

ORGANIZZAZIONE DELLE ATTIVITA' METROLOGICHE E SISTEMA INTERNAZIONALE

1-Generalità

La metrologia opera in due ambiti distinti caratterizzati da specificità ed esigenze proprie:

- la metrologia scientifica e tecnica;
- la metrologia legale.

Compito della *metrologia scientifica e tecnica* è quello di (i) *realizzare*, (ii) *riprodurre*, (iii) *mantenere nel tempo* e (iv) *disseminare* i campioni primari delle unità di misura delle grandezze fisiche definite dal Sistema Internazionale delle Unità (SI) [1 ÷ 7] nelle attività scientifiche, tecniche e industriali. Questo compito è coordinato a livello nazionale dagli "Istituti Nazionali di Metrologia"

- *realizzare* un campione primario significa determinare, con l'incertezza minima consentita dalle tecniche disponibili, il valore da assegnare al parametro principale di un campione materiale coerentemente con definizione dell'unità stessa;
- *riprodurre* un'unità significa realizzare un nuovo campione dell'unità di misura seguendo raccomandazioni concordate a livello internazionale;
- *mantenere nel tempo* un'unità significa mettere a un punto una procedura sperimentale, basata sull'impiego di campioni e strumenti di misura, che sia in grado di garantire costantemente la disponibilità dell'unità nelle sue realizzazioni e riproduzioni;
- *disseminare* un'unità significa individuare i metodi e i mezzi necessari perché le misure di una grandezza fisica, ottenute da una molteplicità di utilizzatori, in determinati campi di misura e con assegnati livelli d'incertezza, siano riferite al campione primario realizzato in un certo ambito geografico da un Istituto Nazionale di Metrologia oppure al campione adottato come nazionale nel medesimo ambito geografico.

Di norma agli Istituti Nazionali di Metrologia si richiedono un continuo lavoro di messa a punto di nuove metodologie di misura, il progetto e la costruzione di nuovi strumenti e sistemi, l'estensione dei campi di misura delle diverse grandezze e una riduzione dei relativi livelli d'incertezza. Tutto ciò è conseguente all'acquisizione di nuove conoscenze fisiche, alla disponibilità di tecnologie più avanzate e alle maggiori e più impegnative richieste di riferibilità degli utilizzatori; queste ultime sono collegate, a loro volta, con l'esigenza di migliorare la qualità e l'affidabilità dei prodotti, dei servizi e dei processi nei settori di specifico interesse.

Compito della *metrologia legale* è quello di verificare che tutti gli strumenti di misura impiegati nelle transazioni commerciali (bilance meccaniche ed elettroniche, misuratori di carburanti liquidi, contatori di volume di gas, strumenti per misure lineari, cronotachigrafi, ecc.) o per i quali specifiche disposizioni legislative prevedono ben definiti requisiti di riferibilità e di affidabilità, rispondano ai requisiti previsti dalla legislazione vigente o in documenti normativi concordati nell'ambito dell'Organizzazione Internazionale di Metrologia Legale (OIML). Per quanto concerne l'Italia, i compiti di metrologia legale sono svolti, alle dipendenze del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, dall'Ufficio Centrale Metrico e da Uffici Provinciali Metrici decentrati presso le Camere di Commercio.

2- Coordinamento delle attività metrologiche a livello internazionale

La crescita industriale e la necessità di unificare le unità di misura portarono nel 1875 alla firma, da parte di 17 Stati, della Convenzione del Metro, a cui aderiscono ora 48 Stati. Il coordinamento delle attività metrologiche a tutti i livelli (scientifico e diplomatico, nazionale e internazionale) veniva affidato alla Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM), formata dai delegati degli Stati aderenti alla Convenzioni del Metro, con il compito di:

- discutere e incentivare le misure necessarie per diffondere e perfezionare il Sistema Internazionale (SI);
- sanzionare i risultati di nuove determinazioni metrologiche fondamentali;
- adottare risoluzioni scientifiche di portata internazionale;
- deliberare la definizione delle unità SI.

La CGPM si avvale dell'opera del Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM), composto di membri nominati dalla CGPM, con il compito di eseguire le decisioni della CGPM e di sovrintendere all'attività del *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM). Quest'ultimo è un laboratorio metrologico internazionale, con sede a Sèvres nei pressi di Parigi, che costituisce l'organo permanente scientifico della CGPM e ha il compito di:

- conservare i prototipi dei campioni;
- effettuare i confronti necessari per assicurare l'uniformità delle misure a livello internazionale;
- effettuare e coordinare la determinazione di costanti fisiche fondamentali.

In origine il *Bureau International de l'Heure* (BIH) presso l'Osservatorio di Parigi aveva l'incarico di stabilire l'unità di tempo e il riferimento temporale per la scala di tempo, il cosiddetto Tempo Atomico Internazionale (TAI). Con il trasferimento al BIPM nel 1985 della Sezione del BIH incaricata del tempo atomico, il BIPM ha assunto anche la piena responsabilità del TAI.

Al CIPM fanno capo dieci Comitati Consultivi, costituiti da rappresentanti dei laboratori metrologici più qualificati (tra parentesi la sigla e l'anno di costituzione):

- Comitato Consultivo di Eletticità e di Magnetismo (CCEM, 1927);
- Comitato Consultivo di Fotometria e Radiometria (CCPR, 1933);
- Comitato Consultivo di Termometria (CCT, 1937);
- Comitato Consultivo della Lunghezza (CCL, 1952);
- Comitato Consultivo di Tempo e Frequenza (CCTF, 1956);
- Comitato Consultivo delle Radiazioni Ionizzanti (CCRI, 1958);
- Comitato Consultivo delle Unità (CCU, 1964);
- Comitato Consultivo per la Massa e le Grandezze Apparentate (CCM, 1980);
- Comitato Consultivo per la Quantità di Sostanza (CCQM, 1993);
- Comitato Consultivo per l'Acustica, Ultrasuoni e vibrazioni (CCAUV, 1998).

Questi Comitati Consultivi svolgono azioni di consulenza verso il CIPM sulle questioni scientifiche di loro competenza, orientano i lavori del BIPM, coordinano i lavori dei laboratori nazionali e organizzano confronti di misura basati sulla circolazione di campioni viaggiatori.

Sono da segnalare infine le iniziative intraprese dall'organismo che cura la cooperazione metrologica in Europa (EUROMET) e dall'Unione Europea nel settore della metrologia applicata e dei materiali di riferimento e riguardanti:

- l'organizzazione di confronti di misure eseguite su campioni viaggiatori da laboratori di diversi Paesi, con l'obiettivo di verificare e migliorare la mutua riferibilità;
- la realizzazione di nuovi metodi, strumenti e campioni in settori di rilevante interesse;
- la produzione e la distribuzione di materiali di riferimento certificati.

In particolare l'EUROMET ha lo scopo di programmare la collaborazione metrologica fra i membri, coordinare la conoscenza e disponibilità dei principali investimenti metrologici, ottimizzare le risorse ed i servizi dei Paesi Membri e svilupparne di nuove, migliorare i servizi di misura e di disseminazione rendendoli accessibili a tutti i membri e collaborare con i servizi europei di taratura e di metrologia legale.

3 – Il Sistema Internazionale delle Unità (SI)

La nascita del sistema internazionale delle unità di misura (simbolo SI) risale al 1960, quando la XI CGPM approvò un sistema pratico di unità di misura con questo nome e diede regole per i prefissi, le unità derivate e quelle supplementari. Essa rappresenta una tappa importante di un lavoro avviato dalla IX CGPM nel 1948, ma non un traguardo, poiché tale sistema ha già subito una evoluzione, e altre evoluzioni è destinato ad avere, come conseguenza dei progressi nelle conoscenze fisiche e nelle tecnologie che man mano si rendono disponibili.

Nel sistema SI si distinguono:

- unità fondamentali (o di base);
- unità derivate.

Dal punto di vista scientifico, c'è un elemento di arbitrarietà nella divisione delle unità SI in due classi. Tuttavia la CGPM, in considerazione dei vantaggi derivanti dall'adozione di un sistema di unità pratico e unico, da poter usare universalmente nelle relazioni internazionali, nell'insegnamento e nella ricerca scientifica, decise di fondare il sistema SI sulla scelta di sette unità che si conviene di considerare indipendenti dal punto di vista dimensionale: il metro, il Kilogrammo, il secondo, l'ampere, il kelvin, la mole e la candela.

La seconda classe contiene le unità derivate, cioè le unità che possono essere formate combinando le unità fondamentali secondo relazioni algebriche che legano le corrispondenti grandezze. Ad alcune di queste unità derivate sono stati dati nomi e simboli speciali, che possono essere usati nella formazione di espressioni e simboli di altre unità.

Per la formazione di multipli e sottomultipli decimali delle unità SI la CGPM ha adottato una serie di prefissi SI che coprono ora la gamma che va da 10^{-24} a 10^{+24} .

Qui di seguito ci si limita a ricordare il nome, il simbolo e la definizione delle unità SI fondamentali.

Unità di lunghezza (nome: metro, simbolo: m).

Il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di $1/299.792.458$ di secondo. Questa definizione, adottata nell'ottobre 1983 dalla XVII CGPM, è basata sull'adozione di un valore convenuto per la velocità della luce nel vuoto e quindi sulla lunghezza d'onda di radiazioni monocromatiche di frequenza estremamente stabile e misurata con grande precisione.

Unità di massa (nome: kilogrammo, simbolo: kg).

Il kilogrammo è l'unità di massa ed è uguale alla massa del prototipo internazionale del kilogrammo conservato presso il BIPM (III CGPM). L'unità di massa è costituita tuttora dalla massa del prototipo in lega di platino e iridio depositato

più di un secolo fa presso il BIPM. Poiché in questo caso non è ancora stato possibile sviluppare e adottare una nuova definizione che consenta di riprodurre il kilogrammo in un qualsiasi laboratorio, a tutti gli Stati aderenti alla Convenzione del Metro è stata consegnata una copia del kilogrammo prototipo costruita e tarata dal BIPM: si tratta di un cilindro con altezza circa uguale al diametro (39 mm) e massa volumica di $21,55 \text{ kg/dm}^3$.

Unità di tempo (nome: secondo, simbolo: s)

Il secondo è l'intervallo di tempo che contiene 9.192.631.770 periodi della radiazione corrispondente alla transazione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133 (avente una lunghezza d'onda pari a $3,261225572 \text{ cm}$). Questa definizione è stata adottata dalla XIII CGPM nel 1967.

Unità di corrente elettrica (nome: ampere, simbolo: A)

L'ampere è l'intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori paralleli, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile e posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro, nel vuoto, produrrebbe tra i due conduttori la forza $2 \cdot 10^{-7}$ Newton su ogni metro di lunghezza.

Unità di temperatura termodinamica (nome: kelvin, simbolo: K)

Il kelvin è la frazione $1/273,16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua (punto d'equilibrio tra le fasi solida, liquida e gassosa). Il sistema SI definisce quindi il kelvin assegnando al punto triplo dell'acqua la temperatura termodinamica di $273,16 \text{ K}$, definendo in tal modo la Scala Termodinamica di Temperatura.

Unità di quantità di sostanza (nome: mole, – simbolo: mol)

La mole è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in $0,012 \text{ kg}$ di carbonio 12. Quando si usa la mole, le entità elementari vanno specificate e possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, altre particelle ovvero gruppi specificati di tali particelle.

Unità di intensità luminosa (nome: candela – simbolo: cd)

La candela è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ hertz e la cui intensità energetica in quella direzione è di $1/683$ watt alla steradiane. Con questa definizione adottata nell'ottobre 1979 dalla XVI CGPM la candela è basata non più su un campione materiale, ma su una sorgente di luce visibile monocromatica avente una frequenza e un'intensità energetica specificata.

Le Unità derivate sono quelle unità SI che possono essere espresse in termini di unità fondamentali per mezzo dei simboli matematici di moltiplicazione e divisione. Ad alcune unità derivate sono date nomi e simboli speciali che possono usati in combinazione con altri simboli (fondamentali o derivati) per esprimere le unità di altre grandezze.

4- La riferibilità a livello internazionale

Il problema di assicurare trasparenza e fiducia nei percorsi della riferibilità a livello nazionale e internazionale si pone in primo luogo per il lavoro metrologico a livello più alto svolto dagli Istituti di metrologia nazionali.

I processi d'integrazione tra i sistemi industriali ed economici di Paesi appartenenti ad aree regionali dei vari continenti (Europa, area Asia-Pacifico, Nord e Sud America) e la necessità di eliminare le barriere tecniche al commercio in una dimensione globale hanno messo in evidenza l'interesse della *riferibilità a livello internazionale* [6,7]. Si è così aperta una discussione sui metodi da eseguire per stabilire e dimostrare la riferibilità a livello internazionale e quindi l'equivalenza tra campioni messi a disposizione da Istituti metrologici di Paesi diversi: è questa la base per la compatibilità delle misure e quindi per l'equivalenza delle tarature entro ciascuna regione, tra regioni e, in definitiva, a livello internazionale. Il 14 ottobre 1999 è stato firmato dai massimi responsabili metrologici nazionali, nel quadro della XXI CGPM, il Mutual Recognition Arrangement (MRA) [19] che prescrive la politica dei confronti internazionali tra i campioni e le scale di misura, a cui gli Istituti di Metrologia Primari (PMI) devono sottoporsi per dare evidenza della riferibilità e dell'equivalenza delle misure.

Secondo quanto raccomandato dal documento EUROMET [8], ogni Istituto nazionale di metrologia che esegue tarature per terzi deve rispondere ai requisiti delle norme [9,10 e 17] e attenersi ad alcune regole, suggerite dalle stesse norme, per stabilire e documentare la riferibilità internazionale dei propri campioni. Specificamente, l'Istituto deve definire, per ogni grandezza e l'associato campo di misura per cui esegue tarature: il nome della persona incaricata, lo schema di riferibilità, il riferimento dei documenti che presentano le ricerche svolte e i metodi, la registrazione delle date delle operazioni che hanno portato a definire il valore assegnato a un campione e i risultati di tali operazioni, l'incertezza associata al campione, il riferimento dei risultati di confronto di misura tra laboratori. Essenziale è la partecipazione a confronti internazionali, effettuati, secondo uno scadenziario definito su base bilaterale:

- per “regioni”, coincidenti con le maggiori aree economiche dei vari continenti (per esempio Europa, area Asia-Pacifico, Nord America, Sud America) e in cui emergano laboratori pilota (non necessariamente per tutte le grandezze);
- a livello interregionale, limitatamente ai laboratori pilota e sempre sotto il coordinamento del BIPM e dei Comitati Consultivi del CIPM.

I risultati dei confronti, dopo un esame congiunto da parte dei laboratori partecipanti su base paritetica (*peer-evaluation*), sono pubblicati (per esempio sulla rivista *Metrologia*) e inseriti in una banca dati internazionale gestita dal BIPM. In questo modo si danno le basi per stabilire un ambito più vasto di quello nazionale la *referibilità a un campione internazionale*, definita come la proprietà che un dispositivo di misura acquisisce quando il suo diagramma di taratura è riconducibile a un campione internazionale, dove quest'ultimo è definito come un campione riconosciuto mediante un accordo internazionale che serve a livello internazionale come base per assegnare valori ad altri campioni della grandezza considerata. A questo proposito si ricordano le dichiarazioni di mutua equivalenza, firmate tra il 1985 e il 1992, tra le realizzazioni pratiche degli Stati Uniti e in Italia delle unità di lunghezza, tempo, tensione elettrica, resistenza elettrica, capacità elettrica, intensità luminosa, pressione in mezzo liquido e in mezzo gassoso e della scala nazionale di temperatura. Queste realizzazioni sono fornite negli Stati Uniti dal NIST e in Italia dall'IMGC per la lunghezza e la temperatura e dall'IEN per le altre grandezze.

5- La metrologia in Italia e il sistema nazionale di taratura

Un fatto di grande rilievo per le attività metrologiche in Italia è costituito dalla legge 11 agosto 1991, n. 273, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n.199 del 26 agosto 1991 e recante “*Istituzione del sistema nazionale di taratura*”. Secondo questa legge, il sistema nazionale di taratura è costituito dagli istituti metrologici primari e dai centri di taratura ed ha il compito di assicurare la riferibilità ai campioni nazionali dei risultati delle misurazioni, siano esse effettuate in ambito scientifico, nella pratica industriale e nel settore dei servizi. Ancora secondo la legge n.273/1991, svolgono la funzione di Istituti metrologici primari:

L'istituto di Metrologia “Gustavo Colonnetti” (IMGC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) per i campioni delle unità di misura impiegate nel campo della meccanica e della termologia;

L'istituto Elettrotecnico Nazionale “Galileo Ferraris” (IEN) per i campioni riguardanti le unità di misura del tempo e delle frequenze e per le unità di misura impiegate nel campo dell'elettricità, della fotometria, dell'optometria e dell'acustica;

L'istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI) dell'Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA) per i campioni delle unità di misura impiegate nel campo delle radiazioni ionizzanti.

Questi Istituti effettuano studi e ricerche finalizzati alla realizzazione dei campioni primari delle unità SI e alla determinazione delle costanti fisiche fondamentali; confrontano a livello internazionale i campioni realizzati, partecipando a cicli di confronto organizzati dai Comitati Consultivi del CIPM e a quelli promossi dalla Unione Europea e dall'EUROMET, e li mettono a disposizione ai fini della disseminazione prevista del sistema nazionale di taratura (SNT); propongono i campioni nazionali; si avvalgono, ai fini di realizzare una sinergia dei mezzi e di competenze, anche nei corrispondenti settori operativi, delle risorse messe a disposizione da altri Istituti che svolgono attività metrologiche (Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione, Istituto Superiore di Sanità); assicurano la conservazione nel tempo dei campioni nazionali proposti; procedono alla disseminazione delle unità con essi realizzate, attuando tutte le operazioni tecniche e procedurali che consentono e garantiscono il trasferimento delle unità dal livello dei campionari primari a quello applicativo. Gli Istituti metrologici primari mantengono un continuo scambio di informazioni e di esperienze con gli Istituti metrologici di altri Paesi e, in particolare in Europa, con quelli che fanno capo all'EUROMET; partecipano ai programmi di metrologia applicata promossi dall'Unione Europea; sono membri dei Comitati Consultivi afferenti al CIPM di rispettiva competenza (CCEM, CCPR, CCTF e CCAUV per l'IEN; CCT, CCL; CCM e CCQM per l'IMGC).

La disseminazione è effettuata, oltreché dagli Istituti metrologici primari, dai Centri di taratura SIT, definiti dalla legge n. 273/1991 come laboratori di idonea valenza tecnica ed organizzativa convenzionati con gli istituti primari per l'effettuazione della taratura degli strumenti di misura sulla base di campioni secondari confrontati periodicamente con quelli nazionali. In applicazione della legge n.273/1991, con decreto 15 gennaio 1996 del Ministro dell'Industria, è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale l'elenco dei Centri di taratura SIT. Riferibilità e disseminazione sono due concetti che riassumono il processo che dai campioni nazionali conduce a ogni misura e che descrivono i compiti del SNT.

6 – I campioni nazionali delle unità di misura

In applicazione della legge n.273/1991, il 15 febbraio 1994 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il decreto ministeriale 30 novembre 1993, n.591, con cui il Ministero dell'industria, d'intesa con quello dell'Università e della ricerca, ha adottato il “*Regolamento concernente la determinazione dei campioni nazionali di talune unità di misura del Sistema Internazionale (SI) in attuazione dell'art.3 della legge 11 agosto 1991, n.273*”. Il decreto identifica 25 campioni nazionali e precisa, per ogni campione: l'Istituto che provvede alla sua realizzazione (IMGC, IEN o ENEA); il metodo di realizzazione; i campioni di misura, l'apparato o gli apparati usati per la sua conservazione; l'incertezza con cui il campione nazionale è conservato (stimata a livello di una volta lo scarto tipo secondo quanto raccomandato dal CIPM nel 1991); il valore o il campo di valori a cui è associato tale incertezza. L'informazione sull'incertezza del campione nazionale rappresenta un'innovazione rispetto a una tradizione che vedeva i campioni, specie se primari o nazionali, come qualcosa di esatto per definizione.

Con la pubblicazione del decreto sui campioni nazionali l'Italia si è posta all'avanguardia in Europa per gli adempimenti necessari a facilitare il mutuo riconoscimento della taratura degli strumenti di misura, sui quali si basa

l'attività di certificazione. I campioni nazionali costituiscono, infatti l'elemento di raccordo tra la struttura metrologica italiana e quella di altri paesi e, partecipando ai confronti internazionali, assicurano l'armonizzazione delle misure in un ambiente più ampio di quello nazionale.

I campioni nazionali si collocano ai vertici di una piramide, la cui base comprende tutte le misurazioni; ai diversi piani della piramide si collocano i dispositivi di misura, la cui riferibilità ai campioni nazionali è costruita e documentata realizzando procedure di tarature in cui intervengono dispositivi già riferiti ai campioni nazionali. Nei casi in cui non sono disponibili i campioni nazionali necessari per tarare il dispositivo in esame, la riferibilità è stabilita ricorrendo a campioni internazionali riconosciuti, come possono essere i campioni nazionali di altri paesi, o è costruita e documentata dal laboratorio medesimo mediante procedure nelle quali intervengono dispositivi già riferiti a campioni internazionali. Nei casi in cui la riferibilità alle unità SI non è possibile o applicabile, la fiducia nei risultati di misura deve essere fornita con altri mezzi, come la partecipazione a confronti di misura tra laboratori che abbiano sviluppato campioni di riferimento simili, l'uso di materiali di riferimento certificati, l'impiego di un altro metodo di misura o di campioni specificati e concordati tra tutte le parti interessate [11].

Gli istituti metrologici primari italiani (IMGC, IEN ed ENEA), dopo la fase di definizione dei campioni nazionali, stanno attuando, seguendo le indicazioni dell'EUROMET [8] e al pari di altri Istituti nazionali di metrologia [13], un sistema di gestione della qualità, che mira ad aumentare la fiducia e la trasparenza nelle attività metrologiche svolte. Questo sistema riguarda: il mantenimento e la disseminazione dei campioni nazionali; l'accreditamento di laboratori e le attività di taratura e prova, in accordo con le norme EN 45000; il complesso delle prestazioni svolte per conto di committenti pubblici e privati, ivi comprese quelle di ricerca applicata, in accordo con le norme ISO/IEC 17025.

Qui di seguito so forniscono alcune informazioni sul sistema SI, sulla realizzazione e sulla conservazione dei campioni delle unità di misura e sui campioni nazionali proposti dagli Istituti metrologici primari in applicazione della legge n.273/1991 [12, 13,14 e 18].

Unità di misura nel campo della meccanica

Il campione nazionale di lunghezza è realizzato dall'IMGC tramite una radiazione monocromatica di luce coerente, assegnando alla frequenza il valore fornito dal CIPM e alla velocità della luce nel vuoto il valore 299.792458 m/s stabilito dalla XVII CGPM. Esso è conservato mediante una coppia di laser elio-neo stabilizzati per riferimento a una componente di struttura iperfine della transizione 11-5 R(127) della molecola dello iodio 127, la cui lunghezza d'onda nel vuoto è nota con incertezza relativa di $3,4 \cdot 10^{-10}$.

Seguendo le raccomandazioni del CIPM l'IMGC realizza e conserva anche laser stabilizzati assumendo come riferimento una componente di struttura iperfine della transizione 9-2 R(47) della molecola dello iodio 127. L'IMGC realizza anche campioni ottici di frequenza a diverse lunghezze d'onda nel visibile e nel vicino infrarosso dello spettro elettromagnetico, pari a 514 nm, 543 nm, 593 nm, 640 nm, 852 nm, 1,5 μm , 3,39 μm , e 10 μm . Questi laser possono essere direttamente usati per misurare lunghezze con tecniche di tipo interferometrico; per la maggior parte delle misure industriali è necessario derivare dai campioni di tipo ottico campioni di materiali, in generale di acciaio, la cui lunghezza è definita in base alla distanza fra tratti nel caso di regoli e tra superfici nel caso di blocchetti piano-paralleli.

Il campione nazionale di massa è la copia n.62 del Kilogrammo Prototipo Internazionale (KPI), costruita nel 1973 dal BIPM ed è conservato dall'IMGC. Esso reca il numero 62 inciso sulla superficie laterale ed è conservato e impiegato secondo i criteri indicati dal CIPM. La massa del campione nazionale, determinata per confronto con il KPI, è pari a 0,999999051 kg, con incertezza di 8 μg . La relazione tra la massa del campione nazionale e la massa del prototipo nazionale, copia n.5 del KPI di cui al Regio Decreto 23 agosto 1890, è periodicamente verificata mediante confronti diretti o indiretti tra due masse. Il prototipo nazionale è conservato dall'Ufficio Centrale Metrico, ai fini dei compiti istituzionali a esso assegnati (concernenti la metrologia legale) e confermati dalla legge n.273/1991.

La derivazione dei campioni secondari del Kilogrammo è effettuata per confronto mediante il comparatore di massa installato presso l'IMGC in un locale a temperatura controllata e azionato dall'esterno mediante telecomandi, avente scarto tipo pari a 0,1 μg . Per i campioni secondari di acciaio inossidabile o di leghe speciali (densità compresa tra 7500 kg/m³ e 9000 kg/m³), la derivazione dal campione nazionale comporta la necessità di determinare la densità dell'aria durante le operazioni di confronto. Ciò consente la derivazione dei campioni secondari in acciaio inossidabile con incertezza di 13 μg .

Il campione nazionale di angolo piano è realizzato dall'IMGC sia per divisione del cerchio a partire dall'angolo giro ($360^\circ = 2\pi$ rad), sia per derivazione del campione nazionale di lunghezza mediante il rapporto di due lunghezze collegate tra loro da una relazione trigonometrica. Esso è conservato mediante apparati basati su tavola a indice e barra seno, con incertezza di 0,24 μrad (0,05").

Il campione nazionale di massa volumica (densità) è realizzato dall'IMGC per derivazione da quelli di massa e di lunghezza. Esso è conservato mediante un gruppo di sfere di silicio monocristallino, la cui massa volumica è nota con incertezza relativa di $7 \cdot 10^{-7}$.

Il campione nazionale di portata in massa è realizzato dall'IMGC per derivazione da quelli di massa e di tempo. Esso è conservato mediante un impianto basato sulla misurazione diretta della massa di acqua demonizzata effluita nell'unità di tempo attraverso una sezione di prova, con incertezza relativa di $4 \cdot 10^{-4}$ per portata in massa da 0,2 kg/s a 5 kg/s, con pressione di linea da 100 kPa a 500 kPa e temperatura da 18°C a 30 °C.

Il campione nazionale di forza è realizzato dall'IMGC per derivazione da quello di massa e tramite la misurazione dell'accelerazione di gravità locale. Esso è conservato mediante macchine generatrici di forza, dette a pesi diretti, con incertezza relativa di $2,5 \cdot 10^{-5}$ per forza da 2N a 100KN.

L'IMGC realizza, per derivazione dai campioni nazionali di forza, di lunghezza e di tempo, conformemente alle definizioni contenute nelle specifiche nazionali e internazionali, **le scale nazionali di durezza**, grandezza ampiamente usata per il controllo di qualità. Le scale sono conservate mediante una macchina generatrice di forza attrezzata con penetratori e con sistemi di misura della profondità o della dimensione dell'impronta, detta durometro a pesi diretti.

Il campione nazionale di pressione è realizzato dall'IMGC per derivazione da quelli di lunghezza e di massa e tramite la misurazione dell'accelerazione di gravità locale. Esso è conservato mediante un manobarometro a colonna di mercurio e un gruppo di accoppiamenti meccanici a pistone e cilindro, con masse caricate sul pistone, con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-4}$ a seconda del valore di pressione (da 100 Pa a 1 GPa) e del mezzo impiegato (liquido o gassoso).

Unità di misura del tempo e della frequenza

Il **campione nazionale di tempo** è realizzato dall'IMGC tramite un oscillatore agganciato in permanenza alla frequenza propria della transizione quantica dell'atomo di cesio stabilita dalla XIII CGPM con la definizione del secondo. Esso è conservato mediante un orologio atomico a fascio di cesio, con incertezza relativa $3 \cdot 10^{-13}$ per tempo d'integrazione superiore a 10^5 s.

La scala di tempo nazionale è generata dall'IEN dal campione nazionale di tempo; essa prende il nome di UTC(IEN). La datazione di un evento sulla scala UTC(IEN) è effettuabile con incertezza di 50 ns. La differenza tra la scala UTC(IEN) e la scala internazionale UTC (tempo Universale Coordinato), elaborata dal BIPM, è mantenuta entro il limite di ± 2 μ s.

L'orologio a fascio di cesio usato per la conservazione del campione nazionale è selezionato tra i 5 disponibili. La riferibilità nell'unità di intervallo della scala UTC(IEN) è assicurata attraverso confronti con la scala UTC, eseguiti al livello di $1 \cdot 10^{-13}$ mediante la ricezione dei segnali trasmessi dai satelliti del sistema *Global Positioning System* (GPS) e dei segnali emessi dal sistema di navigazione Loran-C della Catena del Mar Mediterraneo.

I progressi della metrologia del tempo e delle frequenze sono di fondamentale importanza per molti settori (sistemi di telecomunicazioni, di radionavigazione terrestre e spaziale, di distribuzione dell'energia; studio del cosmo e del nostro pianeta; scale di tempo legali). Per far fronte alle esigenze di questi settori occorre perfezionare non solo gli attuali campioni atomici di frequenza, ma anche la generazione della scala pratica di tempo di uso universale, costituita dal Tempo Atomico Internazionale (TAI). Alla generazione di questa scala contribuiscono circa 200 orologi atomici, distribuiti tra 50 laboratori di metrologia del tempo di una ventina di Paesi, tra i quali l'IEN. Collegata con il TAI e l'altra scala pratica UTC, identica alla scala TAI come unità di scala e in ritardo rispetto ad essa di un numero intero di "secondi intercalari" (30 s a fine 1996) aggiunti a partire dal 1° gennaio 1958 per seguire la rotazione della Terra. La generazione e la disseminazione delle scale TAI e UTC richiedono confronti precisi dei tempi battuti da orologi campione a grande distanza tra loro (per esempio con il sistema GPS citato).

La disseminazione della scala di tempo nazionale è effettuata mediante i segnali di sequenza di tempo generati presso l'IEN, con una stabilità in frequenza $1 \cdot 10^{-11}$ e con incertezza nel tempo di 10 μ s rispetto alla scala di tempo UTC(IEN). Questi segnali sono distribuiti, oltre che attraverso una stazione IBF a 5 MHz e due trasmettitori a 155 e 160 MHz gestiti dall'IEN, attraverso il sistema di radiodiffusione e quello telefonico. In particolare, dal 1979 l'IEN fornisce alla RAI, che a sua volta lo irradia più volte al giorno, un segnale di tempo codificato, che contiene le informazioni di mese, giorno, ora, minuto e secondo e che mediante decodificatori di basso prezzo può essere usato per tenere aggiornati orologi elettronici. Si segnalano, infine, gli studi e le sperimentazioni in corso sui sistemi di sincronizzazione a mezzo satellite delle scale di tempo realizzate da diversi laboratori. Si sta studiando una modifica del segnale di tempo codificato e che consenta di inserire l'informazione dell'anno e di segnalare preventivamente il secondo intercalare e l'introduzione dell'ora legale.

Unità di misura usate nel campo dell'elettricità

Questa attività riguarda le principali grandezze elettriche in corrente continua e in bassa frequenza (intensità di corrente elettrica, tensione elettrica, resistenza elettrica, capacità elettrica, induttanza, potenza ed energia elettrica, intensità di campo elettrico), quelle magnetiche (flusso di induzione magnetica, induzione magnetica) e quelle a radiofrequenza e a microonda (impedenza, potenza, attenuazione di potenza, impedenza caratteristica).

Il **campione nazionale di intensità di corrente elettrica** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli di tensione elettrica e di resistenza elettrica. Esso è conservato mediante un gruppo di resistori (con valori a decadi da 0,1 Ω a 10 Ω) e apparati di tipo potenziometrico, con incertezza relativa di $1,5 \cdot 10^{-6}$ per intensità di corrente elettrica da 100 μA a 1 A.

Per forti intensità di corrente elettrica in regime continuo l'IEN realizza e conserva un campione costituito da un'apparecchiatura per misure di intensità di corrente mediante misure di tensione ai capi di derivatori con valori da 100 $\mu\Omega$ a 0,1, del tipo di contenitore riempito d'olio, con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-5}$ per intensità di corrente elettrica fino a 1 kA.

Dal campione nazionale di intensità di corrente elettrica si deriva quello di intensità di corrente elettrica in regime alternato, realizzato e conservato mediante un gruppo di convertitori termoelettrici, con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-5}$ per intensità di corrente elettrica da 2 mA a 10 mA e frequenza da 40 Hz a 20 kHz. Un secondo gruppo di convertitori termoelettrici, muniti di derivatori di corrente, è conservato per estendere il trasferimento al regime alternato di intensità di corrente elettrica da 10 mA a 1 A, con incertezza relativa di $2 \cdot 10^{-5}$ per frequenza da 20 Hz a 100 kHz.

Per forte intensità di corrente elettrica in regime alternato sinusoidale, l'IEN realizza e conserva un campione costituito da un gruppo di trasformatori di corrente a due stadi, con compensazione elettronica degli errori di rapporto e di fase, con incertezza di $15 \cdot 10^{-6}$ per il rapporto e $15 \mu\text{rad}$ per la differenza di fase di intensità di corrente elettrica da 1 A a 5 kA e per sequenza da 50 Hz a 60 Hz.

Il **campione nazionale di tensione elettrica** è realizzato dall'IEN per derivazione da quello di tempo, tramite l'effetto Josephson, adottato per la costante omonima K_J il valore stabilito e adottato dal CIPM dal 1° gennaio 1990 $K_{J,90} = 483597,9 \text{ GHz/V}$. Esso è conservato mediante un gruppo di generatori di tensione di tipo elettrolitico (pile campione di tipo Weston sature) ed elettronico 10 V. L'esperimento di Josephson permette di agganciare l'unità di tensione elettrica a quella di frequenza per mezzo della costante $K_J = 2e/h$.

Per altre tensioni continue l'IEN realizza e conserva:

- un gruppo di divisori resistivi di tipo Hamon autotarati al livello di $1,5 \cdot 10^{-8}$, con incertezza relativa di $2 \cdot 10^{-6}$ per tensione elettrica da 1 mV a 1 kV;
- un divisore resistivo con rapporti fissi tra 100 kV/1 kV e 100 kV/1 kV, con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-6}$ per tensione elettrica da 1 kV a 100 kV.

Dal campione nazionale di tensione elettrica si deriva quello di tensione elettrica in regime alternato sinusoidale, realizzato e conservato mediante un gruppo di convertitori termoelettrici, con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-6}$ per la tensione elettrica da 0,5 V a 4 V e frequenza da 40 Hz a 20 kHz. Un secondo gruppo di convertitori termoelettrici, muniti di resistori addizionali, è conservato per estendere il trasferimento al regime alternato di tensione elettrica da 1 V a 1 kV, con incertezza relativa di $2,5 \cdot 10^{-5}$ per frequenza da 40 Hz a 50 Hz.

Per alte tensioni elettriche in regime alternato sinusoidale, l'IEN realizza e conserva un campione costituito da un apparato basato su condensatori in gas compresso e comparatori induttivi di corrente, con incertezza di $15 \cdot 10^{-6}$ per il rapporto e $15 \mu\text{rad}$ per la differenza di fase, per tensione elettrica da 1 kV a 120 kV e per frequenza da 50 Hz a 60 Hz.

Il **campione nazionale di resistenza elettrica** è realizzato dall'IEN mediante l'effetto Hall quantistico, adottando per la costante di von Klitzing R_K il valore stabilito è adottato dal CIPM dal 1° gennaio 1990 $R_{K,90} = 25812,807 \Omega$. Esso è conservato mediante un gruppo di resistori (da 1 Ω del tipo Thomas e altri con valori decadici da 10 Ω a 10 k Ω), con incertezza relativa di $3 \cdot 10^{-7}$ per resistenza elettrica da 1 Ω a 10 k Ω . L'esperimento Hall quantistico permette di agganciare l'unità di resistenza elettrica alla resistenza quantizzata di Hall, proporzionale alla costante $R_K = h/e^2$.

I resistori campioni da 1 Ω del tipo Thomas sono immersi in un bagno termostato. La temperatura del bagno è mantenuta uniforme e stabile a meno di 1 mK nell'intorno di 23°C ed è misurata con incertezza di 1 mK mediante un termometro a resistenza di platino (poiché il coefficiente di temperatura di tali resistori a 23 °C è dell'ordine di $5 \cdot 10^{-9} \text{ K}^{-1}$ la loro resistenza risulta definita rispetto alla temperatura al livello di $5 \cdot 10^{-9}$). I resistori sono confrontati sistematicamente tra loro con l'incertezza di $1 \cdot 10^{-8}$.

I passaggi da valori di 1 Ω ad altri più bassi (fino a 1 m Ω) e più alti (fino a 1 k Ω) sono compiuti con ponti a comparatore di corrente di tipo induttivo, con incertezze rispettivamente di $1 \cdot 10^{-6}$ e di $3 \cdot 10^{-7}$.

Per misurare più resistenza elevate per valore decadico fino 10 M Ω , si ricorre a ponti di Kelvin e di Wheatstone e a cassette di trasferimento di resistenza del tipo Hamon con resistenza di (0,1-1-10-100-1000) k Ω per ogni elemento; più precisamente, con un metodo di sostituzione si operano rispettivamente i passaggi (10 $\Rightarrow$ 1000) Ω , (0,1 $\Rightarrow$ 10) k Ω , (1 $\Rightarrow$ 100) k Ω , (10 $\Rightarrow$ 1000) k Ω , (0,1 $\Rightarrow$ 10) M Ω , con incertezze che vanno da $2 \cdot 10^{-7}$ a $3 \cdot 10^{-6}$. Per misurare resistenze di

valore ancora più alto è stato sperimentato un metodo di taratura basato sull'impiego di uno strumento di tipo commerciale, raggiungendo nella misura di resistenza comprese tra 10^9 e $10^{14} \Omega$ incertezze rispettivamente tra $1 \cdot 10^{-3}$ e $1 \cdot 10^{-2}$.

In regime alternato sinusoidale l'IEN realizza e conserva il **campione di impedenza caratteristica**, derivandolo da quello di lunghezza, mediante una sezione di linea di trasmissione in guida d'onda in aria a 10 GHz, con incertezza relativa di $1 \cdot 10^{-4}$ per impedenza da 400 Ω a 600 Ω .

Il **campione nazionale di capacità elettrica** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli di resistenza elettrica e di tempo tramite confronto di impedenze in regime alternato sinusoidale. Esso è conservato mediante un gruppo di condensatori (da 10 pF e 100 pF con dielettrico in quarzo vetroso, e da 1 nF con dielettrico gassoso), con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-7}$ per capacità elettrica da 10 pF a 1 nF, alla frequenza angolare di 10 krad/s. Tali condensatori hanno una stabilità di poche unità su 10 all'anno e un coefficiente di temperatura di $1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, sono disposti in un contenitore termostato in bagno di olio, la cui temperatura è nota con incertezza minore di 1 mK, permettendo così di definire la capacità con incertezza al livello di $1 \cdot 10^{-8}$.

Il **campione nazionale di induttanza** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli di resistenza elettrica e di tempo tramite il confronto di impedenze in regime alternato sinusoidale. Esso è conservato mediante un gruppo di induttori (con valori decadici da 1 mH a 1H) con incertezza relativa di $2 \cdot 10^{-5}$ per induttanza da 1mH a 1H, alla frequenza angolare di 10 krad/s; tali induttori sono di tipo toroidali, con avvolgimento su un nucleo di materiale ceramico, stabilita migliore di $1 \cdot 10^{-4}$ /anno e coefficiente di temperatura di $3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Il **campione nazionale di potenza elettrica in regime continuo** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli di tensione elettrica e di resistenza elettrica. Esso è conservato mediante un generatore di tensione elettrica e un gruppo di resistori, con incertezza relativa di $2 \cdot 10^{-6}$ nei campi da 1 V a 10 V per la tensione elettrica e da 100 μA a 1 A per l'intensità di corrente elettrica. Questo campione permette di misurare una potenza attiva a $P=UI$, e con poche modifiche una energia attiva $E=PA t$, con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-5}$.

Il campione nazionale di potenza per frequenza da 40 Hz a 60 Hz è conservato mediante un apparato comprendente un alimentatore stabilizzato a due canali (per la tensione elettrica e per l'intensità di corrente elettrica), un riferimento di tensione continua e un convertitore di tipo termoelettrico, un resistore e un condensatore in gas, un trasformatore di corrente a due stadi e un comparatore di corrente.

Il campione nazionale di potenza per frequenza da 50 MHz a 18 GHz è conservato mediante un sensore bolometrico, composto da un montaggio bolometrico in linea di trasmissione coassiale da 7 mm e da un elemento resistivo sensibile alla temperatura in cui è dissipata la potenza a radiofrequenza da misurare.

L'IEN realizza anche il **campione nazionale di attenuazione di potenza** per derivazione da quello di lunghezza e conserva tale campione mediante in attenuatore in guida d'onda circolare, con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-4}$ per un'attenuazione di potenza di 10 volte alla frequenza di 30 MHz.

L'IEN realizza e conserva anche il **campione nazionale di energia elettrica** per derivazione da quelli potenza elettrica e di tempo, con incertezza di $2,5 \cdot 10^{-5} UI/\cos\phi$ in regime alternato sinusoidale, nei campi da 20 V a 120 V per la tensione U , da 0,5A a 25 A per l'intensità di corrente elettrica I e da 40 Hz a 60 Hz per la frequenza.

Il **campione nazionale di intensità di campo elettrico** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli di tensione elettrica e di lunghezza. Esso è conservato mediante un condensatore elettrico con elettrodi piani e paralleli e con dispositivo di guardia, con incertezza relativa di $1,5 \cdot 10^{-3}$ per intensità di campo elettrico da 10 V/m a 60 kV/m, alla frequenza di 50 Hz.

Il **campione nazionale di flusso di induzione magnetica** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli d'intensità di corrente elettrica e di induttanza. Esso è conservato mediante un mutuo induttore, con incertezza relativa di $1,5 \cdot 10^{-3}$ per flusso di induzione magnetica da 1 μWb a 10 mWb.

Il **campione nazionale di induzione magnetica** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli d'intensità di corrente elettrica e di lunghezza. Esso è conservato mediante una coppia di bobine di Helmholtz con incertezza relativa di $3 \cdot 10^{-3}$ per induzione magnetica da 1mT a 25mT.

Unità di misura nel campo della termologia

Il sistema SI definisce quale unità di temperatura il kelvin (simbolo K), assegnando al punto triplo dell'acqua la temperatura termodinamica di 273,16 K, definendo in tal modo la Scala Termodinamica di Temperatura. Poiché le misure di temperatura sulla Scala Termodinamica di Temperatura si possono compiere solo con strumenti molto complessi, le esigenze di praticità e di comodità hanno portato a compiere solo con strumenti molto complessi, le esigenze di praticità e di comodità hanno portato a introdurre nel 1968 la Scala Internazionale Pratica di Temperatura (SIPT-68), il cui zero è posto convenzionalmente a 273,15 K (punto di fusione del ghiaccio). Si tratta di una scala di misura convenzionale, che assegna valori numerici ad alcuni punti fissi (stati di equilibrio riproducibili), stabilisce gli strumenti da usare per le misure (in genere essi misurano una grandezza di più facile misurazione, come la resistenza elettrica e la tensione elettrica) e fissa le funzioni interpolatrici, che permettono di correlare con la temperatura l'indicazione fornita dallo strumento in corrispondenza di temperature diverse da quelle dei punti fissi.

Il campione nazionale di temperatura termodinamica è realizzato dall'IMGC tramite la Scala di Temperatura Internazionale del 1990 (STI-90, scala che è entrata in vigore dal 1° gennaio 1990, in sostituzione della SIPT-68), secondo le prescrizioni fornite dal CIPM. Essa è conservata tra 24,6 K e 2500 K mediante:

- punti fissi di temperatura;
- termometri interpolatori a resistenza al platino, per temperatura da 24,6 K a 1235 K, e termometri a radiazione, per temperatura da 1235 K a 2500K.

L'incertezza è compresa tra 0,1 mK e 2,5 mK per temperatura da 24,6 K a 1235 K, e tra 0,025 K e 0,3 K per temperatura tra 1235 K e 2500 K.

La temperatura termodinamica può essere espressa anche ricorrendo all'unità grado Celsius (simbolo °C). La differenza tra la temperatura espressa in kelvin (indicata con T) e la temperatura espressa in gradi Celsius (indicata con t) è $T/K - t/^{\circ}C = 273,15$.

Unità di misura nel campo della fotometria

Il **campione nazionale di intensità luminosa** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli di tensione elettrica e di resistenza elettrica tramite un radiometro assoluto (rilevatore tarato per via elettrica e basato sul principio bolometrico), adottando per il coefficiente di visibilità alla sequenza di 540 THz il valore 683 cd sr W^{-1} adottato dalla XVI CGPM. Esso è conservato mediante un gruppo di lampade ad incandescenza (caratterizzate da un filamento giacente su un piano perpendicolare alla direzione di osservazione), con incertezza relativa di $5 \cdot 10^{-3}$, per intensità luminosa da 100 cd a 500 cd.

Il **campione nazionale di flusso luminoso** è realizzato dall'IEN per derivazione da quello d'intensità luminosa tramite un goniofotometro integratore (con distanza di misura di circa 3 m è dotato di un rilevatore tarato che si muove su una superficie sferica lungo meridiani e paralleli). Esso è conservato mediante un gruppo di lampade a incandescenza, con incertezza relativa di $6 \cdot 10^{-3}$ per un flusso luminoso da 2000 lm a 200 lm.

Il **campione nazionale di illuminamento** realizzato dall'IEN per derivazione da quello d'intensità luminosa e lo conserva mediante fotometri.

Unità di misura nel campo dell'acustica

Il **campione nazionale di pressione sonora** (o acustica) è realizzato dall'IEN utilizzando microfoni reversibili, la cui sensibilità è stata determinata con la tecnica nota come della reciprocità in accoppiatore chiuso per derivazione dai campioni nazionali di pressione, di resistenza elettrica, di lunghezza e di tempo. Esso è conservato mediante un gruppo di microfoni a condensatore, con incertezza relativa di $6 \cdot 10^{-3}$ per pressione sonora in aria da 0,3 Pa a 1 Pa, con frequenza da 125 Hz a 2,5 kHz.

Unità di misura nel campo delle radiazioni ionizzanti

Il **campione nazionale di attività** è realizzato dall'IEN per derivazione da quello di tempo. Esso è conservato mediante sorgenti di radionuclidi e apparati di misurazione per radiazione nucleare basati su contatori proporzionali e rilevatori a scintillazione. L'incertezza relativa è compresa fra $1 \cdot 10^{-3}$ e $3 \cdot 10^{-2}$ a seconda del radionuclide, per attività da 1 kBq a 20 kBq.

Il **campione nazionale di dose assorbita** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli di massa, di resistenza elettrica, di tensione elettrica, di capacità elettrica e di tempo. Esso è conservato:

per dose assorbita in grafite mediante impianti per la produzione di fasci di elettroni e di fotoni con energia massima compresa fra 1 MeV e 20 MeV e mediante un calorimetro in grafite o una camera a ionizzazione a cavità con pareti di grafite. L'incertezza relativa è di $5 \cdot 10^{-3}$ per dose assorbita in grafite da 0,1 Gy a 30 Gy, con rateo di dose assorbita da $2 \cdot 10^{-3}$ Gy/s a $3 \cdot 10^{-2}$ Gy/s;

Per dose assorbita in mezzo tessuto equivalente mediante sorgenti di radiazione β da $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, da ^{147}Pm e da ^{204}Tl e mediante camera a ionizzazione del tipo a estrapolazione. L'incertezza relativa è di $3 \cdot 10^{-2}$ per dose assorbita in tessuto equivalente da $2 \cdot 10^{-4}$ Gy a 0,5 Gy, con rateo di dose assorbita da $3 \cdot 10^{-7}$ Gy/s a $5 \cdot 10^{-4}$ Gy/s.

Il **campione nazionale di densità di flusso di neutroni** è realizzato dall'ENEA per derivazione da quelli di tempo e di lunghezza. Esso è conservato mediante sorgenti di neutroni e mediante apparati di misurazione che consentono di applicare il metodo del bagno al solfato di manganese e il metodo dell'attivazione dell'oro e della differenza del cadmio. L'incertezza relativa è di $3,7 \cdot 10^{-3}$ per neutroni veloci con flusso compreso tra $1 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$ e $1 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$, ed è di $8 \cdot 10^{-3}$ per neutroni termici con densità di flusso di $1 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$.

Il **campione nazionale di esposizione** è realizzato dall'IEN per derivazione da quelli di massa, di tempo, di tensione elettrica e di capacità elettrica. Esso è conservato mediante impianti per la produzione di fasci di radiazione X e γ con energia massima compresa tra 7 keV e 1,25 MeV e mediante un gruppo di camere a ionizzazione del tipo a aria libera e a cavità. L'incertezza relativa è compresa fra di $5 \cdot 10^{-3}$ e $1 \cdot 10^{-2}$ per esposizione da $3 \cdot 10^{-7} \text{ C/kg}$ a 0,4 C/kg, con rateo di esposizione da $3 \cdot 10^{-8} \text{ C/kg s}$ a $2 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg s}$.

L'elenco sopra riportato è stato recepito dal decreto [18] collegato alla legge 273/91. Si tratta ovviamente di un elenco soggetto a variazioni che seguiranno le innovazioni tecnologiche. Si sta effettivamente preparando un nuovo decreto che aggiornerà i campioni già registrati e ne introdurrà di nuovi per completare la panoramica delle disponibilità metrologiche in Italia.

7- La disseminazione delle unità attraverso i servizi di taratura

Un metodo da lungo tempo usato per svolgere l'attività di disseminazione delle unità di misura consiste nelle tarature periodiche, da parte di Istituti nazionali di metrologia, di campioni e di strumenti di elevate caratteristiche. Un secondo metodo, di tipo indiretto, si è diffuso con la costituzione di reti di laboratori di taratura, per i quali un Istituto nazionale di metrologia accerta e mantiene nel tempo la riferibilità. Questo secondo metodo risulta più complesso e impegnativo per l'Istituto nazionale, che è chiamato ad analizzare tutte le componenti del sistema usato da un laboratorio di taratura per misurare una specifica grandezza con un dato livello d'incertezza: i campioni di riferimento (o di prima linea) e di lavoro (o di seconda linea), i dispositivi ausiliari, le condizioni dell'ambiente in cui opera il laboratorio, le procedure eseguite nella misurazione, il metodo di elaborazione dei dati sperimentali, la preparazione tecnica degli operatori. Questa analisi, se è preziosa ai fini di una corretta impostazione del sistema di misura, non esime dalla necessità di procedere a una verifica globale e sperimentale di come il laboratorio misura una grandezza con l'incertezza dichiarata.

I problemi della riferibilità sono stati da tempo affrontati in Italia dagli Istituti metrologici primari, i quali intorno al 1975 si posero il problema di ampliare la disponibilità sul territorio nazionale di tarature di campioni e strumenti di misura e, sulla scorta di esperienze avviate in altri Paesi europei (in primo luogo Regno Unito e Repubblica Federale Tedesca), promossero la nascita del SIT – Servizio di taratura in Italia. Risalgono al 1979 i primi riconoscimenti (oggi diciamo accreditamenti) di laboratori quali Centri di SIT. A questo fine viene espletata una procedura che si conclude con la firma, tra l'Istituto metrologico competente e l'Ente di appartenenza del laboratorio, di una convenzione, che definisce – per l'Istituto, l'Ente e il laboratorio – i mutui impegni necessari per assicurare nel tempo la riferibilità e contiene il riconoscimento, da parte dell'Istituto del laboratorio, della facoltà di emettere certificati di taratura per gli strumenti, i campi e le condizioni di misura specificati in una tabella di accreditamento allegata alla convenzione. Questi certificati, la cui prima pagina è stata unificata, portano la denominazione SIT-SERVIZIO DI TARATURA IN ITALIA e ricordano agli utenti la responsabilità degli Istituti primari nel garantire il mantenimento della riferibilità dei campioni e degli strumenti usati dal Centro e la correttezza delle procedure adottate. Le tabelle delle capacità metrologiche dei Centri di taratura SIT, definite in sede di accreditamento, sono raccolte in un bollettino, che viene costantemente aggiornato [15].

Il SIT ha ricevuto un riconoscimento con la legge n.273/1991. Al 1° marzo 2000 la rete dei Centri SIT in funzione comprendeva 113 laboratori. Il numero di certificati di taratura emessi dai Centri SIT e in continua crescita (39261 nel 1998), mentre il numero di certificati di taratura emessi dagli Istituti primari è all'incirca costante (dell'ordine di 1700/anno), con un rapporto Centri SIT/Istituti ormai prossimo a 23 (in Germania questo rapporto è pari a circa 40). Altri dati sono forniti nei rapporti annuali di attività.

Da tempo il SIT ha stabilito stretti rapporti con il Sistema Nazionale per l'Accreditamento di Laboratori (SINAL), al fine di coordinate le procedure di accreditamento del SIT e del SINAL e far conoscere le possibilità di prova e di taratura disponibili rispettivamente presso i laboratori da accreditati dal SINAL e i Centri SIR [16]. Il SINAL richiede che il laboratorio da accreditare dimostri che le apparecchiature e gli strumenti di misura siano tarati per confronto con campioni di riferimento i cui certificati di taratura siano stati emessi nell'ambito dell'SNT (Istituti metrologici primari o Centri SIT) o da Centri di taratura accreditati dai Sistemi nazionali con i quali il SIT ha stipulato accordi di mutuo riconoscimento.

Più di recente il SIT ha firmato un accordo di collaborazione con il Sistema Nazionale per l'Accreditamento degli organismi di Certificazione (SINCERT), con l'obiettivo di stabilire un ponte tra queste due realtà, far emergere le difficoltà incontrate dalle aziende in tema di riferibilità, far conoscere le capacità metrologiche dei Centri SIT e adeguare tali capacità alle esigenze di riferibilità valutate prioritarie.

Il SIT ha fin dalla sua nascita attivato collegamenti con i Servizi nazionali di taratura di altri Paesi europei, siglando a partire dal 1981 numerosi accordi bilaterali di mutuo riconoscimento, e con la *Western European Calibration Cooperation WECC*, operante dal 1975 e costituita formalmente nel giugno 1989. La WECC, che ha nel passato coordinato i Servizi di Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Irlanda, Islanda, Italia, Norvegia, Olanda, Portogallo, Regno Unito, Spagna, Svezia e Svizzera, è confluita il 31 maggio 1994 con la WELAC, la corrispondente organizzazione per i laboratori di prova nata nel 1989, nell'*European co-operation for Accreditation of Laboratories (EAL)*. In seguito, nel 1997, l'EAL e la corrispondente organizzazione europea per l'accREDITamento degli organismi di certificazione sono confluiti nell'*European co-operation for Accreditation (EA)*. Fanno ora capo all'EA circa 10000 enti accreditati, di cui 1500 laboratori di taratura e 3500 laboratori di prova.

Di rilievo è l'accordo multilaterale firmato il 1° dicembre 1989 a Torino, a cui ora aderiscono i Servizi di taratura di Austria, Belgio, Rep. Ceca, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Irlanda, Islanda, Italia, Norvegia, Olanda, Portogallo, Regno Unito, Spagna, Svezia e Svizzera. Ogni firmatario riconosce le procedure e i certificati degli altri Servizi come equivalenti ai propri e ne promuove l'accettazione nel proprio paese. Ai servizi firmatari e ai relativi Centri di taratura si richiede l'adeguamento alle norme EN 45000. Si prevede che in un prossimo futuro tutti i servizi

nazionali di taratura firmino l'accordo, attuando l'idea di un certificato di taratura europeo espressione di un riconoscimento mutuo completo. L'accordo si inquadra nelle iniziative miranti a realizzare in Europa un'unica struttura di certificazione e prova e quindi di libera circolazione dei prodotti, dipendente dall'accettazione dei certificati di conformità che accompagnano i prodotti, a garanzia della loro qualità. Elemento centrale per l'equivalenza è che la competenza tecnica e la garanzia della riferibilità dei Centri siano possedute e documentate, in primo luogo con la partecipazione ai confronti di misura tra Centri di paesi diversi. Il riconoscimento di cui già godono a livello nazionale e internazionale gli Istituti primari si è così esteso a una struttura più ampia, comprendente gli Istituti primari e i Centri SIT, in definitiva all'SNT.

L'EA ha impegnato i Servizi firmatari dell'accordo e i relativi centri di taratura ad adeguarsi alle norme EN 45001-45002-45003 (*General criteria for the operation of testing laboratories, for the assessment of testing laboratories and for laboratories accreditation bodies*) e, recentemente, a farsi attori del passaggio alla ISO/IEC 17025.

8 – Bibliografia

- [1] Norma Uni – CNR 10003: *Definizioni di campioni primari e delle unità di misura SI*. Febbraio 1984.
- [2] BIPM : *Le Système International d'Unités (SI)* – VII édition, Sèvres, France, 1998.
- [3] NBS Special Publication 330: *The International System of Units (SI)* D.T. Goldman and R.J. Bell editors, 1986 Edition.
- [4] ISO 31-0 : *Quantities and units. Part 0 : General principles*. Third edition, Ginevra, 1992 (E).
- [5] B.N. Taylor : *Guide to the use of the International System of Units (SI)* NIST Special Publication 811, 1995 Edition.
- [6] V. Kose : Dissemination of units in Europe – Traceability and its assurance in a national and regional context. *Metrologia*, 1994/95, n.31, pp.457-466.
- [7] V. Kose. The challenger metrology. *Proc. Int. Conf. "Advances in Metrology and its Role in Quality Improvement and Global Trade"* pp.3-13, New Delhi, February 1996.
- [8] EUROMET Guidance Document n°.1: *Guidance on accreditation of national metrology institutes and certification of their quality system*. Edition 24 October 1 1995.
- [9] Norma ISO/IEC Guide 25: *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. 4th draft, 1995.
- [10] UNI CEI EN 45001 : *Criteri generali per il funzionamento dei laboratori di prova*. Marzo 1990.
- [11] A. Odin: Requirements to be met by quality systems in the field of metrology in Germany. *Proc. Int. Conf. "Advances in Metrology and its Role in Quality Improvement and Global Trade"* pp.24-31, New Delhi, February 1996.
- [12] IMGC, IEN, ENEA : *Campioni nazionali delle unità di misura SI proposti dagli Istituti metrologici primari legge 11 agosto 1991, n.273*. Revisione del 14 luglio 1992.
- [13] S. D'Emilio, M. L. Rastello, P. Soardo, A. Peuto, S. Sartori : *I campioni del sistema nazionale di taratura*. AEI, vol.80, n.5, maggio 1993, pp.36-43.
- [14] A. Calcatelli : *Il Sistema Internazionale di unità di misura (SI). Organizzazione internazionale e nazionale della metrologia*. CNR-IMGC, seconda edizione, maggio 1994.
- [15] SIT: *Settori operativi del SIT*. Bollettino SIT: sit/bol-029/00, marzo 2000.
- [16] SIT- SINAL: *Repertorio dei laboratori di prova accreditati e dei centri di taratura in Italia*. n.8, dicembre 1999.
- [17] ISO/IES: *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. Dicembre 1999.
- [18] DM n. 591 del 30/11/1993 : *Regolamento concernente la determinazione dei campioni nazionali di talune unità di misura del sistema internazionale (SI) in attuazione dell'art.3 della legge 11 agosto 1991 n.273*.
- [19] XXI CGPM *Mutual recognition of national measurement standards and of calibration certificates issued by National Metrology Institutes*.