

Metrologia: l'arte della misurazione

a cura di Marco Cibien - Funzionario Tecnico Area Normazione UNI



La metrologia, ossia la scienza o arte della misurazione, è un dominio di conoscenza tipicamente trasversale. Come la matematica o la statistica (domini di conoscenza ovviamente ancor più vasti, dai quali peraltro la metrologia attinge a piene mani), essa fornisce tecniche e strumenti indispensabili per ottenere informazioni circa un "oggetto d'indagine"; nel caso tipico di un prodotto: le sue caratteristiche fisiche, la sua conformità a requisiti specificati, l'incertezza sulle informazioni stesse, concetti peraltro applicabili anche ad un processo/servizio o ancora ad oggetti intangibili.

Spesso la sua importanza è latente o addirittura sottovalutata, quasi che il processo di misurazione sia un qualcosa che si tende a dare per scontato, ovvero confinato all'acquisto di un adeguato strumento

/sistema di misura. La realtà è ben diversa: nel processo di sviluppo e immissione sul mercato di un prodotto le misurazioni possono avere un impatto tutt'altro che trascurabile in termini di tempo e costi, in alcuni casi addirittura cruciale per il successo del prodotto medesimo. Inoltre, proprio negli ultimi decenni si è assistito a una crescente estensione della metrologia a grandezze di tipo "non convenzionale" (si pensi, ad esempio, ai materiali di riferimento - in particolare nei settori chimico e micro-biologico - alle grandezze nell'ambito delle nanotecnologie o ancora alla biometria), che hanno richiesto un progressivo affinamento a livello teorico e talvolta persino scosso alcune delle fondamenta della metrologia stessa. In questo processo la normazione tecnica ha da sempre avuto un ruolo significativo,

in particolare nel rendere il più possibile fruibili ed applicabili concetti che spesso risultano ostici persino agli "addetti ai lavori". In questo dossier si parlerà di alcuni dei temi centrali relativi alla normazione tecnica in ambito metrologico: dai due documenti quadro, i "famigerati" VIM (Vocabolario Internazionale di Metrologia) e GUM (Guida all'espressione dell'incertezza di misura), sino ad alcune interessanti applicazioni specifiche (smart meters), passando per una presentazione della Commissione Tecnica "Metrologia", organo tecnico misto tra UNI e CEI, che rappresenta il naturale luogo d'incontro delle varie anime dell'articolato settore metrologico.

Ai fini di questo dossier, allo scopo di favorirne la lettura, sono utilizzate le seguenti abbreviazioni:

BIPM - (www.bipm.org)	Bureau International des Poids et Mesures - (Bureau Internazionale di Pesì e Misure)
CGPM - (www.bipm.org/en/worldwide-metrology/cgpm)	Conférence Générale des Poids et Mesures - (Conferenza Generale di Pesì e Misure)
CIPM - (www.bipm.org/en/committees/cipm)	Comité International des Poids et Mesures - (Comitato Internazionale di Pesì e Misure)
ISO - (www.iso.org)	International Organization for Standardization - (Organizzazione Internazionale di Normazione)
IEC - (www.iec.ch/)	International Electrotechnical Commission - (Commissione Elettrotecnica Internazionale)
CEN - (www.cen.eu)	European Committee for Standardization - (Ente Europeo di Normazione)
CENELEC - (http://www.cenelec.eu)	European Committee for Electrotechnical Standardization - (Comitato Europeo per la Normazione in ambito Elettrotecnico)
OIML - (www.oiml.org)	Organisation Internationale De Métrologie Légale - (Organizzazione Internazionale di Metrologia Legale)
IUPAP - (www.ifcc.org)	International Union of Pure and Applied Physics - (Unione Internazionale di Fisica Pura ed Applicata)
IUPAC - (www.iupac.org)	International Union of Pure and Applied Chemistry - (Unione Internazionale di Chimica Pura ed Applicata)
IFCC - (www.ifcc.org)	International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (Federazione Internazionale di Chimica Clinica e Medicina di Laboratorio)
ILAC - (ilac.org)	International Laboratory Accreditation Cooperation (Cooperazione Internazionale per l'Accreditamento dei Laboratori)
UNI - (www.uni.com)	Ente Italiano di Normazione
CEI - (www.ceiweb.it)	Comitato Elettrotecnico Italiano
GUM - (Guida ISO/IEC 98)	Guide to the expression of uncertainty in measurement - (Guida all'espressione dell'incertezza di misura)
VIM - (Guida ISO/IEC 99)	International Vocabulary of Metrology - (Vocabolario Internazionale di Metrologia)
JCGM - (www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm)	Joint Committee for Guides in Metrology

La Commissione "Metrologia"

Introduzione

Metrologia e normazione: un connubio particolare, di lunga data, sempre più articolato. La "scienza della misurazione" e l'"arte di unificare" condividono da decenni oneri e onori di rendere disponibili e (possibilmente) comprensibili a tutti grandezze e unità, metodi, procedure e caratteristiche degli strumenti di misura, allo stato dell'arte.

Come si cercherà di dimostrare nel presente articolo, tale compito non è solo di per sé complesso, in virtù della pluralità di anime presenti in ambito metrologico, ma anche delicato dal punto di vista delle ricadute socio-economiche, a causa della intrinseca trasversalità del dominio di conoscenza in esame e del suo legame con i settori della valutazione della conformità, della qualità e relative "infrastrutture". A livello nazionale, è da anni operante in questo campo un organo tecnico misto tra UNI e CEI, la Commissione Tecnica (CT) "Metrologia", che interfaccia una porzione rilevante dei comitati tecnici internazionali in ambito metrologico e che si configura altresì come un naturale luogo di incontro per le parti interessate di settore.

Metrologia questa sconosciuta...

Metrologia: scienza della misurazione e delle sue applicazioni
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.2]

Misurazione: processo volto a ottenere sperimentalmente uno o più valori che possono essere ragionevolmente attribuiti a una grandezza
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.1]

Misurando: grandezza che si intende misurare
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.3]

Grandezza: proprietà di un fenomeno, corpo o sostanza che può essere espressa quantitativamente mediante un numero e un riferimento
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 1.1]

Come già detto, la metrologia è la "scienza della misurazione", ossia il dominio di conoscenza depositario di quell'insieme di strumenti teorici e pratici riguardanti il processo empirico attraverso il quale si possono ottenere informazioni su di un determinato oggetto d'indagine, altresì noto come misurando.

In tale accezione si può dire che l'origine della metrologia sia di natura "antropologica", alla luce della tipica inclinazione dell'essere umano di indagare in profondità la realtà, se non solo peraltro quella fisica in senso stretto... si potrebbe addirittura azzardare che conoscere implica saper/poter misurare, non fosse altro per far sì che la conoscenza possa essere oggettivata, formalizzata e quindi condivisa. In questo senso è inevitabile che l'evoluzione della metrologia non possa che seguire l'evoluzione della scienza e della tecnica, oltre che attingere dalle discipline della matematica, della fisica e della statistica.

La definizione di metrologia potrebbe comunque sembrare scontata, persino tautologica, se non fosse per la ulteriore, fondamentale specificazione riguardante le "sue applicazioni". Quest'ultima richiama appunto alla natura empirica del processo di misurazione, nonché alla molteplicità dei possibili "oggetti di indagine".

Proprio la molteplicità dei potenziali misurandi ha storicamente dato luogo alle varie branche della metrologia stessa, ciascuna con le sue peculiarità e criticità applicative. Si pensi, ad esempio, alle differenze che intercorrono tra misurare un elemento geometrico di un pezzo lavorato a fronte di una tolleranza di progetto e valutare il livello di contaminazione di un campione d'acqua a fronte di limiti di legge; o ancora tra misurare la corrente circolante in un determinato punto di un circuito elettrico e valutare alcuni parametri caratteristici di un siero. Si è certamente in presenza di misurazioni intrinsecamente differenti, che implicano procedimenti e tecniche alquanto diverse, ma che hanno pur sempre il medesimo fine: poter esprimere il risultato

di misura in maniera univoca e condivisa, tipicamente nella forma di un valore numerico, una unità di misura e un'incertezza (di misura) associata.

Metrologia e normazione

Sistema Internazionale di grandezze: sistema di grandezze, basato sulle sette grandezze di base: lunghezza, massa, tempo, corrente elettrica, temperatura termodinamica, quantità di sostanza, e intensità luminosa
[UNI CEI 70009:2008 (VIM3), punto 1.6]

Sistema Internazionale di Unità: sistema di unità, basato sul Sistema internazionale di grandezze, con i nomi e i simboli corrispondenti, inclusa una serie di prefissi con i rispettivi nomi e simboli e le regole per il loro impiego, adottato dalla Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM)
[UNI CEI 70009:2008 (VIM3), punto 1.16]

Materiale di riferimento: materiale sufficientemente omogeneo e stabile rispetto a proprietà specificate, che si è stabilito essere idoneo per l'utilizzo previsto in una misurazione o nell'esame di proprietà classificatorie [UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 5.13]

Ogni qual volta, in un determinato settore, sussista l'esigenza di unificare terminologia, metodi e procedure, la normazione - attraverso i suoi principi fondanti di consensualità, trasparenza, democraticità e volontarietà - può configurarsi come un effettivo valore aggiunto e aiutare gli attori pertinenti nel percorso, affatto semplice o scontato, di edificare una casa comune e condivisa. Per quanto detto, il sodalizio tra metrologia e normazione non è solo di lunga data (si pensi che le prime norme riguardanti le tabelle di conversione tra unità di misura risalgono agli Anni '30!) ma anche in continua evoluzione. Storicamente la prima necessità è stata quella di unificare le grandezze e unità di misura, in conformità alle decisioni prese dalla massima autorità internazionale in materia, la CGPM, in riferimento al Sistema Internazionale di Unità. Tale serie di norme, inizialmente nota come ISO 31, è stata di recente convertita nella serie ISO/IEC 80000 (vedere Prospetto 1).

In tale storico passaggio, avvenuto tra il 2006 ed il 2009 nell'ambito della collaborazione tra i comitati



UNI CEI EN ISO 80000-1:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 1: Generalità
UNI CEI EN ISO 80000-2:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 2: Segni e simboli matematici da utilizzare nelle scienze naturali e nella tecnica
UNI CEI EN ISO 80000-3:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 3: Spazio e tempo
UNI CEI EN ISO 80000-4:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 4: Meccanica
UNI CEI EN ISO 80000-5:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 5: Termodinamica
UNI CEI EN 80000-6:2009	Grandezze ed unità di misura - Parte 6: Elettromagnetismo
UNI CEI ISO 80000-7:2009	Grandezze ed unità di misura - Parte 7: Luce
UNI CEI EN ISO 80000-8:2007	Grandezze ed unità di misura - Parte 8: Acustica
UNI CEI EN ISO 80000-9:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 9: Chimica fisica e fisica molecolare
UNI CEI EN ISO 80000-10:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 10: Fisica atomica e nucleare
UNI CEI EN ISO 80000-11:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 11: Numeri caratteristici
UNI CEI EN ISO 80000-12:2013	Grandezze ed unità di misura - Parte 12: Fisica dello stato solido
UNI CEI EN 80000-13:2009	Grandezze ed unità di misura - Parte 13: Scienza e tecnologia dell'informazione

Prospetto 1 - La serie ISO/IEC 80000 sulle grandezze e unità di misura

tecnici ISO/TC 12 ed IEC/TC 25 ("Quantities and units"), si è altresì assistito all'estensione di tale corpus normativo alla scienza e tecnologia dell'informazione (parte 13) e alla telebiometria relativa alla fisiologia umana (parte 14), nonché alla sua adozione ufficiale da parte CEN/CENELEC.

Un altro corpus normativo di rilevanza trasversale è quello riguardante i materiali di riferimento, elaborato dal comitato tecnico ISO/REMCO.

Tale corpus consiste attualmente in un insieme di Guide e Rapporti Tecnici (vedere Prospetto 2) che spaziano dalla terminologia di settore sino ai requisiti generali di competenza dei produttori di materiali di riferimento e la relativa distribuzione su scala globale. In virtù della diffusione e della crescente importanza di tali materiali, in special modo nei settori chimico e micro-biologico, è in corso la trasposizione di alcune di queste Guide in norme tecniche.

Infine, ma non certo per importanza, tra le norme quadro in ambito metrologico vanno menzionate le "famigerate" VIM e GUM, ossia il Vocabolario Internazionale di Metrologia e la Guida all'espressione dell'incertezza di misura.

Di tali documenti si discute approfonditamente in altri contributi al presente dossier; è tuttavia opportuno precisare da subito che tali Guide non sono elaborate unicamente da ISO ed IEC, bensì da particolari organi tecnici congiunti tra varie organizzazioni operanti nel settore metrologico, sotto il BIPM.

In tal senso, esse sono frutto di un processo di consenso ancor più allargato e, in quanto tali, costituiscono un esempio paradigmatico a livello tecnico-scientifico.

Esistono poi una serie di corpus normativi con caratteristiche settoriali.

In primo luogo, ovviamente, non può che essere menzionato il ponderoso macro-corpus normativo in ambito elettrotecnico, elaborato a livello IEC e CENELEC. L'estensione di tale corpus è tale da non permettere una trattazione esaustiva nel presente articolo; nel Prospetto 3 sono indicati i principali comitati tecnici IEC/CENELEC operanti in ambito metrologico. È comunque significativo sottolineare come, in detto ambito, la collaborazione tra ISO ed IEC (così come tra CEN e CENELEC) sia continua e proficua, oltre che in costante ampliamento.

Sono infine individuabili alcuni macro-settori, sempre riconducibili all'ambito metrologico, di cui si fornisce una possibile sintesi nel Prospetto 4 e tra i quali si

ISO Guide 30:2015	Reference materials - Selected terms and definitions
ISO Guide 31:2000	Reference materials - Contents of certificates and labels
ISO Guide 33:2015	Reference materials - Good practice in using reference materials
ISO Guide 34:2009	General requirements for the competence of reference material producers
ISO Guide 35:2006	Reference materials - General and statistical principles for certification
ISO Guide 80:2014	Guidance for the in-house preparation of quality control materials (QCMs)
Oltre alle Guide sopra elencate sono stati pubblicati i seguenti rapporti tecnici:	
ISO/TR 79:2015	Reference materials - Examples of reference materials for qualitative properties
ISO/TR 10989:2009	Reference materials - Guidance on, and keywords used for, RM categorization
ISO/TR 11773:2013	Global distribution of reference materials

Prospetto 2 - Le Guide ISO/REMCO sui materiali di riferimento

IEC/TC 1 e CLC/SR 1	Terminology
IEC/TC 25 e CLC/SR 25	Quantities and units
IEC/TC 85 e CLC/TC 85X	Measuring equipment for electrical and electromagnetic quantities
IEC/TC 13 e CLC/TC 13	Electrical energy measurement and control
IEC/TC 77 e CLC/TC 210	Electromagnetic compatibility
NOTA L'Italia, attraverso il CEI, detiene le segreterie di IEC/TC 25 e CLC/SR 25.	

Prospetto 3 - I principali comitati tecnici IEC/CENELEC operanti in ambito metrologico



GPS - Specifiche dimensionali dei prodotti	UNI/CT "TPD e GPS - "	ISO/TC 213 "Dimensional and geometrical product specifications and verification" CEN/TC 290 "Dimensional and geometrical product specifications and verification"
Metrologia della portata, pressione, temperatura	UNI/CT "Metrologia della portata, pressione, temperatura	Portata: ISO/TC 30 "Measurement of fluid flow in closed conduits" ISO/TC 113 "Hydrometry" CEN/TC 318 "Hydrometry"
		Pressione: CEN/TC 141 "Pressure gauges - Thermometers - Means of measuring and/or recording temperature in the cold chain" (Comitato Tecnico non più attivo)
		Temperatura: CEN/TC 423 "Means of measuring and/or recording temperature in the cold chain"
Smart metering e Utility meters (Direttiva MID)	UNI/CT 027 GL 3 "Smart meters e smart grids" CIG - Comitato Italiano Gas CTI - Comitato Termotecnico Italiano	CEN/CLC/ETSI/SMCG "Smart Meters Co-ordination Group" CEN/SS F05 "Measuring Instruments" CEN/TC 92 "Water meters" CEN/TC 176 "Heat meters" CEN/TC 237 "Gas meters" CEN/TC 294 "Communication systems for meters and remote reading of meters"

Prospetto 4 - Gli altri organi tecnici del sistema UNI operanti in ambito metrologico

sottolinea, per via dell'attualità e pervasività del tema, quello relativo a *smart meters* e *smart grids*, al quale è peraltro dedicato uno specifico approfondimento all'interno del dossier.

La CT "Metrologia"

La CT "Metrologia" ha anch'essa una storia pluridecennale. Inizialmente istituita (con la denominazione di "Metrologia Generale") come organo tecnico d'interfaccia del già citato ISO/TC 12, ha progressivamente espanso il suo campo di attività sino all'attuale strutturazione in una Commissione Plenaria e due GL, rispettivamente: GL2 "Materiali di riferimento" (interfaccia del Comitato ISO/REMCO sui materiali di riferimento) e GL3 "Smart meters e smart grids" (interfaccia del

CEN/TC 294 e tavolo di confronto sullo *smart metering* in generale).

Agli autori risulta comunque impossibile citare tale Commissione senza che la mente vada a ricordare il compianto Prof. Sergio Sartori, scomparso nell'agosto 2012. A lui e alla sua illuminata e risoluta presidenza, si deve molto di ciò che la CT oggi rappresenta, in primis l'idea che tale organo tecnico si configuri quale un luogo d'incontro per tutti gli attori a vario titolo operanti in ambito metrologico e come riferimento in materia per tutti gli altri organi tecnici del sistema UNI. Non a caso, sempre sotto la sua presidenza, è avvenuto il fondamentale passaggio ad organo tecnico misto UNI/CEI e sono state prese alcune decisioni "storiche", come quella di procedere all'adozione della terza edizione del

VIM come norma tecnica nazionale a tutti gli effetti (UNI CEI 70099:2008) in inedito formato trilingue (italiano, inglese, francese).

Nel triennio 2011-2014, la presidenza è stata dunque assunta, in una logica di continuità, dall'Ing. Roberto Buccianti.

In tale periodo si è assistito al già citato ampliamento del campo di attività, corroborato da un rafforzamento dei rapporti con alcune istituzioni, in particolare Ministero dello Sviluppo Economico (con specifico riferimento al fondamentale tema della metrologia legale, tema anch'esso approfondito in un apposito articolo nel presente dossier) ed Aeronautica Militare Italiana (con la quale si è instaurata una preziosa e proficua collaborazione in ambito pluviometrico), nonché alla creazione del GL sul



già citato tema *smart metering*.

Nell'aprile 2014 il ruolo di Presidente è stato quindi conferito al Prof. Furio Cascetta (già Presidente della CT "Metrologia della portata, pressione, temperatura"). Nel triennio 2015-2017 la Commissione sarà impegnata su più fronti, alcuni dei quali d'indubbia rilevanza. In primo luogo la revisione della GUM (tema ampiamente trattato all'interno del presente dossier), quindi l'ampliamento della serie di norme ISO/IEC 80000 ad altre grandezze ed unità, per di più con la concreta prospettiva di una storica revisione del Sistema Internazionale delle Unità (anche in tal caso, si rimanda al contributo specifico). Deve essere infine ricordato lo sviluppo in corso, nel quadro di un completamento dei vocabolari metrologici, della traduzione del Vocabolario Internazionale di Metrologia Legale.

Metrologia, valutazione della conformità e qualità

Valutazione della conformità: dimostrazione che requisiti specificati relativi ad un prodotto, processo, sistema, persona o organismo, sono soddisfatti
[UNI CEI EN ISO/IEC 17000:2005, punto 2.1]

Qualità: grado in cui un insieme di caratteristiche intrinseche soddisfa i requisiti
[UNI EN ISO 9000:2005, punto 3.1.1]

Gestione per la qualità: attività coordinate per guidare e tenere sotto controllo un'organizzazione con riferimento alla qualità
[UNI EN ISO 9000:2005, punto 3.2.8]



Un'ultima riflessione ci sia concessa in riferimento alla contiguità e complementarità tra metrologia ed altri domini di conoscenza di indubbia rilevanza. Il formidabile sviluppo delle cosiddette "infrastrutture per la qualità" a livello europeo, a cui si è assistito negli ultimi vent'anni, con specifico riferimento al tema dell'accreditamento e culminato nell'emanazione del cosiddetto *New Legislative Framework*, ha contribuito a mettere in luce le interrelazioni tra la metrologia ed i domini della valutazione della conformità e della qualità.

Non può esserci un sistema di valutazione della conformità solido - ossia in grado di infondere fiducia nei clienti/cittadini - senza solide evidenze oggettive; allo stesso modo, una riscoperta del valore di una efficace gestione per la qualità (tema quanto mai attuale in virtù dell'imminente pubblicazione della nuova edizione della ISO 9001) non può che passare da una riscoperta degli "aspetti quantitativi"

inerenti la gestione e il monitoraggio dei processi. Anche in questo senso, la metrologia si configura come uno strumento trasversale ed imprescindibile, dal quale attingere e sul quale fare affidamento, al fine di rafforzare quanto già edificato e gettare solide basi per il futuro in una logica di miglioramento continuo.

Furio Cascetta

Presidente Commissione Tecnica "Metrologia"

Roberto Buccianti

Past President Commissione Tecnica "Metrologia"

Marco Cibien

Funzionario Tecnico UNI

Fabio Fanelli

Funzionario Tecnico CEI



Il Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM): passato, presente e futuro

Introduzione

Ogni dominio di conoscenza dovrebbe disporre di un linguaggio condiviso, in cui i termini utilizzati e i significati attribuiti a tali termini sono gli stessi per tutti: ciò facilita la comunicazione e garantisce che le discussioni abbiano come oggetto ciò di cui si intende parlare e non le parole usate per parlarne. Le questioni terminologiche sono spesso sottovalutate in ambito tecnico-scientifico, a partire dalla, spesso ragionevole, assunzione che il vocabolario è stabilito dall'uso nel contesto e si diffonde attraverso le pubblicazioni scientifiche e l'insegnamento, e che solo in momenti di importanti cambiamenti si possono generare ambiguità (con questo termine finora si è inteso questo, ma ora abbiamo capito che il significato dovrebbe essere quest'altro), che si risolvono con la sostituzione della vecchia teoria e del suo vocabolario con una nuova teoria e un almeno parzialmente nuovo vocabolario. Non è dunque sorprendente che in particolare la fisica si ponga raramente questioni di vocabolario: per esempio, "massa" significa ciò che le equazioni di Newton prima e di Einstein poi denotano con il simbolo "m".

La situazione per la metrologia è più complessa, perché in quanto dominio di conoscenza non è ancora ben caratterizzata, e spesso appare come la giustapposizione di contenuti mediati da discipline molteplici, ognuna possibilmente con il suo vocabolario, perché più o meno tutti acquisiamo informazioni misurando, e non c'è e non ci deve essere un punto di discontinuità tra le misurazioni degli Istituti Metrologici Nazionali e quelle nel commercio e nell'industria, e perché la misurazione è un'attività fondamentale per la conoscenza umana e perciò è inevitabilmente intrisa di presupposti, a volte perfino filosofici. Si pensi a quanto spesso si usano i termini "accurato" e "accuratezza" e quanto

sia però complesso e delicato chiarirne il significato inteso.

È dunque di particolare rilevanza che la metrologia disponga di un ormai pluridecennale vocabolario condiviso: il *Vocabolario Internazionale di Metrologia* (VIM), giunto - non senza fatica - alla sua terza edizione.

Il Vocabolario Internazionale di Metrologia: un riferimento da oltre trent'anni

Il VIM, come anche la GUM, nasce per espressa volontà e sotto il coordinamento della massima autorità della metrologia fondamentale, il BIPM e in collaborazione con altre organizzazioni internazionali a vario titolo operanti in ambito metrologico, tra cui ISO e IEC.

La prima edizione risale al 1984, e l'edizione vigente, la terza (denominata nel seguito VIM3), è stata pubblicata nel dicembre 2007. Per lo sviluppo del VIM e della GUM dal 1997 è stato costituito il JCGM, che ha raccolto il testimone dallo storico ISO/TAG 4 (*Technical Advisory Group on Metrology*).

Nel corso degli anni l'interesse intorno al VIM si è progressivamente ampliato: il nucleo iniziale composto da BIPM, ISO, IEC e OIML, si è esteso a IUPAP, IUPAC, IFCC e, per ultima nel 2005, ILAC.

Il livello di rappresentatività del JCGM, e quindi di condivisione del VIM (così come della GUM), non ha molti eguali in ambito tecnico-scientifico: pressoché la totalità delle parti interessate contribuisce a questa impresa, che anzi nel tempo sta allargando il proprio campo di applicazione e dalla metrologia fisica tradizionale (meccanica ed elettromagnetismo) e dalla metrologia legale include ora anche la chimica e la medicina di laboratorio, e in prospettiva forse anche la biologia, la metrologia forense, la psicometria... D'altra parte, una gestione del consenso così allargata comporta delle inevitabili difficoltà nel ricordare i differenti processi di disamina tecnica e di approvazione delle bozze, che ciascuna delle organizzazioni coinvolte mantiene. Ciò spiega

il fatto che tra un'edizione e la seguente intercorrono mediamente non meno di dieci anni e che i documenti pubblicati sono inevitabilmente il risultato di compromessi.

Cos'è il VIM

Nella realizzazione di un vocabolario e, più in generale, di un lavoro in ambito terminologico, si possono adottare due impostazioni opposte: osservare e riportare gli usi linguistici consolidati nel settore, elencando i termini che si trovano impiegati e, per ognuno, i significati a essi attribuiti, ovvero costruire un sistema di definizioni che, pur cercando di essere il più possibile aderente agli usi consolidati, abbia lo scopo di indicare come i termini *dovrebbero* essere usati in modo consistente, e non come sono effettivamente usati. Le due opzioni hanno vantaggi e svantaggi complementari. Nel primo caso, in cui lo sviluppo avviene con modalità *bottom-up*, si fa riferimento alla conoscenza disponibile e dunque, nel caso di settori consolidati, a una base terminologica spesso consistente e in buona parte corroborata "sul campo". È in questo modo difficile, e talvolta impossibile, assicurare la coerenza interna al vocabolario (scuole diverse potrebbero utilizzare lo stesso termine con significati incompatibili), così come il rispetto dei principi e delle regole emanate da ISO circa i lavori in ambito terminologico, definite nelle UNI ISO 704 e UNI ISO 1087-1.

La seconda opzione, che prevede uno sviluppo con modalità *top-down*, mira a garantire la coerenza interna del sistema terminologico. Ciò richiede di stabilire a priori un modello concettuale in grado di ispirare la scelta di termini e la formulazione di definizioni, cosa che può essere problematica, per esempio perché considerata arbitraria in presenza di scuole di pensiero alternative.

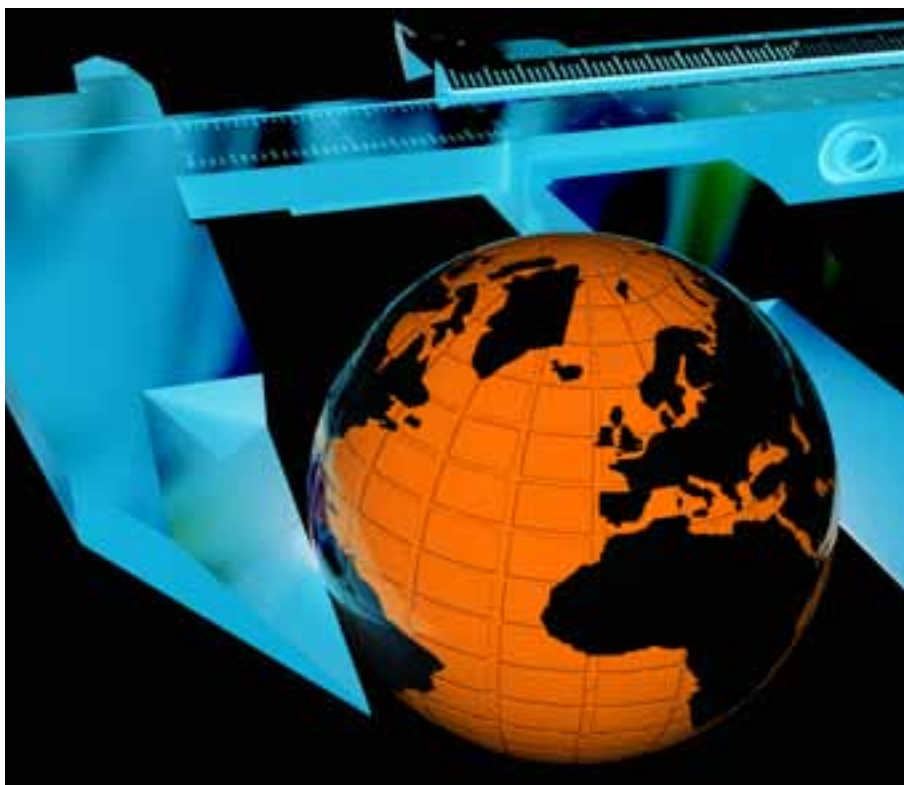
Proprio la definizione di un modello concettuale condiviso inerente la misurazione, e prima ancora i concetti pre-metrologici di proprietà, grandezza e valore di grandezza, ha innescato per anni interminabili discussioni tra gli esperti di settore, anche ai massimi livelli. In particolare, nel periodo intercorso tra la pubblicazione della seconda edizione del Vocabolario, nel 1993, e l'attuale VIM3 si è assistito a una contrapposizione tra due differenti punti di vista, noti come "basato sul valor vero" e "basato sull'incertezza". Non è pensabile né opportuno affrontare tale questione qui. Diciamo soltanto che i quindici anni intercorsi tra la seconda e la terza edizione del VIM hanno avuto anche a che vedere con tale diatriba e che è attualmente opinione di molti che i due punti di vista possano persino essere, almeno in parte, compatibili.

Il compito che le organizzazioni componenti il JCGM hanno affidato al gruppo di lavoro che si occupa dello sviluppo del VIM non è equivoco: il VIM deve essere un "documento di guida" (*guidance document*), e come tale deve essere impostato in accordo a un modello concettuale condiviso, come del resto dimostrato dall'adozione delle pratiche ISO menzionate sopra, per esempio il principio di sostituzione¹ e i diagrammi concettuali² (riportati nell'Appendice A

Note

¹ Il "principio di sostituzione", definito nella ISO 704, prevede che un determinato termine, qualora presente in altre definizioni, possa essere sostituito in esse dalla sua definizione senza che ciò comporti il verificarsi di tautologie o circolarità tra le definizioni stesse.

² I "diagrammi concettuali", definiti nelle ISO 704 e ISO 1087-1, sono un formalismo grafico utile per evidenziare le relazioni tra concetti.



del VIM3). In questa prospettiva, può essere interessante presentare brevemente alcune caratteristiche di fondo del modello alla base del VIM3.

VIM3: Luci e ombre

Il VIM è un documento ampio (il VIM3 contiene circa 150 definizioni) e sofisticato, in cui la necessità di declinare in forma di definizioni un modello dei concetti fondamentali della metrologia ha reso alcune definizioni piuttosto complesse e alcune anche esplicitamente controverse (il caso forse più evidente è quello di 'taratura', definita come un'operazione da compiere in due fasi ma anche tale che "spesso, solamente la prima fase [...] è interpretata come taratura" [VIM3:2.39]). Nell'evoluzione del VIM, mentre il passaggio dalla prima alla seconda edizione può essere inteso come l'affinamento di un'architettura concettuale stabile e fondamentalmente basata su una visione tradizionale della misurazione, la pubblicazione del VIM3 ha costituito un punto di parziale discontinuità.

Documentiamo ciò in riferimento a tre questioni basilari per la metrologia.

Cosa è misurabile?

Secondo l'interpretazione tradizionale, che risale a Euclide, le grandezze sono proprietà confrontabili in termini di rapporti (che questo oggetto abbia o meno lunghezza doppia di quell'oggetto è un

Grandezza: proprietà di un fenomeno, corpo o sostanza che può essere espressa quantitativamente mediante un numero e un riferimento
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 1.1]

Grandezza ordinale: grandezza, definita mediante una procedura di misura convenzionale, per la quale è possibile stabilire una relazione d'ordine totale con altre grandezze della stessa specie, in base alla loro espressione quantitativa, ma per la quale non sussistono operazioni algebriche tra tali grandezze
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 1.26]

Proprietà classificatoria: proprietà di un fenomeno, corpo o sostanza, ma alla quale non è possibile associare un'espressione quantitativa
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 1.30]

invariante empirico, in particolare indipendente dalla scelta, convenzionale, dell'unità di misura) e solo le grandezze, e non genericamente le proprietà, sono misurabili (la saggezza non è misurabile perché non conosciamo una modalità per assicurare che l'asserzione che questa persona abbia o meno saggezza doppia di quella persona sia invariante empiricamente).

Mentre il VIM1 e il VIM2 sono basati su questa interpretazione, nel VIM3 si considerano misurabili anche quelle che vengono chiamate "grandezze ordinali", ossia quelle proprietà confrontabili per ordine (per esempio la durezza di un materiale o il numero di ottani di un carburante). Inoltre, anche per venire incontro alle esigenze di alcuni settori, come quelli microbiologico o della medicina di laboratorio, viene introdotto il concetto di proprietà

classificatoria. L'inclusione di quest'ultime ancorché non ritenute misurabili in senso proprio, ossia alla luce dell'attuale definizione di misurazione, apre uno spiraglio sul vasto orizzonte delle "grandezze/proprietà non tradizionali" che, in virtù della loro crescente importanza socio-economica, necessitano di trovare una loro collocazione nell'ambito della metrologia.

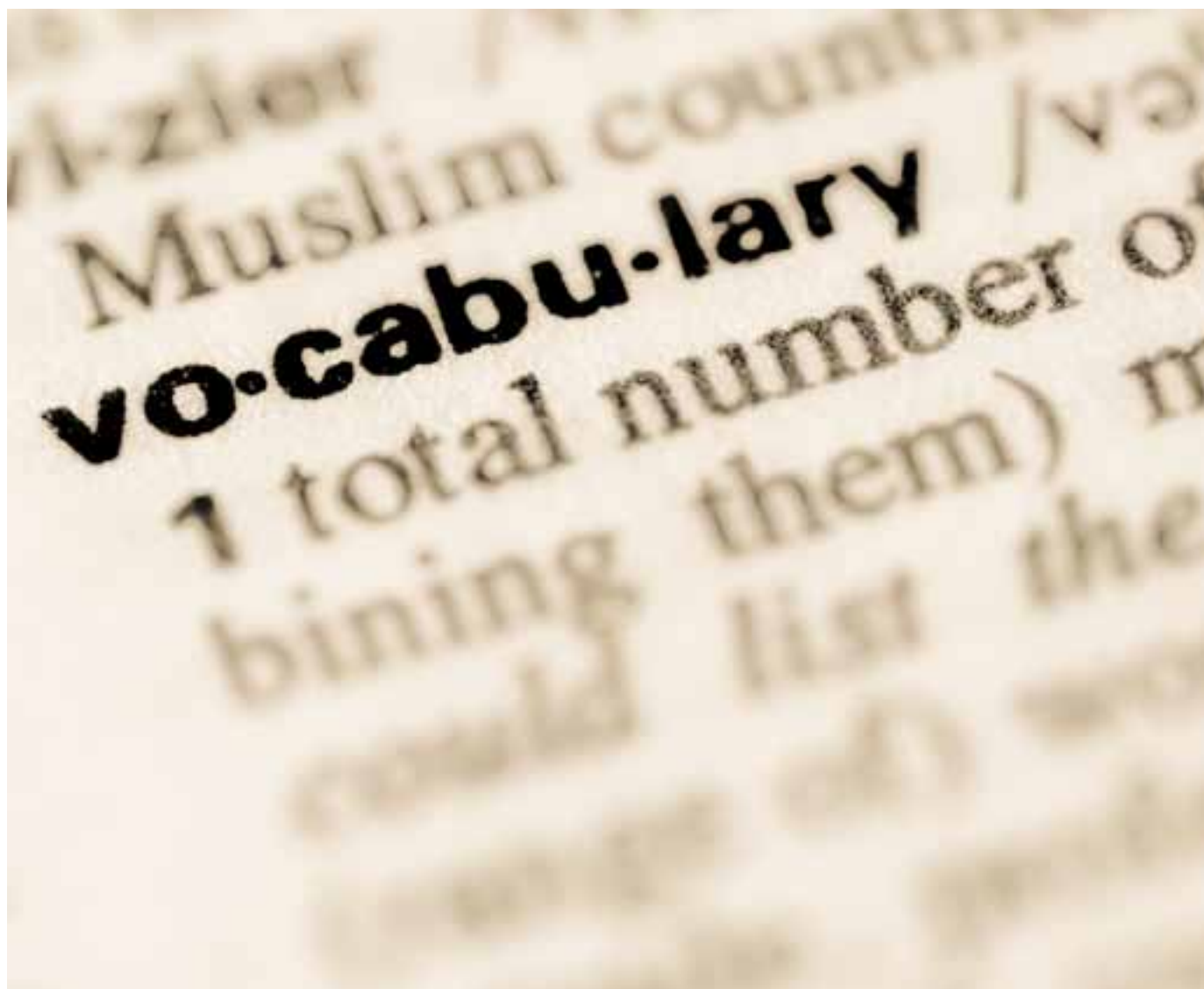
Cosa viene misurato?

Misurando: grandezza che si intende misurare
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.3]

Nella visione tradizionale il misurando è la "grandezza sottoposta a misurazione". Il VIM3 introduce invece la locuzione "che s'intende misurare", e la differenza non è solo lessicale.

Il punto è che nella realtà sussiste sempre, in linea di principio, una differenza tra la grandezza con la quale lo strumento/sistema di misura interagisce e la grandezza definita nella procedura di misura come obiettivo della misurazione stessa e che viene quindi riportata nel risultato di misura.

Il VIM3 enfatizza dunque che la misurazione non è un processo meramente empirico e che il modello di misura, quale presupposto per la misurazione stessa, ha un ruolo fondamentale e non prescindibile.





Cos'è la misurazione?

Principio di misura: fenomeno a fondamento di una misurazione
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.4]

Metodo di misura: descrizione generale dell'organizzazione logica delle operazioni messe in atto in una misurazione
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.5]

Procedura di misura: descrizione dettagliata di una misurazione eseguita in conformità a uno o più principi di misura e a un determinato metodo di misura, fondata su un modello di misura e comprendente tutti i calcoli necessari per ottenere un risultato di misura
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.6]

Misurazione: processo volto a ottenere sperimentalmente uno o più valori che possono essere ragionevolmente attribuiti a una grandezza [VIM3: 2.1]

Secondo la visione tradizionale la misurazione è un processo empirico, che ha come obiettivo la determinazione del valore attribuibile al misurando: *"insieme di operazioni avente l'obiettivo di determinare un valore di una grandezza"* [VIM2: 2.1].

La definizione di misurazione proposta dal VIM3 apporta alcune significative modifiche che, di nuovo, vanno ben oltre l'aspetto lessicale. Il passaggio da "determinazione" ad "attribuzione", nonché il richiamo agli "uno o più valori" ragionevolmente attribuibili alla grandezza, lasciano di nuovo intendere che la misurazione non è solo un'attività di "scoperta" primariamente empirica del (singolo) valore di una grandezza, ma presenta anche una componente ineliminabile di "invenzione", da ricondursi a sua volta alla definizione del modello di misura, per come si è sviluppato attraverso un principio di misura, un metodo di misura, e una procedura di misura. Il cambio terminologico da "insieme di operazioni" a "processo" è coerente con ciò: secondo la logica PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) tipica dei sistemi di gestione, in primis ISO 9001, un processo necessita di una pianificazione prima di poter essere attuato.

Il futuro del VIM

Il JCGM ha pianificato la pubblicazione di una nuova edizione del VIM entro alcuni anni. In aggiunta a un'ancora migliore coerenza interna e maggiore semplicità (il VIM3 è stato criticato in particolare

per la sua complessità formale), l'obiettivo principale prospettato riguarda il trattamento delle grandezze ordinali e delle proprietà classificatorie, che ci si attende debbano essere presentate in modo più integrato con le grandezze "tradizionali" (a rapporti), cioè quelle per cui è definita un'unità di misura. Anche a questo scopo, nel gruppo di lavoro per il VIM sono recentemente entrati nuovi esperti, con competenze specifiche proprio in questi temi, al confine della metrologia tradizionale.

D'altra parte, questo tema ha numerosi aspetti problematici ancora da chiarire, in particolare in riferimento all'incertezza di misura (per esempio, la GUM ha introdotto il concetto di incertezza tipo come scarto tipo, che però è applicabile solo nel caso delle grandezze a rapporti) e alle caratteristiche dei sistemi di misura (come si potrebbero definire, per esempio, l'accuratezza o la precisione di un sistema che misura grandezze ordinali?

Nuovamente il problema è aperto).

Quanto il VIM4: sarà un documento innovativo, con contenuti allo stato dell'arte, oppure quanto invece sarà orientato a consolidare le novità introdotte dal VIM3?

È una questione che si chiarirà prossimamente.

Luca Mari

Vice-Presidente lato CEI della CT "Metrologia"

Marco Cibien

Funzionario Tecnico UNI



La revisione della Guida all'espressione dell'incertezza di misura (GUM)

Introduzione

La Guida all'espressione dell'incertezza di misura, Guida ISO/IEC 98-3:2007, meglio conosciuta con l'acronimo GUM (*Guide to the expression of uncertainty in measurement*) è un documento internazionale di primaria importanza per l'intero settore metrologico. Essa descrive infatti la procedura fondamentale, universalmente accettata, per fornire un'indicazione quantitativa, scientificamente fondata, sulla "qualità" associabile al risultato di misura fornito.

L'importanza di tale parametro è di per sé evidente, sia dal punto di vista scientifico-teorico, sia da quello applicativo-economico, nella misura in cui proprio esso può influenzare, ad esempio, una decisione di accettazione o rifiuto di un dato prodotto a fronte di requisiti specificati.

Proprio in questi giorni è in corso la revisione della Guida, processo che merita non solo un approfondimento ma anche qualche considerazione di tipo prospettico...

GUM: dalla genesi alle recenti evoluzioni

La storia della GUM è certamente particolare, per certi versi unica, dato che oltre ad ISO ed IEC, lo sviluppo del documento coinvolge - come si vedrà nel seguito - 6 altre organizzazioni internazionali. Ciò garantisce da un lato un'applicabilità trasversale, per non dire universale, della Guida, ma anche un processo di condivisione non semplice da gestire. Anche per questa ragione la vita utile della GUM è andata ben oltre i 5 anni canonici di un tipico documento normativo. La responsabilità del documento ricade sul JCGM, istituito nel 1997 da BIPM, OIML, ISO, IEC, IUPAC, IUPAP, IFCC e ILAC. Il JCGM è presieduto sin dalla sua istituzione dal Direttore del BIPM. In particolare, ad occuparsi della GUM è il WG 1 "Working Group on the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)", organo

tecnico presieduto da uno degli autori¹.

La storia della GUM comincia nel 1978, quando il CIPM chiese al BIPM di affrontare il problema della disomogeneità delle procedure per la valutazione dell'incertezza di misura e di formulare una raccomandazione. Tale Raccomandazione (INC-1) vide la luce nel 1980; il CIPM la approvò nel 1981 e la ribadì nel 1986, creando a sua volta, di concerto con l'ISO e le altre organizzazioni di cui sopra (in realtà mancava ILAC, che si aggiunse nel 2005), il cosiddetto "Gruppo Tecnico Consultivo sulla Metrologia" (*Technical Advisory Group on Metrology*, TAG 4), noto altresì come ISO/TAG 4, con un chiaro mandato:

"Sviluppare un documento guida basato sulla raccomandazione del Gruppo di lavoro del BIPM sulla dichiarazione delle incertezze, il quale fornisca regole per l'espressione dell'incertezza di misura atte all'uso nell'ambito della normazione, della taratura, dell'accreditamento dei laboratori e nei servizi metrologici;

Proposito di tale guida è:

- *promuovere una completa informazione sul come vengono dichiarate le incertezze;*
- *fornire una base per il confronto internazionale dei risultati delle misurazioni."*

[ISO/IEC GUIDE 98-3:2008, Introduzione]

La prima (e sostanzialmente vigente) edizione della GUM fu dunque pubblicata nel 1993 (e ristampata nel 1995), mentre il CEN adottò formalmente il documento - come norma tecnica europea sperimentale - soltanto nel maggio 1999 (ENV 13005). Nulla accadde sino al biennio 2008-2009 quando, con la pubblicazione di due supplementi ed una introduzione generale alla Guida, si procedette ad una ristrutturazione della GUM stessa, ossia una sua suddivisione in più parti. Di particolare rilevanza fu certamente il Supplemento 1 riguardante l'applicazione del cosiddetto Metodo Monte Carlo, che consente di fatto l'estensione della procedura GUM di base (che, come si vedrà nel seguito, presenta delle limitazioni intrinseche) a un insieme assai più vasto di potenziali processi di misura, in particolare in caso di significative non-linearità.

Infine, nel 2012, fu pubblicata la parte 4 relativa al ruolo dell'incertezza nei processi di valutazione della conformità di un prodotto a requisiti specificati, sicché l'attuale assetto del mini-corpus normativo è quello riportato nel Prospetto 1. Infine, nello stesso periodo, BIPM ed OIML hanno deciso di procedere alla pubblicazione delle proprie versioni ufficiali, liberamente accessibili, dei suddetti documenti. Si arriva dunque ai giorni nostri, che vedono la Guida 98-3 in fase (ormai avanzata) di revisione.

GUM: cenni sul framework per la valutazione dell'incertezza

Incetezza: parametro non negativo che caratterizza la dispersione dei valori che sono attribuiti a un misurando, sulla base delle informazioni utilizzate
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.26]

Prima di fornire il quadro aggiornato di riferimento entro il quale si sta sviluppando il processo di revisione della parte fondamentale della GUM (parte 3), ci pare opportuno ricordare alcune delle principali caratteristiche del framework di base per la valutazione dell'incertezza, comprensivo di alcune indicazioni per un suo corretto utilizzo.

In sintesi, lo schema concettuale della GUM è basato sui seguenti presupposti fondamentali:

- *L'incertezza tipo* associata al valore x di una grandezza x è uno scarto tipo, di una variabile casuale che rappresenta la distribuzione dei possibili valori ottenibili sperimentalmente per quella grandezza (valutazioni di categoria A) o lo stato di conoscenza sulla grandezza (valutazioni di categoria B).
- Le valutazioni di categoria A presuppongono la disponibilità di un campione di m indicazioni

Note

¹ Per maggiori informazioni, per esempio sulla mission del WG: <http://www.bipm.org/en/committees/cc/wg/jcgm-wg1.html>

² Nell'ipotesi (spesso adottata) che le grandezze d'ingresso X_i siano scorrelate.



x_j per la grandezza X , in modo che la media delle indicazioni $\bar{x} = 1/m \sum x_j$ viene presa come stima della grandezza $x = \bar{x}$ e lo scarto tipo sperimentale della media

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum (x_j - \bar{x})^2}{m(m-1)}}$$

viene presa come incertezza tipo:

$$u(x): u(x) = s(\bar{x})$$

- Le valutazioni di categoria B sono tutte quelle che non usano metodi statistici come quello delineato sopra.
- Normalmente il misurando Y non è osservato direttamente, ma attraverso un certo numero di altre grandezze da cui dipende secondo una legge fisica, o modello della misurazione:
 $Y = f(X_1 + X_2 + \dots + X_N)$

dove ciascuna delle grandezze di ingresso x_i è stimata da un valore x_i , così come l'incertezza associata $u(x_i)$, secondo una valutazione di categoria A o B, come indicato precedentemente.

In questi casi il misurando è stimato da:

$$y = f(x_1 + x_2 + \dots + x_N)$$

e l'incertezza tipo associata è:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)$$

In molte applicazioni è inoltre necessario fornire un intervallo di fiducia entro il quale il valore del misurando giaccia con probabilità elevata (tipicamente pari al 95% o maggiore). Tale intervallo può quindi essere costruito a partire dall'incertezza tipo, sotto alcune - peraltro stringenti - condizioni, come:
 $y \pm U$

Dove $U = k u_c(y)$ è l'incertezza estesa e k è il fattore di copertura (un numero generalmente compreso tra 2 e 3).

L'impatto della GUM a livello scientifico e applicativo

È innegabile che, nella sua ormai ventennale applicazione, la GUM abbia avuto un impatto considerevole sulle parti interessate. A livello scientifico, si è assistito ad un processo di disseminazione della Guida dagli istituti metrologici (di fatto i primi stakeholder coinvolti nel processo di elaborazione del documento) verso i laboratori di prova e taratura, sino ai tecnici incaricati di eseguire misurazioni in ambito industriale e non solo. In linea di principio, a partire dalla data di pubblicazione della GUM, ogni qual volta si è chiamati a fornire un risultato di misura, bisognerebbe accompagnare tale informazione con il parametro che quantifica il "dubbio circa la validità del risultato di una misurazione" (GUM, 2.2.1). Gli stessi destinatari del risultato sarebbero tenuti a richiederlo, al fine di avere garanzie circa la qualità del risultato stesso, nonché per utilizzare tale informazione a fini decisionali. Prendiamo il caso di un processo di accettazione di un prodotto a fronte di un limite di specifica; qualora un risultato di misura sia prossimo a detto limite, in assenza dell'incertezza

di misura è impossibile stimare il rischio di accettare un prodotto non conforme, ovvero di rifiutare un prodotto conforme: in altre parole, il processo decisionale non può dirsi debitamente informato.

Non di meno l'attuazione della GUM è stato un processo complesso che, in particolare a livello industriale, ha richiesto del tempo e ha comportato alcune innegabili criticità. Nella fattispecie le principali critiche mosse alla GUM possono essere sintetizzate come segue:

- non tratta il caso, frequente nella pratica, in cui vi siano più misurandi determinati simultaneamente per mezzo di uno stesso insieme di grandezze d'ingresso;
- l'incertezza estesa non fornisce un intervallo di fiducia credibile in un'ampia casistica di processi di misura;
- non è applicabile ad alcuni settori (ad esempio chimico, clinico e micro-biologico), se non con significativi scostamenti/aggiustamenti dal/del framework stesso;
- è considerata troppo complessa, in particolare a livello industriale.

Alle prime due limitazioni si è posto rimedio con due Supplementi dedicati (vedere Prospetto 1).

La terza critica è seria: la necessità di disporre di un modello di misura in forma analitica esplicita restringe già di per sé il campo a discipline mature, come la fisica o la metrologia, e a processi di misura consolidati, e si adatta con difficoltà alle necessità di altri settori. Tuttavia è opportuno osservare come i chimici, inizialmente riluttanti ad accettare la GUM proprio a causa della presunta impossibilità di sviluppare in molti casi un modello della misurazione, abbiano oramai accettato il documento, tanto da scrivere una guida dedicata a questo settore e basata fedelmente sulla GUM. L'ultima critica merita invece un approfondimento. Innanzitutto essa è in parziale contrasto con le precedenti, nella misura in cui è arduo pensare che, al crescere della complessità del processo di misura, sia possibile l'impiego di uno schema di semplice implementazione, in particolare dal punto di vista del formalismo matematico. Del resto, "a difesa" della GUM, si potrebbe argomentare che le nozioni matematico-statistiche sufficienti a una sua corretta applicazione sono assimilabili ad un livello di istruzione pari ad un diploma di scuola media superiore o al più di laurea triennale in ambito scientifico. Inoltre, negli anni, sono stati formulati alcuni modelli semplificati del framework, di cui il metodo PUMA (EN ISO 14253-2), elaborato dall'ISO/TC 213 merita senz'altro menzione.

Il processo di revisione

I Supplementi pubblicati successivamente alla GUM, pur derivandone strettamente, ne rappresentano un'evoluzione concettuale. Come conseguenza, la GUM non è coerente con essi, in particolare per quanto riguarda le valutazioni di categoria A e la costruzione di un intervallo di fiducia. Si è quindi reso necessario un aggiornamento del documento, con l'obiettivo principale di allinearla ai Supplementi ma

anche, approfittando dell'occasione, con l'intenzione di rimuovere ambiguità di vario tipo e rendere più chiari i fondamenti concettuali su cui il metodo si basa. Le modifiche apportate alla valutazione di categoria A fanno sì che, soprattutto per campioni piccoli, l'incertezza tipo risultante sia più grande (ma più affidabile) di quella fornita dalla procedura attuale. Per quanto riguarda gli intervalli di fiducia (o di copertura), le modifiche implicano intervalli tipicamente più grandi, a meno che non si ricorra al Supplemento 1, usando il quale si possono calcolare intervalli rigorosi a qualsivoglia livello di probabilità. Un'altra importante innovazione è consistita nel raggruppare gli esempi, comuni a GUM e Supplementi, in un documento separato, che potrà in futuro essere aggiornato facilmente, senza dover aggiornare i documenti principali. La prima bozza consolidata (*Committee Draft*) della revisione è stata mandata alle otto organizzazioni che compongono il JCGM e ai laboratori nazionali di metrologia, alla fine del 2014, per ottenere commenti e valutazioni. Nel giugno del 2015 si è tenuto un workshop al BIPM dedicato all'incertezza di misura. Una delle presentazioni, (che come le altre sarà a breve disponibile sul sito del BIPM), riguardava l'analisi dei commenti ricevuti. Il quadro risultante è negativo. È prevalso lo spirito di conservazione, alimentato da vari timori - quello di dover cambiare le procedure, quello di perdere competitività a causa delle incertezze tipo e degli intervalli di copertura più grandi - ma anche dalla mancata percezione della necessità della nuova procedura. Successivamente al workshop si è riunito il JCGM-WG1. Il tema all'ordine del giorno era ovviamente l'analisi delle reazioni ricevute e l'elaborazione di una strategia per il futuro. Si è deciso di concedersi una pausa di riflessione, per cui le decisioni si prenderanno durante la prossima riunione, in ottobre.

Conclusioni

La revisione della GUM non è stata ricevuta positivamente. È successo un poco come se a delle persone che si sentono in ottima salute si fosse detto che devono assumere una medicina, che per giunta ha effetti collaterali non gradevoli, senza riuscire a persuaderli che la medicina è necessaria. Per giunta in seno al WG1 stesso una corrente di pensiero ritiene che la medicina stessa non sia poi così perfettamente adatta. Sarà dunque necessario intraprendere azioni opportune per rimediare a questo difetto di comunicazione, da un lato, e per migliorare la formulazione del farmaco dall'altro. La conseguenza pratica di queste vicende è che il percorso editoriale della nuova GUM vedrà un rallentamento notevole rispetto alle previsioni.

Walter Bich

INRIM e JCGM/WG 1, Joint Committee for Guides in Metrology, Working Group 1 on the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)

Marco Cibien

Funzionario Tecnico UNI

ISO/IEC Guide 98-1:2009	Uncertainty of measurement - Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement
ISO/IEC Guide 98-3:2008	Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl 1:2008	Propagation of distributions using a Monte Carlo method
ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl 2:2011	Extension to any number of output quantities
ISO/IEC Guide 98-4:2012	Uncertainty of measurement - Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment

La revisione del Sistema Internazionale di unità (SI): una rivoluzione in arrivo?

Introduzione

Nella vita di ogni giorno facciamo costante ed esplicito riferimento alle unità di misura, siano esse relative alla massa (kg) di un cibo che intendiamo acquistare, al volume (l) di carburante che ci accingiamo a immettere nel serbatoio della nostra autovettura o ancora alla potenza elettrica (kW) che consumiamo in ambito domestico. È forse meno noto che gli scambi commerciali basati sulla misurazione di queste grandezze corrispondono a circa il 10 % del PIL di un Paese come il nostro e che dunque le regole e le convenzioni relative alle rispettive unità di misura hanno un ruolo critico, essendo frutto di progressivi sedimenti di conoscenza e accordi, stipulati nel tempo e su scala internazionale, che hanno un loro inquadramento in un vero e proprio sistema metrologico.

Il presente articolo introduce il Sistema Internazionale di unità, chiamato brevemente "SI", risultato della Convenzione del Metro. Invece di presentare l'evoluzione storica delle definizioni delle diverse unità di misura - si tratta di documentazione facilmente recuperabile - si propone qui qualche cenno sulle idee fondanti, in particolare 'unità di misura', 'campione di misura' e 'riferibilità metrologica', e sulle possibili strategie per la definizione di unità. È in corso di sviluppo una nuova versione del SI che può essere considerata rivoluzionaria, in quanto basata su una nuova strategia di definizione: l'articolo si conclude con una breve presentazione di questa possibile riforma.

SI: il Sistema Internazionale di unità

Sistema Internazionale di grandezze: sistema di grandezze, basato sulle sette grandezze di base: lunghezza, massa, tempo, corrente elettrica, temperatura termodinamica, quantità di sostanza, e intensità luminosa
[UNI CEI 70009:2008 (VIM3), punto 1.6]

Sistema Internazionale di unità (SI): sistema di unità, basato sul Sistema internazionale di grandezze, con i nomi e i simboli corrispondenti, inclusa una serie di prefissi con i rispettivi nomi e simboli e le regole per il loro impiego, adottato dalla Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM)
[UNI CEI 70009:2008 (VIM3), punto 1.16]

Il Sistema Internazionale di unità (SI) ha un ruolo strategico per la metrologia, essendo il suo punto di contatto più esplicito e diretto con la fisica (e la chimica, attraverso la mole, e la fotometria, attraverso la candela). Attraverso le equivalenze insegnate alle scuole primarie (a quanti cm² corrispondono 3 m²?), la differenza tra grandezze e unità di misura (a partire dalla considerazione che le leggi della fisica sono indipendenti dalle unità), e forse qualche cenno di analisi dimensionale (perché se X è una lunghezza l'equazione $X+X^2$ è errata?), l'esistenza del SI potrebbe essere l'unica conoscenza di metrologia diffusa socialmente.

Le unità di misura hanno il compito strategico di mantenere una relazione tra "la teoria" e "la pratica", e quindi tra la matematica e la sperimentazione. È infatti solo attraverso le unità di misura che i valori numerici nelle equazioni che descrivono leggi fisiche mantengono un significato empirico, che poi passano anche all'uso quotidiano delle unità stesse, nelle

transazioni commerciali e altro.

Il ruolo del SI è dunque delicato: la misurazione è un processo sperimentale, come definisce il *Vocabolario Internazionale di Metrologia* [VIM3, 2.1], e in questo è diversa dal calcolo.

In un'epoca di "diluvio informazionale", in cui si tende a ridurre la distinzione tra simulazione ed entità simulata, il ruolo della metrologia, "scienza della misurazione e delle sue applicazioni" [VIM3, 2.2], è critico e in questo si fonda appunto anche sul SI.

La presentazione ufficiale del SI è pubblica e liberamente accessibile via web [Brochure SI], ed è un documento con apprezzabili esplicite finalità di comunicazione, a partire dal suo titolo informale, la *Brochure SI*.

Grandezze e unità di misura

Grandezza: proprietà di un fenomeno, corpo o sostanza che può essere espressa quantitativamente mediante un numero e un riferimento
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 1.1]

Unità di misura: grandezza scalare reale, definita e adottata per convenzione, rispetto alla quale è possibile confrontare ogni altra grandezza della stessa specie al fine di esprimere il rapporto delle due grandezze come un numero
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 1.9]

Campione di misura: realizzazione della definizione di una grandezza, con un valore stabilito e con un'incertezza di misura associata, impiegata come riferimento
[UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 5.1]

Il concetto di unità di misura [VIM3, 1.9] è sufficientemente semplice, e si può riassumere in poche parole. Alla base sta l'idea che conosciamo il mondo attraverso oggetti e proprietà. Per esempio, un tavolo è un oggetto e la lunghezza è una sua proprietà. Le proprietà ci consentono di confrontare oggetti (questo tavolo è più lungo di quest'altro tavolo) e in certi casi di comporre oggetti in modo che la proprietà dell'oggetto composto sia funzione delle proprietà degli oggetti componenti (l'oggetto ottenuto giustapponendo opportunamente i due tavoli è lungo quanto la somma delle lunghezze dei due tavoli).

Le proprietà che ammettono la combinazione per addizione si chiamano *grandezze* [VIM3, 1.1] (e più precisamente "grandezze additive"). Come accade per esempio nel caso della lunghezza, l'oggetto b ottenuto allineando due copie di uno stesso oggetto a ha dunque lunghezza doppia di quella di ogni copia, $l(b)=2l(a)$. Ciò significa che le lunghezze sono invarianti per rapporto: nelle condizioni indicate, $l(b)/l(a)=2$ è un fatto indipendente da convenzioni. Le unità di misura sono invece introdotte per convenzione, attraverso una definizione che stabilisce la grandezza di confronto $l(a)$ e le attribuisce un nome per identificarla. Per esempio $l(b)=2m$ significa $l(b)/m=2$, cioè che la lunghezza dell'oggetto b è 2 volte la lunghezza identificata come metro.

Dunque le unità di misura sono grandezze, e si chiamano "campioni" (*measurement standards*) [VIM3, 5.1] gli oggetti che le realizzano (a volte si dice "materializzano").





Campioni di misura e riferibilità metrologica

Riferibilità metrologica: proprietà di un risultato di misura per cui esso è posto in relazione a un riferimento attraverso una documentata catena ininterrotta di tarature, ciascuna delle quali contribuisce all'incertezza di misura [UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.41]

Catena di riferibilità metrologica: successione di campioni di misura e tarature usata per porre in relazione un risultato di misura a un riferimento [UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.42]

Taratura: operazione eseguita in condizioni specificate, che in una prima fase stabilisce una relazione tra i valori di una grandezza, con le rispettive incertezze di misura, forniti da campioni di misura, e le corrispondenti indicazioni, comprensive delle incertezze di misura associate, e in una seconda fase usa queste informazioni per stabilire una relazione che consente di ottenere un risultato di misura a partire da un'indicazione [UNI CEI 70009:2007 (VIM3), punto 2.39]

La condizione fondamentale che ci si attende da un'unità di misura è che essa consenta di garantire la *riferibilità metrologica* [VIM 2.41] dei risultati di misura: se con strumentazioni diverse impiegate da persone diverse in momenti diversi si ottiene uno stesso risultato di misura, tale risultato è riferibile a un'unità di misura se si può supporre che la grandezza misurata sia la stessa. In pratica, la riferibilità garantisce che oggetti la cui lunghezza misurata è 2 m abbiano effettivamente la stessa lunghezza.

Ciò richiede che gli strumenti di misura siano opportunamente tarati, ma prima ancora che l'unità di misura sia definita in modo tale da essere

realizzabile stabilmente da campioni molteplici in condizioni diverse.

Proprio a questo scopo nel corso del tempo i criteri di definizione delle unità sono stati raffinati. Possiamo identificare al proposito tre strategie di definizione: la loro presentazione, ancora nell'esempio della lunghezza, ci consentirà un rapido viaggio nel tempo, fino a un plausibile prossimo futuro.

In accordo alla prima strategia, si sceglie un oggetto che ha una determinata lunghezza e si definisce come unità di misura tale lunghezza: è il caso della barra di platino-iridio utilizzata come campione del metro dall'adozione della Convenzione del Metro, nel 1889, fino al 1960. La lunghezza realizzata dal campione primario [VIM3, 5.4] è per definizione a incertezza nulla, e le catene di riferibilità [VIM 2.42] partono tutte da tale campione, il cui possesso e la cui gestione sono dunque condizioni politicamente delicate. Questa strategia è semplice da realizzare, ma si fonda sull'ipotesi che il campione primario non modifichi la sua lunghezza nel corso del tempo, condizione che, a rigore, nessun oggetto macroscopico può garantire. La conseguenza, al limite del paradossale, è che ogni instabilità del campione primario richiede la ritaratura di tutti i campioni derivati e quindi invalida tutte le misurazioni precedenti! Il chilogrammo è l'unica unità ancora definita in questo modo.

Questi gravi problemi giustificano la transizione alla seconda strategia, fondata su un modello che assume che tutti gli "oggetti di un certo tipo" abbiano esattamente la stessa lunghezza. Poiché è ragionevole mantenere la lunghezza dell'unità definita in

precedenza (un metro dovrebbe rimanere lungo un metro anche quando la definizione cambia) e non è plausibile che si trovi in natura un tipo di oggetti la cui lunghezza sia esattamente e stabilmente rappresentativa dell'unità, nella definizione entra in gioco un fattore moltiplicativo di adattamento: il metro è x volte la lunghezza degli "oggetti del tipo y ". E così tra il 1960 e il 1983 il metro è stato definito come un certo numero (1 650 763.73) di lunghezze d'onda di una certa radiazione (quella corrispondente alla transizione fra i livelli $2p\ 10$ e $5d\ 5$ dell'atomo di kripton-86 nel vuoto), dunque assumendo appunto tale lunghezza d'onda come una caratteristica costante di tale radiazione. Fino a quando, alla luce dello stato delle migliori conoscenze disponibili, questa ipotesi di costanza si mantiene valida, chiunque sia in grado di riprodurre un "oggetto del tipo y " specificato nella definizione può realizzare l'unità, secondo una procedura detta *mise en pratique*, cioè appunto realizzazione della definizione dell'unità. Una versione modificata di questa strategia è quella alla base della definizione attuale del metro, la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in una certa frazione (1/299 792 458) di secondo. Anche in questo caso si assume un modello, che ipotizza la costanza della velocità della luce, ma ora la grandezza costante non è più una lunghezza ma, appunto, una velocità. Il fatto che da una velocità si possa ottenere una lunghezza, fissando una durata temporale, non è banale, non ha nulla di convenzionale e precede la definizione delle unità: è conseguenza della conoscenza di un *sistema di grandezze* [VIM3, 1.3], cioè di un insieme di grandezze reciprocamente

connesse attraverso relazioni, come appunto $v = dl/dt$. Tali relazioni, tipicamente nella forma di leggi fisiche, garantiscono la possibilità di definire l'unità di una grandezza in funzione di altre grandezze, per esempio appunto il metro in funzione di una velocità e di una durata. La presenza di un sistema di grandezze consente inoltre di definire l'unità di alcune grandezze in funzione di unità di altre grandezze, predefinite. Le prime, come il metro al secondo per la velocità, sono chiamate *unità derivate* [VIM3, 1.11]; le seconde, come il metro per la lunghezza e il secondo per il tempo, sono chiamate *unità di base* [VIM3, 1.10]. La distinzione tra unità di base e unità derivate è evidentemente convenzionale, e deriva dalla corrispondente distinzione, a sua volta convenzionale, tra grandezze di base [VIM3, 1.4] e grandezze derivate [VIM3, 1.5] in un sistema di grandezze, alla base della possibilità di stabilire la dimensione di una grandezza [VIM3 1.7] appunto in riferimento alla sua relazione alle grandezze di base del sistema. Un sistema di unità di misura [VIM3 1.13] è definito come l'insieme delle unità di base e delle unità derivate delle grandezze di un sistema di grandezze, e il SI è il sistema di unità di misura sviluppato progressivamente dalla Convenzione del Metro. Questa seconda strategia di definizione delle unità ha evidenti vantaggi rispetto alla prima, ma ha ancora un problema: dato che i tipi di oggetti che definiscono le unità hanno, per definizione, incertezza nulla, il valore delle costanti fondamentali della fisica è derivato dalle unità (per esempio la velocità della luce nel vuoto è $299\,792\,458\text{ m/s}$), ma questa derivazione ha un'incertezza non nulla. Benché l'idea che il valore di una costante fondamentale sia noto con un'incertezza maggiore di zero non abbia nulla di contraddittorio di per sé, si potrebbe considerare auspicabile che le costanti fondamentali abbiano un valore stabilito e non incerto...

Verso un nuovo SI?

È con questo obiettivo che da qualche anno si sta esplorando l'opportunità di adottare un'ulteriore, terza strategia, che implica una revisione strutturale del SI, politicamente in carico alla CGPM e sviluppata operativamente dal Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM). Presentata inizialmente solo come una "possibile ridefinizione di alcune unità" [CGPM 2007], è quindi stata riconosciuta come una "possibile futura revisione del SI" [CGPM 2011], e più recentemente come la "futura revisione del SI" [CGPM 2014]. Il fatto che il BIPM stesso presenti questo come il "nuovo SI" mostra il grado di importanza attribuito a questa revisione che, in accordo agli auspici dichiarati, dovrebbe essere adottata dalla CGPM nel 2018. Sul sito del BIPM è disponibile una bozza dei primi tre capitoli della prospettata nuova versione della Brochure SI da cui ci si può formare un'idea della situazione. La nuova strategia inverte la priorità: invece di definire le unità e quindi derivare da queste i valori



delle costanti fondamentali, fissa i valori delle costanti e ne deriva la definizione delle unità. Dato che il cambiamento non è completamente ovvio, può essere forse utile arrivare alle nuove definizioni per passi successivi.

Nel caso più semplice, se fosse nota una costante fondamentale k di lunghezza appropriata si potrebbe operare come segue: (i) si stabilisce che per definizione tale costante ha valore 1, con incertezza nulla, se specificata nell'unità di lunghezza del SI; (ii) l'unità di lunghezza del SI è il metro ed è dunque tale che $k = 1\text{ m}$. Questa struttura a doppia definizione, prima si definisce il valore di una costante e poi l'unità, potrebbe apparire circolare, soprattutto se si considera la seconda definizione senza la prima, ma in effetti non lo è, come questo caso semplice mostra. Le cose diventano solo un poco più complesse introducendo un fattore moltiplicativo: data una costante di lunghezza k , per definizione (i) tale costante ha valore n , con incertezza nulla, se specificata nell'unità di lunghezza del SI, e quindi (ii) il metro, unità di lunghezza del SI, è dunque tale che $k = n\text{ m}$. Le definizioni del "nuovo SI" sono in effetti ancora più complesse, dato che sfruttano, come nel caso della seconda strategia, la presenza di un sistema di grandezze. E così per esempio si propone di definire il metro a partire da una costante fondamentale di velocità. La doppia definizione è perciò: (i) la velocità della luce nel vuoto è esattamente $299\,792\,458$ se specificata in unità di velocità del SI; (ii) il metro è dunque tale che la velocità della luce nel vuoto è esattamente $299\,792\,458$ se specificata in metri al secondo. Questa struttura di definizione è palesemente più complessa delle precedenti, e senza una presentazione chiara ed efficace potrebbe risultare poco comprensibile o circolare (il metro definito, apparentemente, in termini del metro).

Delicata è anche la questione strutturale: il beneficio di costanti fondamentali a incertezza nulla è ottenuto al prezzo di rendere problematico l'eventuale aggiornamento dei valori di tali costanti a seguito di raffinamenti teorici o sperimentali.

Anche secondo questa terza strategia, rimane possibile infatti una situazione in cui la disponibilità di nuova conoscenza, attraverso un confronto empirico che non coinvolge valori di grandezze, porti a concludere che la luce nel vuoto ha una velocità diversa da quanto precedentemente supposto. Avendo però fissato per definizione il valore della costante, tale variazione non sarebbe riferibile alla costante stessa, e nemmeno alle unità a essa agganciate: tutte le altre grandezze si ritroverebbero quindi modificate nei loro valori, cosa concettualmente e socialmente non poco problematica.

Per risolvere questo problema, se un ulteriore incremento della complessità strutturale delle definizioni fosse considerato accettabile, le si potrebbe riscrivere in forma esplicitamente parametrica, per esempio: (i) la velocità della luce nel vuoto è esattamente n se specificata in metri al secondo; (ii) il metro è tale che la velocità della luce nel vuoto è esattamente n se specificata in metri al secondo; (iii) allo stato attuale della conoscenza $n = 299\,792\,458$.

Se, come oggi pare probabile, ci sarà un "nuovo SI" basato su questa terza strategia, è auspicabile che i benefici per la comunità scientifica siano comunque ottenuti mantenendo questa fondamentale componente della metrologia comprensibile anche per i non addetti ai lavori: una sfida non banale.

Luca Mari

Vicepresidente CEI della CT "Metrologia"

BIBLIOGRAFIA

1. BIPM, *SI Brochure: The International System of Units (SI) [8th edition, 2006; updated in 2014]*; <http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure>.
2. BIPM, *Draft Chapters 1, 2 and 3 of the 9th SI Brochure*; http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_draft_ch123.pdf.
3. BIPM, *On the future revision of the SI*; <http://www.bipm.org/en/measurement-units/new-si>.
4. CGPM 2007, *On the possible redefinition of certain base units of the International System of Units (SI)*, risoluzione 12 della 23a CGPM, 2007; <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/23/12>.
5. CGPM 2011, *On the possible future revision of the International System of Units, the SI*, risoluzione 1 della 24a CGPM, 2011; <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/1>.
6. CGPM 2014, *On the future revision of the International System of Units, the SI*, risoluzione 1 della 25a CGPM, 2014; <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/25/1>.
7. JCGM 200:2012, *Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM) - Concetti di base e generali e termini associati, 3a ed (versione 2008 con correzioni minori)*, Joint Committee for Guides in Metrology, 2012; versione trilingue En, Fr, It; <http://www.ceiweb.it/it/lavori-normativi-it/vim.html>.
8. Wikipedia, *Proposed redefinition of SI base units*; http://en.wikipedia.org/wiki/Proposed_redefinition_of_SI_base_units.

Metrologia legale: questa sconosciuta

Introduzione

Quando si parla di metrologia è consuetudine focalizzarsi primariamente su aspetti tecnico-scientifici e su concetti - anche piuttosto complessi - come incertezza di misura, accuratezza, ripetibilità, riproducibilità e così via. In altre parole, è tipico indirizzare la discussione verso questioni riconducibili alla cosiddetta "metrologia scientifica". Esiste però una branca della metrologia, forse meno nota, ma non per questo meno impattante sulla vita di ogni giorno e, più in generale, sul tessuto economico e sociale, la quale ha prevalentemente il compito di garantire gli scambi commerciali, tutelare i consumatori e, più in generale, la fede pubblica: la cosiddetta "metrologia legale".

Storia, società e... metrologia!

Le attività connesse con la misurazione rivestono notevole importanza in quasi tutti i campi dell'attività umana con un notevole costo di gestione per le relative operazioni da effettuare.

L'attuale sistema metrologico, così pervasivo nella definizione di quasi ogni fenomeno soggetto ad una quantificazione, dopo aver avuto i suoi natali nella Francia rivoluzionaria, si è diffuso rapidamente nel resto d'Europa e nel mondo intero.

Prima della rivoluzione francese, numerosi furono i tentativi di razionalizzazione e di riordino dei sistemi di misura che precedettero l'introduzione del Sistema metrico decimale non solo in Francia ma anche in altri Stati; i numerosi tentativi di riforma metrologica costituiscono una testimonianza di quanto importante venisse ritenuta la questione da parte dei diversi governanti, in ciò supportati anche dagli studiosi di scienza che avevano perorato e proposto un più moderno sistema.

Il sistema decimale ha infine prevalso sul disordine delle innumerevoli unità di misura preesistenti, ispirate ad antica sapienza, all'agire pratico e quotidiano, agli oggetti di artigianato locale o alla pratica dell'agricoltura; in ogni caso, possedevano un carattere di coerenza assoluta perché effettivamente funzionali, congeniti al sistema sociale, economico e perfino morale diffuso fino al Seicento in Europa. Gli antichi sistemi, infatti, costituivano un ostacolo agli scambi commerciali in quanto si dovevano eseguire complesse operazioni di equivalenza tra i diversi sistemi di misura utilizzati.

Da sempre le misurazioni sono attributi del potere e sono parte essenziale del sistema economico; la storia ha inoltre dimostrato che in passato le misurazioni erano utilizzate fraudolentemente nella riscossione dei tributi (in natura) e da parte dei signori feudali e del Clero nella quantificazione dei lavori e compiti svolti dai contadini e operai. La rivoluzione francese costituisce uno di quegli avvenimenti simbolici che segnano un momento di tangibile, violenta e innegabile trasformazione anche nella misurazione; il sistema di governare era cambiato per la consapevolezza delle nuove classi e il crescente potere centrale degli Stati pose finalmente la misurazione sotto la sua stretta protezione, togliendolo ai capricci dei signori; la metrologia acquistò carattere di legalità e fu rigidamente regolamentata prevedendo strutture sistematicamente dedite al controllo delle misure e alla lotta delle frodi metrologiche.

La maggior parte delle Autorità nazionali ha preso atto da lungo tempo, che una delle proprie responsabilità sia quella di sviluppare e mantenere gli elementi di base di un sistema metrologico nazionale che supporti adeguatamente il commercio e le altre attività e che aumenti, nel contempo, l'affidabilità delle misurazioni stesse.

Questi elementi comprendono:

- l'adozione di un sistema metrologico che sia utilizzato anche da altri Paesi;
- il funzionamento di un Istituto di metrologia nazionale con il compito di sviluppare, mantenere e disseminare i campioni nazionali di misura conformemente alle necessità;
- il funzionamento di un Organismo di metrologia legale che assista le differenti autorità per l'adozione di norme e regolamenti relativi all'esecuzione delle misurazioni nelle applicazioni in cui sono richiesti i controlli metrologici legali.

Inoltre, a differenza che in Italia, nella maggior parte dei Paesi industrializzati gli Istituti nazionali di metrologia e quelli di metrologia legale fanno parte della stessa Organizzazione.

Cenni di metrologia legale

Metrologia legale: prassi e processi che applicano alla metrologia una struttura legislativa e regolamentare e la fanno rispettare [OIML V1:2013 (VIML), punto 1.01]

Legge metrologica: provvedimenti legislativi e regolamentari che conferiscono natura legale alla metrologia [OIML V1:2013 (VIML), punto 1.03]

Autorità di metrologia: entità legale designata dalla legge o dal governo come responsabile per specificate attività di metrologia legale [OIML V1:2013 (VIML), punto 1.05]

Verificazione (di uno strumento di misura): procedura di valutazione della conformità (diversa dall'approvazione del tipo) che porta all'apposizione di un marchio di verificazione e/o al rilascio di un certificato di verificazione [OIML V1:2013 (VIML), punto 2.09]

Verificazione prima: verificazione di uno strumento di misura che non sia stato verificato precedentemente [OIML V1:2013 (VIML), punto 2.12]

verificazione periodica (obbligatoria): verificazione successiva di uno strumento di misura effettuata periodicamente ad intervalli specificati secondo una procedura legalmente regolamentata [OIML V1:2013 (VIML), punto 2.14]





Con il termine metrologia legale si è inteso, quindi, coprire il campo di interazione tra normativa cogente e misurazione e pertanto essa costituisce l'insieme delle procedure normative, amministrative e tecniche adottate dalle Autorità nazionali in modo da assicurare e definire, in maniera vincolante, l'appropriata qualità e credibilità delle misurazioni intese a soddisfare esigenze relative all'interesse pubblico, alla sanità pubblica, alla sicurezza e all'ordine pubblico, alla protezione dell'ambiente e dei consumatori, all'imposizione di tasse e diritti e alla lealtà delle transazioni commerciali che incidono in vari modi, indirettamente o indirettamente, sulla vita quotidiana dei cittadini (oltre che su una quota parte rilevante di PIL nazionale).

In particolare, i controlli metrologici legali esigono il rispetto di specifici requisiti di costruzione e di prestazione da parte degli strumenti di misura e l'accertamento della loro conformità a detti requisiti ha lo scopo di garantire nel tempo un elevato livello di affidabilità e di protezione dei consumatori e utenti.

Le unità di misura da utilizzare per esprimere le grandezze sono quelle previste dal D.P.R. 12 agosto 1982 di attuazione della direttiva (CEE) 80/181 relativa alle unità di misura e successive modificazioni e integrazioni e, in particolare, sono quelle del sistema SI; deroghe sono previste principalmente nei settori della navigazione aerea, marittima e del traffico ferroviario così come l'utilizzo della doppia indicazione in alcune tipologie di prodotti preconfezionati.

Nella metrologia legale particolare interesse ha rivestito e ancora riveste l'espressione "transazione commerciale" alla quale si attribuisce un significato estensivo per cui la metrologia legale riguarda

numerose tipologie di strumenti di misura; dai contatori dei servizi di pubblica utilità (acqua, gas, energia elettrica e calore), alle bilance dei servizi commerciali al dettaglio, dalle pesatrici a nastro alle macchine riempitrici per prodotti preconfezionati, ai distributori di carburante, agli strumenti di misura lineare e così via.

Nella maggior parte dei Paesi sono state create Autorità nazionali competenti per la metrologia legale con il compito specifico di assicurare le condizioni di equità del mercato. Le funzioni prettamente operative, soprattutto per quanto riguarda il controllo degli strumenti in servizio, negli ultimi anni sono state delegate da parte delle Autorità nazionali dei Paesi più sviluppati con sempre maggiore frequenza a Regioni, Province e soprattutto ad organismi privati.

In Italia la "moderna" metrologia legale inizia nel 1890 con il Testo unico delle leggi sui pesi e sulle misure che aveva proprio lo scopo di uniformare in tutto il Regno d'Italia le unità di misura e gli strumenti di misura, fissando requisiti e procedure di controllo uguali in tutto il territorio nazionale assegnando parte delle competenze al Ministero (regolamentazione e approvazione di modello) e parte agli Uffici provinciali metrici (verificazione prima, verifica periodica e sorveglianza) sempre facenti parte del Ministero; con successivi regolamenti emanati all'inizio del secolo scorso vengono anche fissati i requisiti essenziali e prestazionali degli strumenti e le relative procedure di controllo.

Una prima importante modifica della struttura operante nella metrologia legale nel nostro Paese è iniziata con l'emanazione del decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, il quale prevedeva che tutte

le funzioni degli Uffici provinciali metrici del Ministero in materia di metrologia legale venissero attribuite alle Camere di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura e successivamente, ai sensi del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 6 luglio 1999, dette funzioni sono state trasferite insieme ai beni e alle risorse a decorrere dal 1° gennaio 2000.

La richiesta di servizi per la metrologia legale è strettamente collegata alla politica governativa e può cambiare nel tempo. Attualmente si ha la sensazione che la deregolamentazione nel settore, attuata come già detto soprattutto nei Paesi più sviluppati, stia portando ad una riduzione delle norme nazionali come, ad esempio, nell'Unione europea dove numerose delle responsabilità in materia sono state assunte dalla Commissione Europea con l'adozione di specifiche direttive recepite dagli Paesi membri che vanno ad abrogare tutte le precedenti disposizioni nazionali in materia. In particolare, con l'adozione in Europa della direttiva NAWI (*Non Automatic Weighing Instruments*) e della direttiva MID (*Measuring Instruments Directive*) vengono introdotte, da parte della Commissione Europea, differenti procedure (moduli) per l'accertamento della conformità degli strumenti (ex verifica prima), effettuato esclusivamente da parte di Organismi notificati che devono dimostrare il possesso di determinati requisiti fissati dalla normativa comunitaria. È invece compito delle Autorità nazionali la cosiddetta "Vigilanza del mercato", cioè il controllo relativo al possesso da parte degli strumenti commercializzati e messi in servizio di tutti i requisiti essenziali previsti; nel caso di mancato possesso dei requisiti essenziali,

le Autorità nazionali possono prevedere l'eventuale ritiro dal mercato degli strumenti di misura dopo l'espletamento di determinate procedure uguali per tutti i Paesi dell'Unione europea.

Un primo passo avanti nella modernizzazione dei controlli successivi sugli strumenti di misura si è avuto nel 2000, con l'adozione di un decreto regolamentare che prevedeva la possibilità che la verifica periodica potesse essere effettuata anche da laboratori privati. Con l'adozione di una serie di regolamenti e direttive del Ministro dello sviluppo economico riguardanti alcune categorie di strumenti disciplinati dalla Direttiva 2004/22/CE MID (che prevedono la delega esclusivamente a organismi privati per l'esecuzione delle verificazioni periodiche), si è realizzato un notevole passo avanti nell'ottica dell'armonizzazione e modernizzazione dei controlli sugli strumenti in servizio.

È interessante inoltre notare che anche nel nostro Paese, in analogia con quanto avviene in altri Stati, negli ultimi regolamenti adottati ed in particolare quelli relativi ai controlli sui contatori del gas, convertitori di volume, contatori di acqua ed energie elettrica attiva, è stato introdotto per gli organismi l'accreditamento, processo effettuato da parte di un unico organismo nazionale di accreditamento (nella fattispecie Accredia).



Metrologia legale e metrologia scientifica

Riguardo alla cooperazione tra metrologia legale e metrologia scientifica è opportuno sottolineare che l'armonia e la cooperazione tra gli Uffici nazionali di metrologia legale e gli Istituti nazionali di metrologia è essenziale in tutti i Paesi nei settori delle unità di misura, campioni nazionali di misura, disseminazione e accreditamento dei laboratori, soprattutto per la certificazione delle apparecchiature da utilizzare nei controlli degli strumenti di misura, con particolare riferimento a quelli in servizio. È da considerare inoltre che la metrologia legale si espande sempre di più in settori e campi di applicazione nuovi nei quali nella maggioranza dei casi gli Istituti metrologici nazionali hanno avuto già numerose esperienze. Una stretta collaborazione tra la metrologia legale e quella scientifica evita sicuramente duplicazioni delle apparecchiature tecniche e, nel contempo, con l'attuazione di una reciproca assistenza tra gli Istituti metrologici nazionali (l'INRIM per l'Italia) e gli Uffici nazionali di metrologia, si arriverebbe a identificare e risolvere con maggiore rapidità e efficienza tutti gli aspetti (non solo legali) connessi con l'uniformità e comparabilità metrologica delle misurazioni.

Infine un breve cenno alle Organizzazioni che si occupano a livello internazionale di metrologia legale e scientifica e ai quali l'Italia aderisce.

La "Convenzione del metro" è un trattato diplomatico firmato a Parigi nel 1875 dai rappresentanti di 17 nazioni tra cui l'Italia (attualmente sono oltre 50)

che conferisce alla CIPM e al BIPM l'autorità di agire in materia di metrologia a livello mondiale, sviluppando e mantenendo l'infrastruttura tecnica ed organizzativa del Sistema Internazionale di Unità (SI) come base per la riferibilità dei risultati di misura su scala globale. L'Italia ha dato esecuzione alla Convenzione del metro con la Legge 26 dicembre 1875, n. 2875.

L'OIML alla quale l'Italia ha aderito con la Legge 23 marzo 1958, n. 387, è una organizzazione a livello mondiale che ha lo scopo principale di armonizzare e regolamentare i controlli metrologici applicati dai Servizi nazionali di metrologia legale principalmente con la pubblicazione di Raccomandazioni internazionali, Documenti, Guide e Pubblicazioni di base. L'OIML, inoltre, partecipa alla pubblicazione dei vocabolari di metrologia (OIML V).

Il WELMEC (European Cooperation in Legal Metrology) è stato costituito nel 1990 a Berna e l'Italia vi ha aderito, con la firma del "Memorandum of Understanding", nel 1993. In particolare il WELMEC (nel cui comitato sono attualmente rappresentati da 37 Paesi), ha lo scopo di sviluppare e mantenere una reciproca fiducia tra i Servizi di metrologia in Europa, raggiungere e mantenere l'armonizzazione delle attività metrologiche, tenendo conto delle pertinenti guide adottate dal Comitato e predisposte dai differenti Gruppi di Lavoro e organizzare un costante scambio di informazioni tra i Paesi aderenti.

Paolo Francisci

Vicepresidente UNI della CT "Metrologia"

Cultura metrologica: esigenze, stato e prospettive

Premessa

La lingua italiana è molto complessa ed utilizza sovente, soprattutto nel parlato comune, molti vocaboli come sinonimi anche quando non lo sono ed è quindi opportuno premettere alcune definizioni di vocaboli che saranno utilizzati nel seguito.

In generale, con "cultura" si può intendere l'insieme delle conoscenze (acquisite attraverso lo studio, la lettura, l'esperienza, l'influenza dell'ambiente e rielaborate in modo soggettivo e autonomo) che sviluppano le facoltà individuali in diversi ambiti. Parlare di "cultura metrologica" richiede quindi, per prima cosa, di definire il significato del termine metrologia, da cui deriva l'aggettivo metrologico. Nella terza edizione del Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM3) è presente la sua definizione come "scienza della misurazione e delle sue applicazioni" (punto 2.2) con una precisazione importante nella nota dello stesso lemma: "la metrologia comprende tutti gli aspetti teorici e pratici della misurazione, qualunque sia l'incertezza di misura e il campo d'applicazione".

È quindi indispensabile approfondire il significato del termine "misurazione" che viene definito, sempre dal VIM3, come "processo volto a ottenere sperimentalmente uno o più valori che possono essere ragionevolmente attribuiti a una grandezza" (punto 2.1). Anche per questo lemma le note sono particolarmente significative perché riportano alcune importanti precisazioni:

NOTA 1

La misurazione non si applica a proprietà classificatorie

NOTA 2

Una misurazione si realizza mediante confronto tra grandezze o conteggio di entità.

NOTA 3

La misurazione richiede una descrizione della grandezza adeguata all'utilizzo previsto del risultato di misura, una procedura di misura, un sistema di misura tarato e operante in conformità alla procedura di misura specificata, incluse le condizioni di misura.

La Nota 1 è particolarmente rilevante perché esclude dalla misurazione - per lo meno sulla base dell'attuale definizione, s'intende - le operazioni che sono rivolte a definire le proprietà di un fenomeno, corpo o sostanza alle quali non sia possibile associare espressioni quantitative. In virtù di quanto specificato nel Vocabolario al punto 1.30, ossia nella definizione di "Proprietà classificatoria" ciò significa escludere dalla misurazione proprietà quali il sesso di un essere umano, il colore di un campione di vernice, la sigla ISO delle nazioni, e così via. La misurazione di proprietà classificatorie è un aspetto certamente non secondario in un mondo sempre più orientato a questioni di natura intangibile o addirittura virtuale e che dovrà essere certamente approfondito e sviluppato adeguatamente.

Questa breve panoramica evidenzia come la cultura metrologica sia un complesso molto variegato di competenze (teoriche, sperimentali ed applicative), in continua evoluzione, che richiedono non solo conoscenze di base di tipo generale ma anche competenze specialistiche, tipiche dei diversi settori applicativi, con adeguate capacità critiche. Questo approccio culturale, inoltre, deve essere comune, anche se con livelli diversi, agli operatori delle misurazioni e agli utilizzatori delle stesse.

Esigenze

L'esigenza di base di ogni misurazione può ricondursi alla necessità di acquisire elementi conoscitivi (informazioni) su un determinato oggetto, che consentano, a loro volta, di prendere decisioni corrette (sull'oggetto stesso o sul sistema in cui è inserito), con il minor costo possibile. Questo accade in tutti i settori, partendo dalle attività di ricerca ed arrivando alla produzione di beni, alle verifiche ambientali, alle perizie in campo legale-forense, alle analisi sociali ed alle analisi in ambito clinico. Poiché sovente il decisore non è coinvolto direttamente nella misurazione, è necessario che s'instauri un corretto rapporto (possibilmente non solo semantico) tra l'utilizzatore del risultato della/e misurazione/i e l'attore che effettua la misurazione stessa, in modo che vi sia chiarezza nella definizione dell'oggetto della misurazione (altresì noto come misurando) e delle caratteristiche attese del processo di misura

(ad esempio, incertezza e relativo bilancio).

Come già accennato, nuove esigenze si stanno evidenziando per la misurazione di proprietà classificatorie perché, anche in questi casi, l'esigenza di base (poter prendere una decisione corretta) deve poter essere rispettata, anche se probabilmente si renderà necessaria la definizione di approcci metrologici specifici.

Stato

Al momento attuale, la formazione dell'esperto in campo misuristico è sviluppata essenzialmente a livello Universitario (diversi sono infatti i corsi di Misure sviluppati da diversi atenei in vari corsi di laurea) con ulteriori specializzazioni "sul campo" presso i grandi Istituti Metrologici (ad esempio INRIM), grandi strutture di ricerca (pubblica e privata) o laboratori. Non si è però in presenza di azioni realmente coordinate per favorire sia una chiara crescita professionale del giovane laureato, sia una adeguata consapevolezza del ruolo e dell'importanza dell'esperto "metrologo" da parte degli utilizzatori dei risultati delle misurazioni, soprattutto a livello industriale.

Per quanto riguarda la formazione dopo la laurea, gli esempi non sono molto numerosi ma sono però molto interessanti, come il Dottorato in Metrologia presso il Politecnico di Torino e l'INRIM o lo sforzo che da molti anni è sostenuto dal Gruppo Misure Elettriche ed Eletttroniche (GMEE) con la collaborazione del Gruppo Misure Meccaniche e Termiche (MMT) per la realizzazione della Scuola Estiva di Dottorato "Italo Gorini" che, con cicli triennali di cui è ora attivo il sesto ciclo 2015-2017, copre molti campi d'interesse scientifico ed applicativo in campo metrologico. La partecipazione a questi corsi è numericamente significativa ed indica un chiaro interesse in questa direzione.

Deve essere ricordata inoltre l'attività sviluppata da ACCREDIA, l'Ente italiano di accreditamento, per assicurare il continuo aggiornamento professionale, anche in campo metrologico, dei tecnici e degli operatori coinvolti, a diverso titolo, nelle attività di accreditamento e di certificazione.

La realizzazione di Master universitari potrebbe essere, in considerazione della flessibilità nella



definizione del programma e della possibilità di coinvolgimento anche nella docenza di tutti gli Operatori interessati, un'ulteriore strada da prendere in considerazione. A livello universitario si sta inoltre assistendo ad un avvicinamento culturale tra i diversi Corsi di Misure, almeno tra il mondo delle misure elettriche ed elettroniche con il mondo meccanico, ma molto resta ancora da fare per potere avere i necessari scambi organici con gli altri settori (chimico, fisico, topologico, clinico, ambientale, forense, ecc.). Deve essere sottolineato, infine, come la costituzione in ambito congiunto CEI ed UNI di una Commissione Tecnica di Metrologia, esempio unico a livello internazionale, che consente un continuo scambio di informazioni, di idee e di opinioni tra gli operatori dei diversi settori, sia un esempio concreto ed operativo di una modalità di sviluppo omogeneo nel settore metrologico nel suo complesso.

Prospettive

L'evoluzione stessa dei sistemi di misura evidenzia il passaggio dai vecchi strumenti dedicati ad un solo tipo di misurazione (ad esempio, voltmetri, amperometri, frequenzimetri, termometri, bilance, contatori di acqua e gas, ecc.) a sistemi complessi che vedono l'implementazione di una vera e propria catena di misura che, partendo da uno o più trasduttori in campo, arriva sovente a comprendere sistemi di elaborazioni e trasmissione dati anche assai complessi, con conseguenti nuove esigenze di taratura, verifiche di taratura e controlli sull'integrità dei sistemi o sottosistemi medesimi. I continui

progressi tecnologici nei diversi componenti dei sistemi di misura impongono un continuo aggiornamento delle competenze dell'esperto di metrologia, che deve essere certamente in grado di valutare correttamente il comportamento dei nuovi sistemi. Particolarmente significativi saranno inoltre gli sviluppi nell'ambito della metrologia legale per potere continuare a garantire che le transazioni economiche, sempre più numerose e complesse (si pensi ad esempio all'intensa attività tecnica e normativa in ambito smart metering, peraltro argomento di uno specifico contributo all'interno del presente dossier), avvengano su basi metrologiche riconosciute e corrette. Come si è accennato, si assisterà ragionevolmente ad un importante sviluppo anche nell'ambito delle proprietà classificatorie e - più in generale - di tutte quelle proprietà/grandezze non riconducibili alle cosiddette grandezze "tradizionali", che dovranno rientrare a buon diritto nella metrologia, eventualmente con specifiche metriche e modelli per il calcolo dell'incertezza.

A quanto sopra si aggiunge il fatto che è in corso una riforma (per non dire una rivoluzione) del Sistema Internazionale di Unità (SI), per la quale quattro unità (chilogrammo, ampere, kelvin e mole) saranno ridefinite in termini di costanti, con valore numerico fisso (rispettivamente, la costante di Plank, la carica elementare dell'elettrone, la costante di Boltzman e la costante di Avogadro). In definitiva, tutte le sette unità di base saranno espresse usando formulazioni basate su costanti e dovranno essere definite opportune modalità operative per la realizzazione di campioni di uso pratico.

Conclusioni

Il riconoscimento della necessità, ormai condivisa nelle diverse sedi, di dovere costruire una struttura metrologica di base che possa essere agevolmente utilizzata in tutti i settori da parte di tutti gli attori coinvolti, permette di essere ragionevolmente ottimisti sugli sviluppi futuri, anche se i tempi potrebbero non essere molto stretti, considerando anche la necessità di mantenere l'indispensabile coordinamento con le analoghe iniziative a livello internazionale.

Il prossimo decennio si presenterà comunque, sia dal punto di vista teorico che applicativo, come un periodo di grande sviluppo per una "rinnovata" metrologia, con un impatto sempre più rilevante e riconosciuto in tutti i settori, senza limitazioni agli ambiti strettamente tecnici.

La moderna cultura metrologica, infine, si dovrà sempre più basare sulla formazione/informazione che dovrà essere rivolta non solo a studenti e laureati, per assicurare la possibilità di acquisire ed aggiornare le competenze indispensabili, ma anche ai fruitori dei risultati delle misurazioni affinché si possa instaurare un dialogo chiaro, corretto e costruttivo tra tutte le parti interessate.

Roberto Buccianti

Past President della Commissione UNI-CEI Metrologia

Paolo Francisci

Vicepresidente della Commissione UNI-CEI Metrologia



La normazione CEN sullo smart metering

Introduzione

Con "smart metering" si usa denotare un insieme di dispositivi di misura che realizzano funzioni avanzate di calcolo e consentono di trasmetterne i risultati a distanza. Tra gli addetti ai lavori "smart metering" è anche usato per rappresentare l'insieme di attività svolte nell'ambito di uno specifico mandato europeo - di cui si discuterà ampiamente nel seguito - e che potrebbe rappresentare una vera e propria rivoluzione nel rapporto tra l'utenza e la grande distribuzione di acqua, gas, calore energia elettrica ed energia in generale.

Già con la Direttiva 2006/32/EC (*Energy Services Directive*) sull'efficienza energetica veniva stabilita la necessità di dotare le reti di distribuzione di dispositivi di misura evoluti che misurassero accuratamente il consumo effettivo di energia dei clienti finali e che fornissero informazioni sul tempo effettivo d'utilizzo, con lo scopo principale di favorire il risparmio energetico tramite una maggiore consapevolezza da parte dei consumatori finali relativamente ai propri consumi.

Con il mandato M441 del 12 Marzo 2009 la Commissione Europea incaricava quindi gli Enti di normazione europei di sviluppare un insieme di norme atte a facilitare la prevista installazione massiva di "contatori intelligenti" tramite la definizione di un'architettura comune in una cornice di interoperabilità. Particolare risalto veniva dato all'aspetto metrologico, con espresso riferimento alla Direttiva sugli strumenti di misura (MID) e alla sicurezza del dato di lettura. I lavori nell'ambito del mandato M441, portati avanti dal Comitato di Coordinamento per lo Smart Metering (SMCG), si sono ufficialmente chiusi alla fine del 2014 e ci lasciano come risultato una serie di documenti, di cui il più noto è la specifica di architettura CEN/CLC/ETSI/TR 50572, ed un modello di sviluppo che si declina in un insieme di casi d'uso, insieme a strumenti di analisi e metodi per la realizzazione della sicurezza a tutti i livelli.

Il lavoro di sviluppo delle norme non è invece terminato e proseguirà nei prossimi mesi/anni nei rispettivi Comitati.

È possibile tuttavia avere un quadro abbastanza preciso degli sviluppi presenti e futuri.

L'architettura dello smart metering

Smart meter: contatore con funzionalità aggiuntive tra cui la comunicazione dati [CEN/CLC/ETSI/TR 50572, punto 3.41]

Smart grid: rete di distribuzione (principalmente elettrica) che integra in modo intelligente il comportamento e le azioni di tutti gli utenti ad essa collegati - produttori, consumatori e produttori/consumatori - al fine di assicurare una fornitura di energia sostenibile, economica e sicura [CEN/CLC/ETSI/TR 50572, punto 3.40]

Interoperabilità: capacità di un sistema di scambiare dati con altri sistemi di tipo diverso e/o di costruttori diversi [CEN/CLC/ETSI/TR 50572, punto 3.22]

Con il documento CEN/CLC/ETSI/TR 50572 abbiamo finalmente una chiara definizione del concetto di "smart metering" e della sua architettura.

Un sistema di smart metering è tale se è in grado di gestire le seguenti funzionalità:

- telelettura dei registri metrologici e loro fornitura alle organizzazioni di mercato designate;
- comunicazione bidirezionale tra il sistema di misurazione e organizzazioni di mercato designate;
- supporto di sistemi avanzati di tariffazione e di pagamento;
- gestione della disattivazione e attivazione remota della fornitura e limitazione della potenza e della portata;
- capacità di garantire comunicazioni protette, consentendo al contatore intelligente di esportare dati metrologici per la visualizzazione e possibile analisi da parte del consumatore finale o da terzi designati dal consumatore stesso;
- capacità di fornire informazioni tramite portale web/gateway ad un visualizzatore domestico o dispositivi ausiliari.

È da notare che le direttive che richiamano lo smart metering non definiscono i cosiddetti requisiti essenziali, pertanto tutte le norme sviluppate sotto il Mandato M441 non possono essere armonizzate. Ciò non preclude tuttavia la possibilità di utilizzare tali norme nell'ambito di linee guida o provvedimenti regolatori di più ampia portata, che le richiamino esplicitamente. Le norme sviluppate hanno l'obiettivo primario di garantire un servizio affidabile e sicuro nei confronti del consumatore, nel rispetto dei

requisiti di sicurezza, protezione del dato e della privacy. Al fine di chiarire ulteriormente le funzionalità ed i flussi di dati ad esse correlate, è necessario scendere ancor più nel dettaglio con la definizione dei casi d'uso, che non sono altro che descrizione con maggior precisione delle funzionalità sopra citate, specificate per tutti i processi che compongono lo smart metering e per gli attori che vi interagiscono. A tale proposito, gli Enti di normazione hanno in primo luogo il compito di mettere a disposizione una raccolta organica di casi d'uso che, più che un elenco rigido ed immutabile, sono intesi come strumento di lavoro destinato a modificarsi e ad arricchirsi man mano che le realizzazioni di progetti di smart metering progrediranno a livello europeo.

Una panoramica della normativa sullo smart metering

Un gran numero di comitati è stato coinvolto nello sviluppo delle norme sullo smart metering, ed in particolare quelli che si occupano di misura nel campo dell'energia elettrica, del gas, dell'acqua e dell'energia termica. Come già accennato, il coordinamento tra detti comitati tecnici (ma anche tra gli stessi Enti di normazione europei) è stato affidato allo SMCG, un caso piuttosto anomalo - per non dire unico - nell'ambito della normazione tecnica-volontaria. Infatti, tale organo tecnico non si è occupato di elaborare direttamente specifiche norme tecniche, bensì di garantire che le varie attività di CEN, CENELEC ed ETSI in materia fossero strutturate in maniera omogenea ed efficace, in accordo al Mandato M441. Un possibile schema del quadro è illustrato in Figura 1.

In ogni caso, anche se ciò potrà sembrare ovvio, vale la pena di ricordare che tutta questa grande e ambiziosa "sovrastuttura" riguardante lo smart metering è costruita in primo luogo per trasportare, come elemento fondamentale, il dato di misura.

Nell'impeto della connettività, della comunicazione in tempo reale, spesso non prestiamo attenzione al contenuto dell'informazione che ci scambiamo. Sembra che questo paradigma sia a volte traslato nell'applicazione dello smart metering dove a fronte di termini alla moda come "internet of things" e connettività globale, spesso ci si dimentica del contenuto informativo e di quanto comunque occorre continuamente fare, nello specifico, per avere un risultato di misura accurato ed affidabile, soprattutto se consideriamo il tempo di permanenza in campo degli smart meters, che non si misura certo nei pochi mesi che separano due generazioni di modelli di smartphone avanzati.

Non per nulla il Mandato europeo richiama espressamente come fondamento dello smart metering la Direttiva MID (recepita nella legislazione nazionale come d.lgs. 22/2007).

Dato per scontato che i comitati che si occupano della misurazione in sé - dunque degli aspetti metrologici e relativi requisiti - abbiano svolto bene il loro lavoro (e che le norme siano correttamente applicate) rimane la necessità definire tutti gli aspetti relativi alla comunicazione. Per questo motivo i comitati che hanno più contribuito agli sviluppi, svolgendo in proposito anche un ruolo di coordinamento, sono stati il gruppo M2M (machine to machine) dell'ETSI, il CLC/TC 13 (contatori elettrici, in Italia interfacciato dal CEI) ed il CEN/TC 294 (telelettura di contatori, interfacciato da UNI).



Figura 1 - Quadro organizzativo della normazione in ambito smart metering

Spesso, oltre allo sviluppo di nuove Norme al fine di incorporare le nuove tecnologie di comunicazione, si è anche resa necessaria una pesante ristrutturazione delle esistenti, al fine di farle rientrare nel nuovo quadro generale stabilito dal mandato. In alcuni casi sono nate, "norme quadro", ovvero norme che specificano come si costruiscono altre norme nell'ambito dei profili di comunicazione. Come esempio di quanto detto vanno citate la (recentemente pubblicata):

EN 62056 1 - 0:2015 Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - Part 1-0: *Smart metering standardization framework*

e la:

IEC 62056 -1-1, Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - Part 1-1: *Template for DLMS/COSEM communication profile standards*

attualmente in fase di discussione.

Occorre qui osservare che, quando si parla di telelettura dei contatori, le distinzioni tra le diverse normative diventano più sfumate, in quanto, sia per ragioni storiche che per motivi tecnici, si è assistito ad uno scambio di informazioni e di competenze tra i diversi Comitati e, di conseguenza, ad un'adozione "incrociata" delle relative norme.

Con riferimento alle norme portate ad esempio più sopra, il loro titolo potrebbe essere infatti fuorviante e far ritenere che esse si applichino ai soli contatori di energia elettrica. Al contrario il protocollo DLMS COSEM che esse trattano, adottato a livello europeo come riferimento preferenziale, si applica a tutte le tipologie di contatori. Storicamente esso è nato per dare supporto alle prime applicazioni di telelettura in campo elettrico e come tale adottato in ambito CENELEC, ma presto si è evoluto per diventare multi energia.

Così il significato dell'abbreviazione COSEM da "Companion Specification for Electricity metering" si è presto trasformato in "Companion Specification for Energy Metering". La manutenzione delle relative norme è affidata ancora al CLC/TC 13, principalmente per motivi storici.

La normativa CEN ed i suoi sviluppi

Nel campo specifico della comunicazione necessaria allo *smart metering* "non elettrico", il lavoro fondamentale è svolto dal CEN/TC 294: ad esso compete la normazione dei sistemi di comunicazione per contatori per tutti i tipi di fluidi ed energie distribuite dalla rete, ad eccezione appunto dei contatori elettrici. Le norme elaborate dal CEN/TC 294 forniscono la definizione dei protocolli di comunicazione orientate sul classico modello di comunicazione a più livelli, da quello fisico a quello di applicazione. In particolare, le suddette norme tengono conto delle specificità di questi contatori che dispongono di risorse limitate, essendo spesso alimentati a batteria, il che ha un impatto non trascurabile sulle strategie di comunicazione.

Il CEN/TC 294 ha anche la responsabilità di dare supporto agli aspetti di sicurezza e privacy della comunicazione, predisponendo meccanismi scalabili per i servizi di sicurezza, l'integrità dei dati, l'autenticazione e la riservatezza. L'approccio normativo di questo Comitato tenden-

zialmente riconosce che gli Stati membri possano avere ciascuno diverse priorità, in funzione di proprie analisi costi-benefici (come peraltro espressamente previsto dalle direttive europee). Accanto a questo è da segnalare che, purtroppo, ci sono differenze nelle architetture nazionali esistenti e già utilizzate per sistemi di contabilizzazione, cosicché l'armonizzazione dei diversi requisiti viene resa ancora più ardua e deve tener presente da una parte la legittima necessità di mantenere una certa retro-compatibilità, dall'altra quella di non impedire l'evoluzione tecnologica, evitando al tempo stesso che le norme diventino semplicemente una raccolta di soluzioni nazionali, il che violerebbe lo spirito stesso del mandato europeo.

La principale serie di norme elaborata dal CEN/TC 294 è la EN 13757, le cui parti sono state tutte aggiornate di recente proprio per ottemperare al Mandato M441, come riportato nel Prospetto 1.



UNI EN 13757-1:2015	Sistemi di comunicazione per contatori - Parte 1: Scambio dati
UNI CEI EN 13757-2:2005	Sistemi di comunicazione per contatori e di lettura a distanza dei contatori Parte 2: Livello fisico e dei collegamenti
UNI CEI EN 13757-3:2013	Sistemi di comunicazione per contatori e di lettura a distanza dei contatori Parte 3: Livello dell'applicazione dedicata
UNI CEI EN 13757-4:2013	Sistemi di comunicazione per contatori e di lettura a distanza dei contatori Parte 4: Lettura wireless del contatore (lettura via radio per il funzionamento nelle bande SRD)
UNI CEI EN 13757-5:2009	Sistemi di comunicazione per contatori e di lettura a distanza dei contatori Parte 5: Ritrasmissione senza fili (wireless)
UNI CEI EN 13757-6:2009	Sistemi di comunicazione per contatori e di lettura a distanza dei contatori - Parte 6: Bus locale
NOTA Le nuove edizioni delle parti 5 e 6 sono ormai prossime alla pubblicazione.	

Prospetto 1 - Le norme della serie EN 13757

Applicazioni in Italia della normativa CEN

L'Italia, già all'avanguardia per quanto concerne lo *smart metering* elettrico, si pone tra i primi anche in ambito gas, ed in questo campo l'insieme di norme proposte, sviluppate dal Comitato Italiano Gas (CIG) in qualità di Ente Federato UNI di settore, è decisamente corposo. Possiamo suddividere questo corpus normativo in due blocchi distinti, il primo costituita da dieci norme numerate da UNI/TS 11291-1 a UNI/TS 11291-10, ed il secondo numerato come UNI/TS 11291-11 e costituito da sei parti.

In particolare il secondo blocco di norme riguarda il mercato residenziale, definendo il protocollo di comunicazione radio a rete fissa, il modello applicativo ed i casi d'uso. Non è questo il luogo per una discussione dettagliata di quest'ultime norme. È tuttavia utile ricordare che le scelte fatte nella loro progettazione si allineano con il mandato europeo, utilizzando appieno le norme della serie EN 13757 sopra elencate ed in particolare il DLMS COSEM come modello applicativo. Anche l'architettura dell'applicazione italiana risulta conforme a quanto stabilito dal CEN/CLC/ETSI/TR 50572.

Smart metering e normazione: un connubio sempre attivo

Da quanto discusso in precedenza, appare evidente come il processo normativo in ambito *smart metering* diventi sempre più dinamico ed esigente. L'innovazione tecnologica, l'evoluzione dei mercati e delle necessità

dei consumatori finali, i ritorni di esperienza dal campo, le esigenze relative alla sicurezza, evidenziano come il processo tradizionale di sviluppo delle norme debba evolversi al fine di consentire una maggior rapidità che in passato. Questa esigenza deve però andare d'accordo con una necessità contrastante, ovvero quella di garantire un'affidabilità di funzionamento e prevenire una precoce obsolescenza di prodotti che per loro natura (addirittura per legge) devono garantire la permanenza in campo per almeno quindici anni. Se parliamo poi di sicurezza, la necessità di poter aggiornare con frequenza i relativi algoritmi e procedure è quasi implicita, ed anche in questo caso è richiesto uno sforzo continuo di adattamento delle norme, come già evidenziato in precedenza. Anche per questi motivi è in discussione una revisione dei "Terms of reference" del SCMG al fine di rendere costante nel tempo la disponibilità di una piattaforma comune per la normazione, mantenendo aggiornato l'elenco delle norme europee e degli altri documenti normativi pertinenti, dando supporto e consiglio agli organismi di normazione tramite un monitoraggio continuo degli sviluppi normativi e delle esperienze in campo, al fine identificare le eventuali lacune e coordinare il lavoro di armonizzazione.

Emilio Consonni

Coordinatore del GL3 "Smart meters e smart grids" (ITRON)