

LA QUALITÀ DELLE MISURE NEL PROCESSO DI CERTIFICAZIONE

Ing. Angelo Sardi
Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica
INRIM

LA QUALITÀ DELLE MISURE NEL PROCESSO DI CERTIFICAZIONE

1. *Introduzione: la misura e la verifica di conformità*

La misura e la verifica di conformità sono due attività fondamentali, non solo per la certificazione di prodotto, ma per qualsivoglia attività umana. Il nostro stesso agire quotidiano (fare la spesa, guidare, camminare, cucinare, ...) è basato su un continuo ricorso a quei veri e propri strumenti di misura che sono i nostri sensi, con una continua verifica della rispondenza del risultato delle nostre misure al nostro personalissimo "Standard". In questo senso si può affermare che i due concetti si siano sviluppati ben prima dell'arrivo della scienza e della tecnologia nella società umana.

La stessa metrologia, intesa come scienza che si occupa della definizione dei campioni, della realizzazione degli strumenti e dello sviluppo delle tecniche di misura, ha iniziato il suo sviluppo ben prima dell'affermazione dei principi della scienza sperimentale. La necessità di misure accurate e, per quanto possibile, "standardizzate" nasce con lo sviluppo dei commerci. Questo retaggio è evidente esaminando le grandezze fondamentali (metro, kilogrammo, secondo) stabilite con la convenzione del metro nel 1875 e nella successiva conferenza dei pesi e delle misure: ognuna di esse era funzione di un'attività commerciale (pesatura di una derrata, misura della lunghezza di una pezza di tessuto, calcolo della posizione nella navigazione).

Il rapidissimo avanzamento della scienza e della tecnologia, che si è verificato a partire dagli ultimi due decenni del XIX secolo, ha poi portato allo sviluppo della moderna scienza delle misure, con la ridefinizione dei campioni sulla base delle costanti fisiche e la definizione di nuove grandezze fondamentali. Di pari passo è nata la necessità di assicurare la sicurezza dei manufatti, prodotti in scala sempre maggiore, attraverso la definizione della normativa di prodotto.

Negli ultimi decenni la globalizzazione ha posto in primo piano la necessità, per le aziende manifatturiere grandi e piccole, di assicurare la qualità dei propri prodotti, per poter competere sui mercati internazionali. La certificazione rappresenta lo strumento principe per ottenere il riconoscimento della conformità dei prodotti alla normativa.

Prima di proseguire la disamina delle problematiche legate alle attività di misura e di verifica di conformità è bene definire con precisione i due concetti:

*La **misura di una grandezza** consiste nel confronto della grandezza stessa, detta **misurando**, con una grandezza omogenea, scelta come **campione**. Si ottiene in tal modo un'informazione costituita da una **stima del misurando**, un'**incertezza** ed un'**unità di misura**.*

*La **verifica di conformità** è un'attività che si compone di tre fasi:*

- *Misura della proprietà di interesse;*
- *Comparazione tra i risultati di misura e le specifiche;*
- *Decisione sulle azioni successive.*

2. Assicurazione della qualità nelle misure: la conferma metrologica

La definizione delle attività necessarie per assicurare la qualità delle misure nell'attività di prova costituisce l'oggetto di più di una normativa. Volendo fare un elenco, assolutamente parziale, delle norme di interesse si possono citare:

- ISO 9001: 2015 - Quality management systems - Requirements¹;
- ISO/IEC 17025: 2005 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories;
- ISO 10012: 2003 - Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment.

Oltre alla normativa di qualità sono da citare le linee guida dei documenti EA e ILAC, che definiscono e approfondiscono gli aspetti legati all'accreditamento dei laboratori. In questo caso si possono citare:

- ILAC-G2: 1994 - Traceability of Measurements;
- ILAC P10: 01/2013 - ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results;
- EA-4/16G: 2003 - EA guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing;
- ILAC-G17: 2002 - Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO/IEC 17025.

Ultimi, ma non meno importanti, sono i documenti del JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology) del BIPM (Bureau international des poids et mesures):

- JCGM 200: 2012 - International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM);
- JCGM 100: 2008 - Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement;

Tutte le attività di gestione in qualità della strumentazione sono comprese in quello che la norma ISO 10012 definisce **conferma metrologica**:

Insieme delle operazioni richieste per garantire che un dispositivo per misurazione sia conforme ai requisiti per l'utilizzazione prevista.

Le operazioni di conferma metrologica devono essere portate avanti per tutta la vita operativa dello strumento. Le attività che ricadono nella conferma comprendono:

- La scelta della strumentazione;
- La messa in servizio iniziale;
- La taratura periodica;
- L'esame dei risultati di taratura;
- Le eventuali verifiche intermedie.

¹ Si veda in particolare il punto 7.1.5 dove sono indicati i requisiti del punto 7.6 della ISO 9001:2008

La **scelta del dispositivo di misurazione**, sia esso uno strumento, un trasduttore o un complesso sistema di misura parte dall'esame di quelle che sono le specifiche di misura. In linea generale, passi principali per la scelta comprendono:

- Definizione della/e grandezza/e da sottoporre a misurazione;
- Definizione dell'andamento nel tempo delle grandezze;
- Definizione del campo di valori da misurare;
- Definizione del formato di uscita dello strumento/trasduttore;
- Definizione dell'incertezza e della risoluzione dello strumento;
- Definizione delle condizioni ambientali di funzionamento;
- Definizione dei valore attesi per altre grandezze di influenza;
- Definizione di condizioni di lavoro critiche.

Una volta definiti i parametri sopra elencati si può procedere alla scelta vera e propria della strumentazione, consultando i cataloghi dei costruttori, o, meglio, esaminando i manuali tecnici delle apparecchiature.

Per la **messa in servizio** le operazioni di conferma comprendono la verifica dei documenti forniti dal costruttore a corredo della strumentazione (manuali e certificati di taratura). In questa fase è buona pratica approntare, per ogni strumento un **registro delle prestazioni** in cui si conserveranno i manuali, i certificati di taratura, la documentazione delle manutenzioni/verifiche periodiche e tutta la documentazione utile per tenere traccia delle prestazioni dell'apparecchiatura.

In questa fase si procede ad una prima definizione del processo di taratura, dei criteri di accettazione per le prestazioni della strumentazione e dell'intervallo di taratura/verifica intermedia.

L'assegnazione dello stato di conferma deve essere evidenziato in modo adeguato, ad esempio mediante apposizione di un'etichetta ben visibile sul dispositivo stesso. Solo dopo questa operazione il dispositivo può essere messo in servizio, in quanto è stata verificata la sua adeguatezza ai requisiti richiesti.

Le caratteristiche metrologiche dello strumento possono degradarsi con il trascorrere del tempo. Per questo motivo occorre monitorare periodicamente le caratteristiche della strumentazione, attraverso la **taratura**.

La scelta dell'intervallo tra due tarature successive deve essere fatta considerando diverse variabili, conciliando la necessità di assicurare una verifica efficace, con la gestione dei costi.

I fattori più importanti per la scelta sono:

- Indicazioni fornite dal costruttore dell'apparecchiatura da una specifica di misura o da una norma (es UNI 10127-2);
- Frequenza di utilizzo dello strumento;
- Tendenza all'usura in base all'uso e/o condizioni di immagazzinamento;

- Modalità d'uso e condizioni ambientali di utilizzo (temperatura, umidità, vibrazioni ecc.);
- Incertezza di misura desiderata;
- Eventuali norme tecniche applicabili allo strumento e/o specifiche;
- Urti, cadute, shock meccanici o elettrici, messe a punto, manutenzione, uso improprio, condizioni di immagazzinamento gravose e/o non corrette per la tipologia di strumento.

Come regola generale si può fissare una taratura annuale per strumenti elettronici di alta gamma, se utilizzati al meglio delle proprie caratteristiche, un intervallo di non più di due anni per strumenti comprendenti circuiti elettronici, intervalli più lunghi, fino ad un massimo di 5 anni per apparecchiature con elevata stabilità (es. trasformatori di tensione induttivi).

La durata dell'intervallo di taratura, inizialmente fissata a partire dalle informazioni disponibili all'acquisto, può essere anche gestita in modo dinamico, modificando il suo valore sulla base dei dati storici disponibili, relativi a successivi controlli di taratura. Se, ad esempio, lo strumento mostra derive trascurabili tra più tarature successive, è lecito estendere l'intervallo. La scelta di effettuare questa estensione deve essere fatta considerando il costo di un'eventuale situazione di non conformità che potrebbe verificarsi alla taratura successiva.

Esaminando la definizione di taratura:

Determinazione e documentazione della deviazione dell'indicazione di misura di uno strumento dal valore convenzionale "vero" di un misurando, scelto come campione.

Il laboratorio di taratura dispone di un campione della grandezza di cui conosce il valore a meno di una incertezza data. Il campione viene applicato in ingresso allo strumento in taratura e l'indicazione dello strumento viene confrontata con il valore del campione. Nella definizione di taratura non fa alcun cenno alla conformità ai requisiti per l'utilizzazione prevista. Non deve quindi stupire il fatto che il certificato di Taratura, rilasciato dal laboratorio non "certifichi" l'idoneità dello strumento, la cui valutazione è demandata all'utilizzatore.

Per poter operare la verifica è necessario:

- Definire i requisiti cui deve soddisfare lo strumento, indicando per es. le bande di tolleranza per gli scostamenti o i fattori di scala;
- Definire le azioni messe in atto per verificare l'adeguatezza del dispositivo a tali requisiti.

La definizione dei requisiti può variare da caso a caso, ma deve comunque tenere conto delle incertezze richieste. La verifica può essere richiesta, previa comunicazione dei requisiti, al laboratorio di taratura che, in alcuni casi, fornisce una dichiarazione di conformità. Questa dichiarazione costituisce la registrazione dell'avvenuta conferma metrologica.

Anche in questa fase si deve evidenziare in modo adeguato l'assegnazione dello stato di conferma, prima dell'impiego nel processo di misurazione.

Se l'esame dei risultati di taratura evidenzia una non conformità ai requisiti per l'utilizzo, è indispensabile valutare l'effetto di questa non conformità sull'attività di prova in cui il dispositivo di misurazione è utilizzato. Può quindi essere necessario ripetere le verifiche o attivare procedure di richiamo nei confronti di prodotti già provati. Per ridurre al minimo la probabilità di questo evento può essere utile l'introduzione di **verifiche intermedie** tra due tarature.

Le verifiche possono essere classificate in periodiche e aperiodiche: quelle periodiche sono eseguite a intervalli di tempo regolari e permettono di stimare la deriva temporale del dispositivo o, comunque, di escludere che questa abbia superato limiti prestabiliti; le verifiche aperiodiche sono eseguite in seguito ad una condizione anomala di utilizzo/funzionamento dello strumento, che potrebbe avere alterato le sue caratteristiche metrologiche.

L'esecuzione delle verifiche intermedie richiede la disponibilità di campioni con cui verificare gli strumenti. Tutti i dispositivi coinvolti nelle verifiche periodiche devono essere a loro volta sottoposti a taratura periodica. I dispositivi impiegati come riferimenti durante l'esecuzione delle verifiche intermedie non devono tuttavia assicurare livelli di incertezza inferiori a quelli garantiti dai dispositivi sottoposti a verifica. Se si posseggono più strumenti dello stesso tipo la verifica si può limitare a un confronto tra le misure fatte su uno stesso misurando.

La varie fasi del processo di conferma metrologica sono riassunte nel diagramma di flusso di Figura 1.

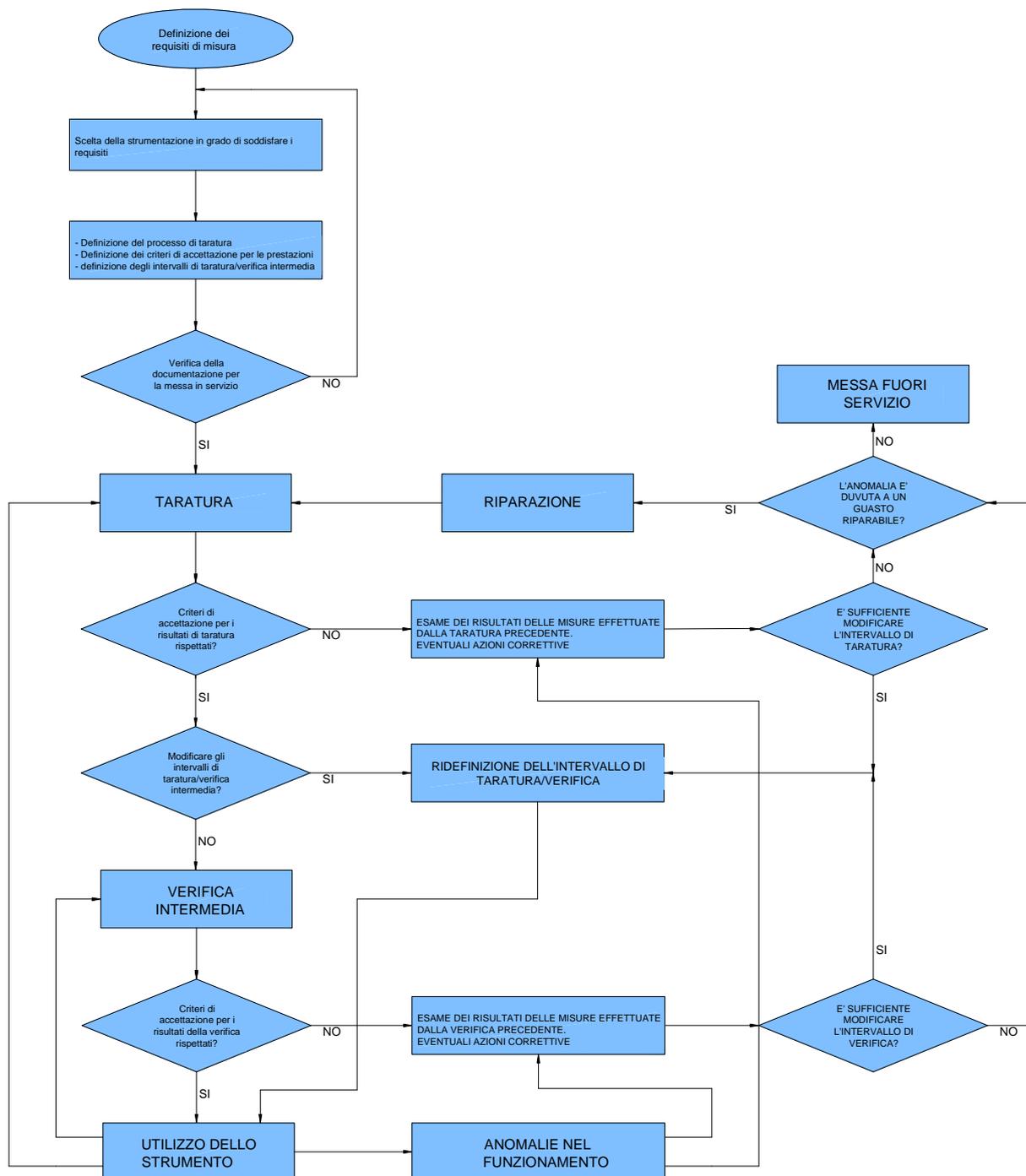


Figura 1: Processo di conferma metrologica

- Una **valutazione dell'incertezza di misura** per ogni fase della catena di riferibilità, realizzata secondo modalità definite, in modo da permettere il calcolo dell'incertezza lungo la catena;
- Una **documentazione** delle procedure utilizzate per ogni passaggio;
- Una **provata competenza tecnica**: da parte dei laboratori e/o gli organismi che realizzano le fasi della catena (es. attraverso un accreditamento);
- **Il riferimento alle unità SI** (metro, kilogrammo, secondo, ampere, mole, candela, kelvin);
- **La ripetizione periodica**: le tarature devono essere ripetute con intervalli di tempo appropriati;

L'assenza di uno o più dei passaggi sopra elencati impedisce la costruzione del legame tra i campioni nazionali/internazionali e lo strumento.

La gerarchia di taratura comprende i seguenti livelli:

- **Internazionale**: le decisioni riguardanti il Sistema internazionale di unità (SI) e la realizzazione dei campioni primari sono prese dalla Conferenza generale dei pesi e delle misure (**CGPM**). Il Bureau International des Poids et Mesures (**BIPM**) ha il compito di coordinare lo sviluppo e il mantenimento dei campioni primari e organizza confronti a livello più alto.
- **Istituti nazionali di metrologia**: gli istituti nazionali di metrologia sono le più alte autorità della metrologia in ambito nazionale. Essi mantengono i "campioni nazionali" e li confrontano periodicamente a livello internazionale. Gli istituti nazionali di metrologia in Italia sono l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) e l'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI-ENEA)
- **Laboratori di taratura accreditati**: gli organismi di accreditamento dei laboratori accreditano laboratori di taratura, secondo i criteri definiti dalla norma ISO/IEC 17025. L'accreditamento riconosciuto per specifici misurandi, indicando i più piccoli valori di incertezza ottenibili con le apparecchiature in dotazione al laboratorio ("migliore capacità di misura").
- **Laboratori di taratura aziendali**: Compito dei laboratori di taratura aziendali è la realizzazione della taratura periodica delle attrezzature di misura e prova per confronto con i campioni di riferimento. La taratura interna può essere documentata da un certificato di taratura interno, da un marchio di taratura o da un altro sistema adeguato. I dati di taratura devono essere conservati per un periodo di tempo stabilito.

I livelli della gerarchia di taratura per le apparecchiature di prova sono indicati in Figura 2. La gerarchia dei campioni e la struttura dell'organizzazione metrologica sono mostrati nella Figura 3. Nelle figure 4, 5 e 6 sono indicati i livelli della gerarchia

di taratura rispettivamente per un comparatore meccanico, per gli strumenti elettrici e per un trasduttore di pressione.

	Responsabilità	Compiti	Documenti di ingresso al processo	Documenti in uscita dal processo
Campioni Nazionali	Istituto Metrologico Nazionale	Mantenere e disseminare i Campioni Nazionali	Documentazione dei confronti internazionali tra i campioni	Certificati di taratura per i campioni di riferimento
Campioni di Riferimento	Laboratorio di Taratura Accreditato	Completamento dell'infrastruttura metrologica di una Nazione	Certificati di taratura da Istituti Nazionali o Laboratori Accreditati	Certificati di taratura per campioni di riferimento
Campioni di lavoro	Laboratorio di Taratura Interno	Supervisione delle apparecchiature per le applicazioni di prova	Certificati di taratura da Istituti Nazionali o Laboratori Accreditati	Certificati di taratura interni, etichettatura di taratura
Apparecchiature di prova	Reparti dell'azienda	Misure e prove per l'assicurazione di qualità dei prodotti	Certificati di taratura interni, etichettatura di taratura	Rapporti di prova/ misura

Figura 3: Gerarchia di taratura e compiti per l'attività di prova

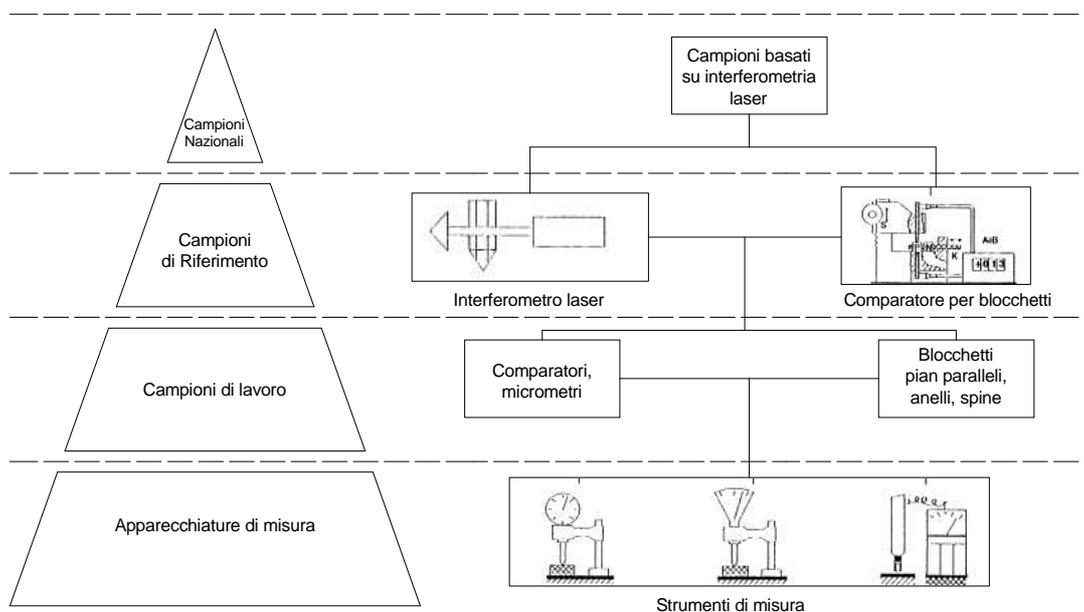


Figura 4: Gerarchia di taratura per misure meccaniche

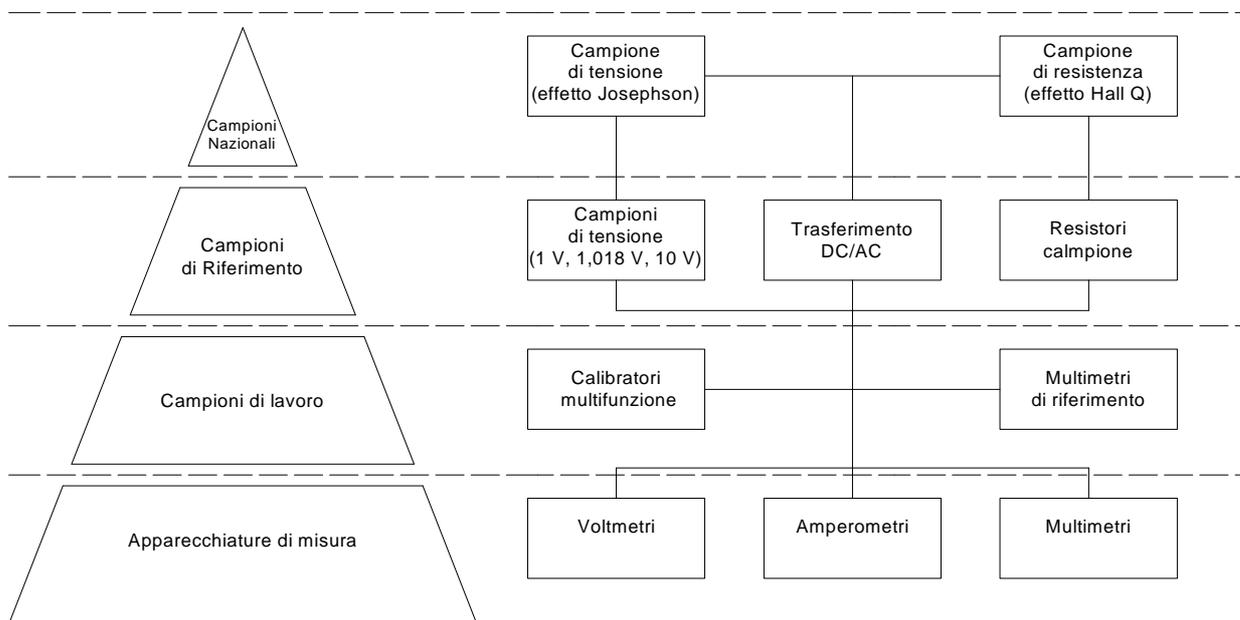


Figura 5: Gerarchia di taratura per misure elettriche

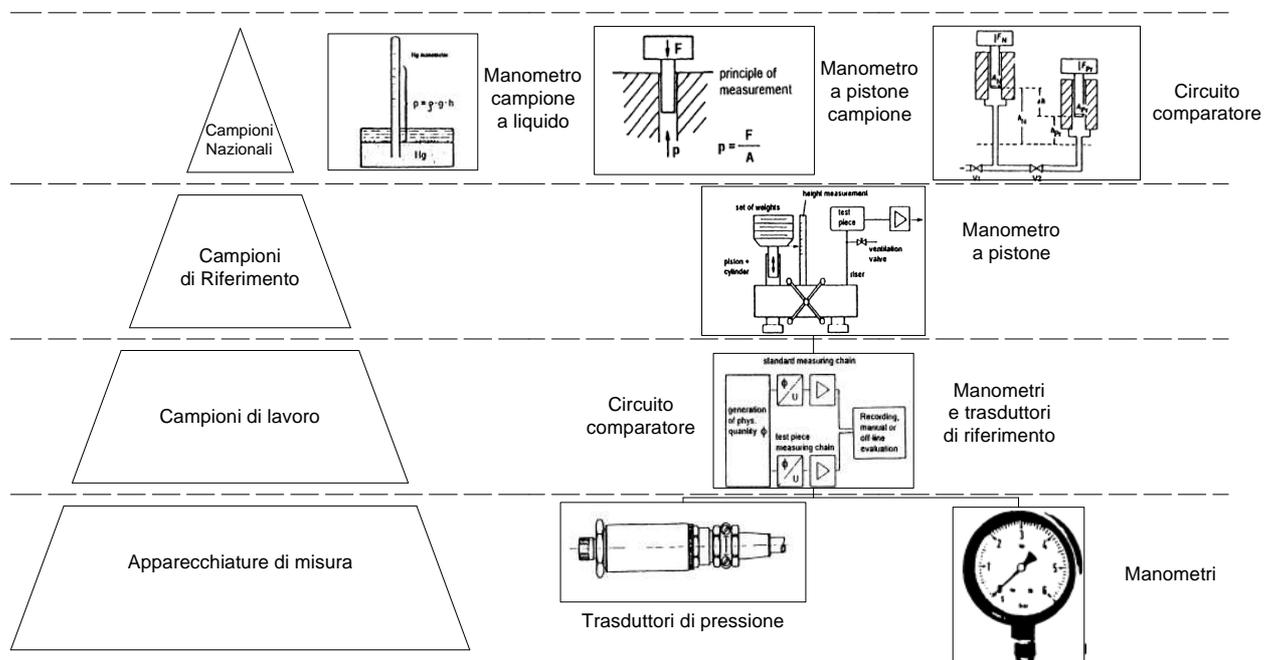


Figura 6: Gerarchia di taratura per misure di pressione

4. Tolleranza e incertezza

Molti ritengono che il concetto di tolleranza sia proprio della scienza delle misure. Il fatto che l'indicazione delle tolleranze e delle incertezze sia spesso fatta in termini relativi (% , potenze di 10) contribuisce a mantenere vivo l'equivoco.

Al contrario nel Vocabolario Internazionale di Metrologia, tradotto in italiano nella CEI UNI 70099 il termine tolleranza non viene definito. L'unica citazione è riportata nella Nota 2 del Paragrafo 4.26 "errore massimo ammesso", che recita testualmente:

Il termine «tolleranza» non dovrebbe essere usato per designare l'errore massimo ammesso

Esaminando il processo di certificazione di un manufatto si può affermare che la tolleranza entra in gioco nell'attività di normazione/definizione delle specifiche, quando vengono fissati i limiti per i parametri significativi dei componenti, mentre l'incertezza entra in gioco successivamente quando si realizzano le misure per la verifica della rispondenza ai dati di progetto.

L'interazione tra i due parametri è comunque strettissima, tanto è vero che il JCGM ha elaborato un documento specifico sul ruolo dell'incertezza di misura nella valutazione di conformità, il JCGM 106 "Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment" del 2012. Nel documento sono definiti i termini relativi al concetto di tolleranza. Di seguito si elencano i più significativi:

- **Intervallo di tolleranza:** campo di valori ammissibili di una proprietà. Gli intervalli di tolleranza possono essere classificati in:
 - Intervalli di tolleranza con singolo limite;
 - Intervalli di tolleranza a doppio limite.
- **Limite di tolleranza o limite di specifica:** limite, superiore o inferiore specificato per un campo di valori ammissibili di una proprietà.
- **Tolleranza:** differenza tra i limiti di tolleranza superiore e inferiore.
- **Probabilità di conformità:** probabilità che un oggetto soddisfi i requisiti di conformità.
- **Regola per la decisione:** regola documentata che descrive come l'incertezza di misura sarà considerata per quanto riguarda l'accettazione o lo scarto di un oggetto, dati il requisito di specifica e il risultato di una misura.

Definiti i termini relativi alla tolleranza, si può vedere come questa interagisca con l'incertezza. Nella certificazione di un manufatto si rendono necessarie le verifiche del rispetto dei limiti di tolleranza fissati dalla documentazione di riferimento. La verifica di conformità si compone di tre fasi:

1. Misura della proprietà di interesse;
2. Comparazione tra i risultati di misura e le specifiche;
3. Decisione sulle azioni successive.

Tra i punti sopraelencati il terzo merita maggiore attenzione. L'individuazione della regola per la decisione è parte integrante delle scelte e ne costituisce una parte non meno importante della definizione delle tolleranze. La Regola per la Decisione deve avere alcune caratteristiche fondamentali:

- Deve essere espressa in modo chiaro e preciso per evitare dubbi sull'applicazione;
- Deve garantire che il funzionamento di un oggetto dichiarato "conforme" sia quello previsto a progetto e che, dualmente, un oggetto dichiarato "non conforme" non abbia effettivamente le caratteristiche di funzionamento previste a progetto.

Vediamo quindi due possibili espressioni della regola:

1. L'oggetto in esame è conforme se il risultato della misura cade all'interno dell'intervallo di tolleranza. Questo approccio non prende in esame l'incertezza di misura e dà una probabilità di conformità inferiore. L'adozione di questa regola è giustificata in due casi opposti:
 - Quando l'incertezza di misura è molti ordini di grandezza inferiore alla tolleranza;
 - Quando i limiti tecnologici e di condizioni di misura danno luogo a incertezze dello stesso ordine della tolleranza.
2. L'oggetto è conforme se all'interno dei limiti di tolleranza cadono sia il risultato della misura sia l'intervallo che rappresenta la sua incertezza (Caso 1 di Figura 7). Questo approccio è di gran lunga preferibile, ma richiede, come corollario, una incertezza di misura sufficientemente inferiore alla tolleranza. A differenza della regola precedente, che dava origine a due uniche condizioni (conforme o non conforme) in questo caso si ha una ulteriore condizione, quando il risultato cade nell'intervallo di tolleranza, ma parte della banda di incertezza supera i limiti, oppure quando il risultato cade al di fuori, ma parte della banda di incertezza è all'interno dei limiti (Casi 2 e 3 di Figura 7). In questi due casi non è possibile esprimersi sulla conformità.

Oltre alle due regole enunciate sopra, che rappresentano i due approcci limite si possono operare scelte intermedie. Un possibile approccio è quello di basare la scelta non sull'incertezza estesa, ma sull'incertezza tipo.

Per valutare come questa scelta impatta sulla probabilità di conformità si può considerare il caso di una distribuzione di probabilità puramente gaussiana, il che significa che i fattori di copertura 1, 2 e 3 danno rispettivamente livelli di fiducia del 68,28 %, 95,44 % e 99,73%. La rimanente probabilità (31,72 %, 4,56 % e 0,27 %) è associata ai valori superiori e inferiori all'incertezza (si veda Figura 8).

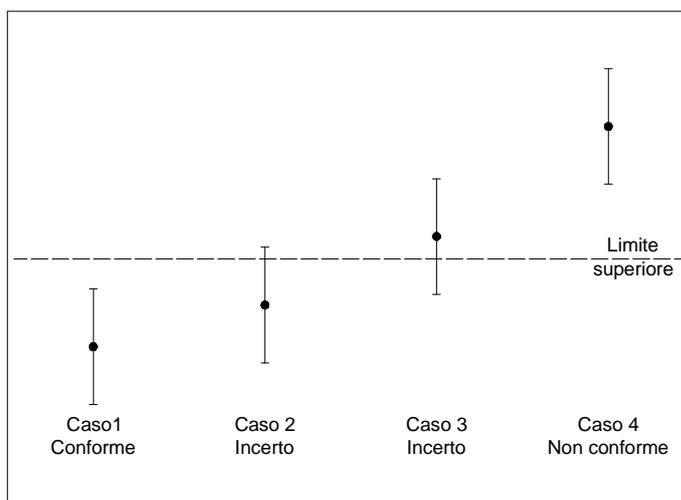


Figura 7: Regola per la decisione

Adottando un fattore di copertura 2 e la prima regola per la decisione, nel caso peggiore (limite dell'intervallo di incertezza coincidente con il limite di tolleranza) la probabilità di conformità è del 97,59% ($95,44+4,56/2$). Adottando un fattore di copertura 1 (incertezza tipo) la probabilità di conformità è circa del 84% ($68,28+31,72/2$), un valore che può essere in alcuni casi sufficiente. La scelta della regola per la decisione deve, quindi, essere fatta considerando l'influenza del parametro sottoposto a misura sul comportamento del manufatto finale.

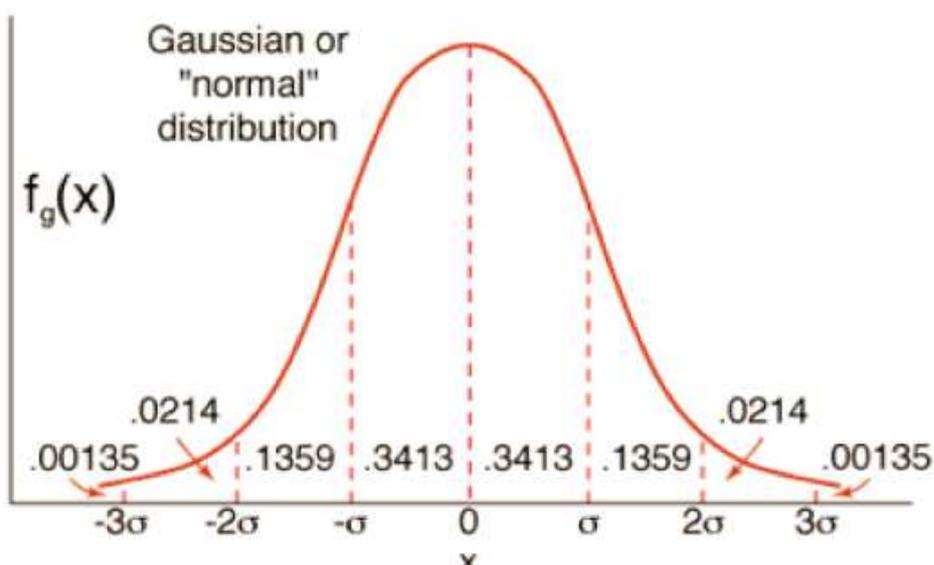


Figura 4: Distribuzione normale

5. Tolleranza e incertezza nella normativa elettrotecnica

Nel campo particolare della normativa elettrotecnica, l'approccio alla trattazione delle incertezze, delle tolleranze e delle loro interazioni non è uniforme e, negli ultimi 20 anni, ha subito una lenta, ma continua evoluzione.

Per molto tempo la regola per la decisione adottata è stata quella di considerare conforme il risultato della misura quando questo rimaneva all'interno del campo di tolleranze. La trattazione delle incertezze non era nemmeno citata. In alcuni casi ci si limitava a richiedere la conformità della strumentazione utilizzata alla normativa relativa (norme del CT85 "Strumenti di misura delle grandezze elettromagnetiche").

La validità tecnica di tale approccio è stata dimostrata dalla notevole affidabilità raggiunta dagli impianti e dalle apparecchiature elettriche: molti impianti elettrici, anche in assenza di una puntuale manutenzione, hanno superato di molto la vita operativa inizialmente prevista².

Negli ultimi anni molti fattori hanno reso necessario un cambio di passo, con l'introduzione dei concetti tipici della metrologia:

- La globalizzazione dei mercati ha reso necessaria una maggiore garanzia sul controllo di conformità dei prodotti, in passato affidato alle "buone pratiche di laboratorio";
- Lo sviluppo delle apparecchiature elettriche verso una relativa "miniaturizzazione" ha ridotto i margini di sicurezza in fase di progettazione. Nei moderni dispositivi si cerca di evitare i sovradimensionamenti dei componenti, utilizzando i mezzi di progettazione offerti dalle tecnologie informatiche. L'attività di prova permette poi la validazione del progetto, ma per essere realmente efficace, richiede un maggiore controllo sui risultati;
- La sostituzione degli strumenti analogici con gli strumenti digitali, se da un lato ha accresciuto le capacità di misura, ha reso più complessa la comparazione di misure fatte con strumenti diversi. Negli strumenti analogici il parametro "classe di precisione" permetteva di identificare completamente le caratteristiche dello strumento e garantirne l'intercambiabilità (es. voltmetro in classe 0.5). Negli strumenti digitali a fronte di una dichiarazione "pubblicitaria" come quella del numero di cifre (es. multimetro 6½ cifre), accompagnata dalla migliore prestazione di misura (0.05% in corrente continua alla portata di 10 V in corrispondenza del fondo scala), la grande varietà di grandezze misurabile, l'elevato numero di scale, l'influenza delle condizioni ambientali sull'elettronica, parametri che variano da strumento a strumento a seconda della casa costruttrice, rende necessaria almeno una valutazione preliminare delle prestazioni di ogni singolo strumento. In alcuni

² In un manuale sui cavi edito dalla BICC una foto mostrava un cavo in carta che, posato nel 1910 a Londra era stato rimosso nel 1960 e, sorprendentemente, trovato in perfette condizioni.

casi si è scelto addirittura di indicare nelle specifiche di prova la marca e il modello dello strumento da utilizzare per le verifiche. Questo approccio, tipico dell'elettronica per utilizzo avionico non può essere assolutamente adottato in una norma.

- Le necessità del risparmio energetico ha portato all'introduzione di parametri di efficienza energetica³, per esempio:
 - Classe di efficienza dei motori;
 - Obblighi in materia di progettazione ecocompatibile dei trasformatori;

Per soddisfare queste esigenze si rende necessaria una più attenta valutazione dei risultati di misura, sia con l'introduzione di limiti per le incertezze richieste, sia con la definizione di procedure per il calcolo dell'incertezza.

In sede di normazione si è quindi iniziata un'opera di revisione dei documenti emessi, con la revisione della normativa esistente o con l'introduzione di guide tecniche, successivamente, tramutate in nuove norme. Sono state introdotte prescrizioni più precise sulle caratteristiche degli strumenti di misura, sui metodi per la valutazione dell'incertezza e sulla trattazione dei risultati. La revisione della normativa è iniziata dai comitati che elaborano la normativa di prova, come il CT 42 "Tecniche delle prove ad alta tensione e a correnti elevate", per poi estendersi agli altri comitati.

Un esempio significativo di questo processo è dato dal CT 38 "Trasformatori di misura" che, pur disciplinando prodotti intrinsecamente utilizzati per le misure, non forniva nelle sue norme nessuna prescrizione sulle incertezze di misura, neppure quando si affrontava il fondamentale argomento della verifica degli errori di misura dei trasformatori. Negli ultimi anni il CT 38 IEC ha iniziato ad approcciare il problema e, nell'ultima riunione plenaria, ha istituito un gruppo di lavoro che ha il compito di fissare limiti per le incertezze nella misura degli errori.

Un altro importante esempio è quello del CT 14 "Trasformatori" Le regole per la determinazione delle incertezze nelle misure di perdite nei trasformatori sono state per la prima volta codificate in una guida tecnica elaborata dal CENELEC e recepita dal CEI come CEI CLC/TR 50462. I principi e le procedure descritte nella CEI CLC/TR 50462 sono stati inseriti in una norma IEC vera e propria, recepita dal CEI come CEI EN 60076-19 nel marzo del 2016.

³ Si veda il progetto europeo intas 2016-2019 su <http://www.intas-testing.eu/>, il cui scopo è definire la fattibilità tecnica della sorveglianza del mercato degli Stati UE e proporre un comune approccio alla verifica della conformità per alcuni prodotti

Nell'ambito LOVAG, con il documento LOVAG G2 si sono fornite importanti indicazioni:

- Nel paragrafo 3 sono indicate le prescrizioni per la valutazione delle incertezze, con l'indicazione della normativa di riferimento.
- Nel paragrafo 4 sono indicati, per ogni grandezza e nei vari campo di misura, i limiti per le incertezze di misura della strumentazione utilizzata.
- Nel paragrafo 6 sono poi chiaramente indicate le regole per la decisione da utilizzare nella verifica di conformità nell'ambito LOVAG.

Il documento LOVAG G2 rappresenta un ottimo esempio di approccio al problema delle interazioni tra certificazione di prodotto, misure, incertezze e tolleranze.

In una prospettiva di breve-medio periodo una trattazione simile sarà introdotta in tutto il corpo normativo, sia in ambito IEC , sia in ambito IEEE.

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare gli ingegneri Virgino Scarioni e Saverio Manganaro per il sostegno all'iniziativa della pubblicazione di questa dispensa e il dottor Ezio Le Donne per gli spunti di riflessione che hanno portato all'introduzione, rispetto alla versione presentata in occasione della giornata di studio ACAE del 27 Settembre 2016, del paragrafo 5 della presente monografia.