organization for Standardization, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, Genève, 1993
- Klein H.A., *The science of measurement*, New York, Dover Publications, 1988
- Klima B., Il periodo di homo sapiens sapiens fino agli inizi della produzione del cibo: quadro generale, in AA.VV, *La Storia dell'umanità*, Novara, Gedeo/Unisco, 2002, pp. 193-203
- Kristina T.H., *The production of management standards*, in *Normalisation et organisation de l'industrie*, Revue d'Economie Industrielle, n°75, 1er trimestre 1996.
- Kula W., *Le misure e gli uomini dall'antichità ad oggi*, Bari, Laterza, 1987
- Leach E. R., *Computo primitivo del tempo*, in AA.VV., *Storia della tecnologia*, a cura di Singer C., Holmyard E. J., Hall A. R., Williams T. I., Torino, Bollati Boringhieri, 1992, pp.110-127
- Mana G., *Metrologia: l'arte della misurazione-dispense del corso di Scienza dei materiali*, Torino, Università di Torino, 1994
- McCoubrey, *Measures and measuring systems*, in AA.VV, *Encyclopedia Americana*, Danbury, Grolier, 1983, pp 584-597
- Mertz F., *Normalisation de l'environnement, droit et capitalisme*, Paris, PeterLang Ed., 2002
- Mohen J.P., *La preistoria in cammino. Gli sviluppi delle ricerche negli ultimi dodici anni(1988-2000)*, in *La Storia dell'umanità*, Novara, Gedeo/Unisco, 2002, pp. 10-24
- Mondini A., *Il sistema metrico*, in AA.VV., *Storia della tecnica*, Torino, Utet, 1977, pp. 332-336

- Morini M., *Nascita ed evoluzione del simbolismo numerale nell'Asia Occidentale*, in AA.VV., *Lo sviluppo storico della matematica*, a cura di B. D'Amore, F. Speranza, Roma, Armando Editore, 1981, pp. 11-17
- Neugebauer O., *Matematica e Astronomia antica*, in AA.VV., *Storia della tecnologia*, a cura di Singer C., Holmyard E. J., Hall A. R., Williams T. I., Torino, Bollati Boringhieri, 1992, pp. 796-814
- Oliva P., *I maestri d'abaco*, in AA.VV., *Lo sviluppo storico della matematica*, a cura di B. D'Amore, F. Speranza, Roma, Armando Editore, 1981, pp. 133-143
- Olshan Mark O., *Standards making organizations and the rationalization of American life*, *The Sociological Quarterly*, volume 34, number 2, 1993
- Piaget J., *Il linguaggio e il pensiero del fanciullo*, Firenze, Giunti Barbera, 1962
- Piaget J., *Lo sviluppo mentale del bambino e altri studi di psicologia*, Torino, Einaudi, 1967
- Piaget J., *L'equilibratura delle strutture cognitive: problema centrale dello sviluppo*, Torino, Boringhieri, 1981
- Popper K., *La logica della scoperta scientifica*, Torino, Einaudi, 1990
- Price D. J., *La costruzione degli strumenti scientifici dal 1500 al 1700 circa*, in AA.VV., *Storia della tecnologia*, a cura di Singer C., Holmyard E. J., Hall A. R., Williams T. I., Torino, Bollati Boringhieri, 1992, pp. 628-654
- Preti G., *Storia del pensiero scientifico*, Milano, Mondadori, 1975
- Reineke W., *Dalla conoscenza empirica agli inizi del pensiero scientifico*, in AA.VV., *La Storia dell'umanità*, Novara, Gedeo/Unesco, 2002, Vol. 3, pp. 57-62
- Severi M., *Introduzione all'esperienza fisica*, Bologna, Zanichelli, 1986
- Skinner F. G., *Pesi e misure*, in AA.VV., *Storia della tecnologia*, a cura di Singer C., Holmyard E. J., Hall A. R., Williams T. I., Torino, Bollati Boringhieri, 1992, pp. 786-795
- Stewart I., *Nature's Numbers*, London, Phoenix, 1995
- Zambelli P., *Introduzione*, in Koyré A., *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Torino, Einaudi, 2000