

# La metrologia come vantaggio competitivo

**Importanza della metrologia nell'ispezione e monitoraggio dei processi – Parte 4**



## THE PAGE OF SMART METROLOGY

Deltamu Italia is one of the leading permanent partners of the Journal, it brings together a group of experts in metrology that share an innovative vision of the profession, so that it is a carrier of added value in companies and in laboratories. Smart Metrology by Deltamu is a metrology that can adapt to all types of industrial facilities, from SMEs to international groups, an opportunity

to gradually move from the Metrology of measurement equipment to the Metrology of processes.

## RIASSUNTO

Deltamu Italia è un collaboratore stabile della Rivista, riunisce un insieme di esperti in Metrologia che condividono una visione innovatrice della professione, affinché sia portatrice di valore aggiunto in azienda e nei laboratori. La Smart Metrology di Deltamu è una metrologia in grado di adattarsi a tutti i tipi di strutture industriali, dalla PMI ai gruppi internazionali, un'opportunità per passare gradualmente dalla Metrologia degli strumenti alla Metrologia dei processi.

Esaminando le consuete pratiche metrologiche all'interno delle aziende ci si accorge che attualmente la metrologia è purtroppo, e troppo spesso, relegata a una questione di normative e regolamenti. Tuttavia i tempi sono ormai maturi per cambiare atteggiamento verso questa attitudine, considerata obbligata e ordinaria, ed è dunque importante riuscire a passare da una Metrologia delle Norme alla Metrologia Applicativa, rivolta all'utilizzo efficace della stessa. Questa fondamentale trasformazione trae le sue origini dall'osservazione che, all'inizio delle certificazioni ISO 9001, gli utenti richiedevano al laboratorio di taratura di rendere loro noto se i propri strumenti fossero o meno "conformi", argomento a tutt'oggi ancora al centro dell'attività di coloro che forniscono tarature all'industria. Tuttavia tale conformità ha senso solo se i clienti sono effettivamente in grado di esprimere le proprie esigenze, ovvero le proprie specifiche, il che (molto) raramente si verifica. Il più delle volte, quindi, i clienti si accontentano di affidarsi ad alcune norme esistenti sugli strumenti, mentre d'altro canto questi

standard non pretendono (e non potrebbero) in alcun modo di soddisfare tutte le situazioni industriali. Inoltre la norma ISO 9001 impone controlli metrologici periodici e anche qui, senza farsi troppe domande, i produttori hanno spesso seguito "raccomandazioni" il più delle volte implicite.

La metrologia ha lo stigma di essere non produttiva: nei sistemi di produzione semplificati, il valore aggiunto delle attività d'ispezione viene spesso messo in discussione e la metrologia, in particolare, è talvolta considerata solo come una spesa evitabile. In generale la quantificazione documentata dei vantaggi economici ottenuti da una corretta pratica metrologica non è disponibile, quando invece tali vantaggi possono essere chiaramente individuati e quantificati in casi concreti della produzione industriale, che potrebbero testimoniare senza ombra di dubbio il valore aggiunto della metrologia nella produzione. Di conseguenza, in molti casi l'obiettivo degli ingegneri di produzione è quello di ridurre al minimo assoluto i costi legati alla metrologia.

Nell'attuale difficile congiuntura econo-

mica, la sfida principale per le aziende è mantenere bassi i costi per rimanere competitivi. A tal fine, la metrologia deve essere considerata come una risorsa importante, non più come una voce di costo generale. In tutti i settori aziendali è possibile implementare semplici misure, ottenendo grandi vantaggi, per limitare gli scarti e ridurre i costi operativi, portando a notevoli miglioramenti in termini di produttività e prestazioni.

Nel concentrarsi sulle diverse risorse e mezzi disponibili all'industria e ai laboratori per migliorare i propri processi di misurazione al fine di una maggiore qualità del prodotto e del processo, è necessario rendersi conto che tutte le decisioni prese in questioni tecniche, finanziarie, contabili o umane sono basate su un qualche tipo di misurazione.

La metrologia, come scienza della misurazione, è dunque una risorsa strategica nella gestione di un'azienda, indipendentemente dal suo campo, in meccanica, elettronica, industria alimentare, chimica, farmaceutica, medica, ambientale, biologia, aeronautica, spazio, nucleare, agricoltura, ecc.

Perché ciò sia possibile, tuttavia, la metrologia dev'essere riconsiderata nella maggior parte delle aziende per fornire il suo pieno valore aggiunto ed è ormai diventato necessario che i produttori si muovano verso un approccio più tecnico: imparare come utilizzare la misurazione per migliorare la produzione in fase di progettazione, non solo come mezzo per il controllo della qualità. La misurazione dovrebbe essere utilizzata nella fase di analisi delle esigenze nel processo di produzione anziché essere solo una funzione di supporto. Misurazioni appropriate e pianificate contribuiscono a migliorare

**Direttore tecnico-commerciale – Deltamu Italia srl**

[alazzari@deltamu.com](mailto:alazzari@deltamu.com)

le prestazioni aziendali, limitando gli scarti, aumentando la produttività e riducendo i costi operativi. Da ciò scaturisce l'esigenza di definire la conformità basata sulle reali esigenze di ciascuno e, nello stesso tempo, definire intervalli di taratura adatti a ciascuna situazione. Ciò implica la possibilità di calcolare gli intervalli di taratura e le incertezze, come parte della gestione ottimizzata di un parco strumenti di misura.

Questi approcci sono essenziali e consentono davvero alla professione di evolversi, di analizzare correttamente il ruolo della metrologia nella produzione e dimostrare come essa possa generare valore.

L'obiettivo è quello di sviluppare una metrologia intelligente (la **Smart Metrology**, come la chiamiamo in Deltamu), che si presenta in effetti molto diversa dalla Metrologia "tradizionale". In quest'ultima, un tacito accordo ha finito per accettare come "conforme" una Metrologia che si accontenta di dichiarare la conformità di uno strumento di misura a un requisito normativo (non cogente), senza tenere conto, nella maggior parte delle volte, del proprio contesto e per di più definita in date quasi sempre arbitrarie. Mentre invece è compito dei produttori, e quindi della funzione Metrologia della loro azienda, puntare all'efficienza, cioè puntare a gestire il parco strumenti "quanto basta".

Per le aziende è di primaria importanza classificare gli strumenti di misurazione e separare semplici "indicatori" da veri dispositivi "di misura" considerati critici. I dispositivi di misurazione sono soggetti a diversi programmi di taratura e verifica con accuratezza variabile, a seconda della loro importanza. Metodi ben definiti consentiranno di ottimizzare i programmi di taratura e di ridurre del 30% il budget di taratura aziendale. Una migliore selezione delle apparecchiature di misurazione, condizioni d'uso chiaramente definite e requisiti sull'intero processo di produzione sono parametri semplici ma essenziali, che contribuiscono a migliorare le prestazioni delle attività già impostate.

L'aspetto fondamentale che i produttori dovrebbero tenere in considerazione è

dunque, in primo luogo, la valutazione delle incertezze di misura, che consentono loro di capire se lo strumento sia importante o meno nella qualità di una determinata misura e, di conseguenza, di definire strategie che consentano di tarare solo "se necessario".

In effetti, scegliendo per la conferma metrologica dello strumento una data, che sia arbitraria oppure calcolata secondo un metodo di ottimizzazione, i produttori non sono protetti contro gli incidenti, che possono verificarsi in qualsiasi momento e influire sulla capacità dello strumento stesso di produrre misurazioni della qualità necessaria. Con la **Smart Metrology** si cerca, invece, di padroneggiare la vita quotidiana dello strumento, in particolare implementando metodi di monitoraggio che consentano di entrare nel mondo delle "periodicità condizionali". In questo mondo i produttori tarano solo in caso di dubbio e, nello stesso tempo, forniscono a loro stessi le condizioni per mettersi in discussione. Per semplificare, nella **Smart Metrology** non occorre più sentirsi obbligati a subire una forma di convenzione culturale perpetrata da oltre 20 anni, ma si è spinti a porsi le domande giuste e ad adattare le proprie pratiche ai rischi associati alle misure.

Rimane da capire come occorra agire per implementare la **Smart Metrology** nell'industria del futuro.

È innegabile che i produttori abbiano a lungo aggirato la questione della qualità delle misurazioni: anche se nessuna misurazione può essere corretta, pochi produttori tengono conto delle incertezze di misura nella loro vita quotidiana. Tutto accade come se non esistessero. Tuttavia è d'altra parte innegabile che, per la maggior parte, le produzioni sono soddisfacenti. Questa questione dell'apparente inutilità delle incertezze di misura è stata al centro delle nostre riflessioni e siamo arrivati a capire che, per uscirne, i produttori avevano empiricamente trovato una soluzione: i requisiti eccessivi. Chiedendo più del necessario, possiamo dimenticare le incertezze di misurazione, ma a quale costo? Troppo esigenti significa troppe materie prime, troppa energia, quindi troppi costi e troppi impatti negativi sull'ambiente.

## LA METROLOGIA CHE SI INTEGRA CON LA FABBRICA DEL FUTURO

Sappiamo che, nell'industria del futuro, le pratiche si evolveranno grazie alle tecnologie digitali. Con poteri sempre maggiori di acquisizione, calcolo e archiviazione delle informazioni, l'elaborazione dei dati si sta evolvendo, passando dall'inferenza statistica (basata su progetti sperimentali) all'intelligenza artificiale (basata sui Big Data). È un vero sconvolgimento nel modo di vedere le cose, perché si passa da un mondo di opinioni (guidato dai pensieri) a un mondo di fatti (guidato dagli eventi). Da quel momento in poi, l'Intelligenza Artificiale consentirà di uscire dai requisiti in eccesso e di andare verso ciò che è "solo necessario", quindi verso guadagni di produttività e impatti ecologici meno negativi: una medaglia a due facce, in un certo senso.

In effetti, ci sono parole difficili da quantificare: ad esempio quelle relative ai concetti di Prestazione, Efficienza, "solo necessario" o "quanto basta". Ognuno di noi ha un'idea intuitiva (e personale) di cosa significhino queste parole e questi concetti non hanno esattamente lo stesso significato per ciascuno di noi. È quindi interessante cercare di quantificarli, in modo tale da poter giustificare la loro evoluzione, in direzione sia di un miglioramento sia di un peggioramento. Questi concetti hanno indubbiamente "qualcosa a che fare" con la soddisfazione dei requisiti di qualità e con un costo (di realizzazione o di acquisto, sapendo che il costo d'acquisto è molto spesso legato al costo di realizzazione).

In generale la realizzazione di un bene o di un servizio induce una sorta di relazione tra una quantità monetaria e un "lavoro". Per l'utente del bene o del servizio, il valore di questo rapporto rappresenta una "Soddisfazione". Per il produttore, questa relazione è un "costo". È intuitivamente chiaro che maggiore è l'impegno (il lavoro), maggiore sarà il livello di soddisfazione di qualità e, di conseguenza, del cliente e sempre proporzionalmente sarà maggiore il costo di realizzazione.

Tuttavia queste relazioni non sono lineari. Nella serie ISO 9000 la qualità è definita come il grado in cui un insie-

me di caratteristiche intrinseche (caratteristiche distintive) soddisfa i requisiti, cioè le esigenze o le aspettative che sono dichiarate, generalmente implicite od obbligatorie. Implicito in questa definizione è il fatto che la qualità di un prodotto è correlata all'idoneità allo scopo. Anche se il prodotto è certificato come di prima classe, potrebbe non essere adatto all'uso da parte di un determinato cliente (una Ferrari Testarossa potrebbe risultare scarsamente utile a un cliente che vive e opera in contesti di campagna...). Ciò apre quindi la via a un'analisi delle funzioni di base dell'ispezione e del controllo statistico della qualità e a concetti come la gestione della qualità totale (TQM) e sei sigma, gli approcci incentrati sul cliente per ottenere prodotti, processi e consegne di alta qualità.

Il meglio è spesso nemico del bene ed è quindi necessario trovare un equilibrio tra "Soddisfazione" e "Costo", che può servire da base per la definizione di ciò che abbiamo chiamato "Giusto Necessario". La migliore efficacia della metrologia si ottiene quando questa viene utilizzata nelle fasi di progettazione di prodotti e processi, nonché sulla migliore precisione ed efficienza della produzione, attraverso migliori apparecchiature di misurazione e catene di processo con metrologia integrata per il controllo del processo stesso.

Matematicamente la definizione di valore può essere riassunta come il rapporto tra "Soddisfazione" e "Costo", sapendo che la soddisfazione copre più ambiti, in particolare il valore d'uso (il servizio effettivamente reso) e il valore di stima. Accettando questa definizione, possiamo osservare che in generale il comportamento di questo rapporto mostra chiaramente un massimo, che può definire il miglior compromesso tra Costo e Soddisfazione.

Tale valore ottimale, che non corrisponde alla massima soddisfazione ma al migliore compromesso, si concretizza in Efficienza (o "Giusto Necessario"). Ottenere questo massimo, per qualsiasi processo, prodotto e/o servizio, è il segno distintivo delle prestazioni dell'organizzazione.

Per determinare il punto di efficienza, è

necessario sapere come determinare la soddisfazione e il costo. Tali valutazioni coinvolgono l'analisi dei limiti di variabilità e, quindi, l'importanza dell'ispezione e delle tecniche per portarla avanti. L'ingegnere progettista deve esercitare un buon giudizio specificando accoppiamenti e tolleranze: una misura troppo stretta o una banda di tolleranza ristretta richiederà un processo di produzione più preciso. Per garantire l'aderenza agli accoppiamenti e alle tolleranze ravvicinate aumenterà, di conseguenza, anche il costo dell'ispezione. Quest'ultimo comprende componenti quale il costo d'ingegneria, costituito a sua volta da costi di progettazione e produzione, costi di strumenti di misura e servizi necessari (ad esempio, ambiente con aria condizionata o temperatura controllata per condurre l'ispezione) e costo del lavoro (impiegato per eseguire l'ispezione).

Per questo la definizione dei limiti di variabilità o tolleranza dovrebbe essere fatta sulla base di diverse considerazioni, oltre a quelle puramente ingegneristiche, alcune delle quali sono:

- le reali esigenze del cliente e del mercato;
- lo stabilimento di produzione, che determina l'imposizione di tolleranze strette se la variabilità del processo è entro limiti più ristretti, altrimenti un'ampia variabilità del processo di macchine e attrezzature rappresenterà un grave ostacolo per la specifica di tolleranze strette e questo sarebbe poi anche associato a un costo d'ispezione più elevato, poiché è necessario ispezionare un numero maggiore di parti per garantire che solo le parti buone entrino nell'assemblaggio finale;
- la manodopera, che è importante nel controllo di qualità e può avere rilevanti implicazioni sui costi d'ispezione. Una manodopera non esperta e a basso costo può causare errori d'ispezione che possono rivelarsi più costosi nel risultato finale.

A tali aspetti si aggiungono, poi, il costo della gestione e la solidità finanziaria della stessa azienda:

- gli obiettivi e i piani della gestione di un'azienda influenzano l'importanza attribuita alla produzione di prodotti di qualità;

– l'approccio orientato alla qualità della direzione garantisce investimenti in macchine e attrezzature di produzione di alta qualità, che a loro volta, facilitano la scelta di accoppiamenti e tolleranze stretti, mirati a uno sforzo consapevole per ridurre la variabilità in un processo di produzione, il che richiede metodi e strumenti d'ispezione rigorosi;

– un'azienda con buone capacità finanziarie è disposta a mettere a disposizione più risorse per macchine, attrezzature e strumenti di prima qualità e questo porta naturalmente alla scelta di dispositivi e strumenti di misura e ispezione ad alte prestazioni, all'adozione di metodi d'ispezione migliori per ottenere prodotti "senza difetti".

Dunque, per apprezzare le questioni relative alla gestione e ai costi nell'ispezione (e, di conseguenza, delle pratiche metrologiche), è necessario comprendere la pratica di assegnare dimensioni e tolleranze per le parti di lavoro.

La scelta della strategia dipende dalla scelta dell'organizzazione e dal suo posizionamento. Una migliore analisi dei bisogni e delle conoscenze dei processi di produzione e misurazione porterà a una riduzione dei costi nascosti e porterà a una maggiore produttività nella maggior parte delle aziende.

### **LA METROLOGIA È UNO STRUMENTO DI GESTIONE DELLA PRODUZIONE GLOBALE, NON LIMITATO UNICAMENTE AL CONTROLLO DELLA QUALITÀ DEL PRODOTTO**

L'uso della misurazione non si limiterà dunque alla verifica della conformità del prodotto. Invece la metrologia deve essere considerata nella fase iniziale della progettazione del processo di produzione mediante la creazione di un gruppo di studio multidisciplinare che includa tutti i partecipanti coinvolti nel controllo dei processi di misurazione aziendale. I processi di misurazione, se attentamente pianificati, possono offrire alle aziende molti vantaggi, come i minori costi di sovra/sottotitolazione (con conseguente miglioramento della soddisfazione del cliente e contributo allo sviluppo sostenibile), di gestione dei dispositivi di misurazione

(ottimizzando i programmi di taratura) e di produzione e miglioramento della produttività (con meno impostazioni). La misurazione proattiva della produzione porterà a prestazioni migliorate e potrebbe persino impedire l'esternalizzazione della produzione e la perdita di posti di lavoro locali. La situazione attuale significa nuove richieste e sfide per la metrologia di produzione. L'aumento della complessità di prodotti e processi causa compiti d'ispezione più complessi, che devono essere misurati con un'elevata precisione. Le informazioni ottenute dal processo di misurazione devono essere fornite immediatamente, come base per un successivo controllo di processo. Poiché una maggiore distanza locale tra processo di fabbricazione e processo di misurazione provoca un ritardo nel ciclo di qualità, la misurazione dev'essere eseguita il più vicino possibile alla produzione. Esigenze economiche e strategiche, come l'utilizzo di grandi capacità di macchine di produzione o un breve tempo di produzione, impongono la necessità di un'integrazione ottimale dei processi d'ispezione in sequenze di produzione. La metrologia della produzione non può dunque essere considerata un campo isolato accanto alla produzione, ma deve diventare parte integrante dei processi di produzione e una fonte di informazioni. L'applicazione dei sistemi di misurazione va oltre gli aspetti puramente tecnologici e diventa un compito interdisciplinare; soprattutto l'area della tecnologia dell'informazione e della comunicazione acquista importanza. Attualmente e nel futuro si presentano domande molto più ampie quando si applica la metrologia. Oltre alla scelta della metrologia più adatta, è necessario considerare come i risultati ottenuti possano essere elaborati e forniti per un ulteriore utilizzo e come i processi d'ispezione possano essere integrati nelle sequenze di produzione senza rovinare il flusso di produzione. Tutto ciò fa capire che questo nuovo mondo impone misure di qualità migliore di quella per cui siamo stati in grado di accontentarci finora. Deltamu, nel 2020, ha lanciato il concetto di BMR (Bayesian Measurement Refinement), vista l'importanza che ripone nella questione del miglioramento della qualità delle misurazioni. Esso si svolge in tre fasi:

1) valutare l'incertezza di misura del processo che ha prodotto i dati da affinare: analizzare la metodologia che ha prodotto le misure, definire i fattori che intervengono durante le misurazioni, stimare la rispettiva legge di probabilità, valutare eventuali covarianze, regolare la legge di distribuzione dell'insieme di leggi di probabilità presenti, allo scopo di ottenere l'incertezza di misura globale.

2) effettuare la deconvoluzione: la distribuzione dei valori misurati è il risultato della miscela della distribuzione dei valori reali sottostanti (che chiameremo legge "a priori") e della distribuzione degli errori di misura che si sono prodotti durante le misurazioni (l'incertezza di misura). Solo una valutazione obiettiva e realista dell'incertezza di misura permette di comprendere la differenza tra realtà e misure e la realizzazione di questa valutazione è parte integrante dei compiti del metrologo del XXI secolo.

3) perfezionare i dati misurati (Inferenza bayesiana): conoscendo la probabilità di ogni possibile valore vero (legge di probabilità a priori determinata nella fase 2 precedente) e la probabilità di ogni possibile errore misurato (incertezza di misura determinata nella fase 1 precedente), è possibile calcolare la probabilità di ogni combinazione all'origine della misura, quindi la combinazione più probabile, e di conseguenza è possibile determinare "il valore vero più probabile che si nasconde" dietro il valore misurato.

Si tratta, in sostanza, di sfruttare l'incertezza di misura, non per inasprire i requisiti ma per migliorare la qualità delle informazioni. Con il BMR, ogni misurazione viene utilizzata come informazione ma non come unica informazione. Possiamo infatti tenere conto, in aggiunta, della conoscenza a priori del misurando e dell'incertezza di misura allo scopo di arricchire l'informazione iniziale.

Eseguito questo processo ci si rende conto che, anche se le "misure affinate" non sono esattamente uguali alla legge a priori (realtà), è tuttavia plausibile convenire che esse sono qualitativamente migliori rispetto ai dati misurati "grezzi". Questa operazione d'affinamento esige il rispetto di diverse condizioni e la pratica del Bayesian

Measurement Refinement richiede delle buone capacità di elaborazione dei dati, che i metrologi o i data scientist devono acquisire.

Il BMR si presenta dunque come il culmine della **Smart Metrology** e consente di perfezionare l'uso dei dati e delle misurazioni, in modo tale che esse possano davvero diventare una sorta di petrolio del futuro.

Ci sono le tecnologie innovative che supporteranno lo sviluppo di una nuova metrologia in futuro (big data, domotica, 5G, ecc.)

La tecnologia degli oggetti connessi cambierà gli strumenti di misura. Alcuni immaginano che una connessione wireless sia una forma di completamento, ma possiamo e dobbiamo andare molto oltre. Il BMR richiede molti calcoli, a volte noiosi, ma le macchine possono eseguirli senza problemi. Deltamu lavora da diversi anni a un progetto collaborativo (STAM: Services and Tools for Advanced Metrology) sostenuto dal FESR. L'obiettivo è sviluppare l'intera strategia per automatizzare i calcoli del BMR, qualunque sia il tipo di misurazione, utilizzando la tecnologia IoT. Ma è davvero ancora un po' presto per svelare l'intero progetto. Il ruolo della metrologia nell'industria cambierà dunque negli anni a venire. L'intelligenza artificiale è destinata a fare una grande differenza nel settore, dalla progettazione del prodotto alla certificazione. Ma questa intelligenza artificiale ha tuttavia bisogno di dati affidabili per funzionare al meglio. In futuro non potremo più accontentarci delle informazioni fornite dallo strumento di misura. Una misura sarà sempre soggetta a molte cause di disturbo (l'ambiente, gli operatori, lo strumento, il misurando stesso, ecc.) e la post-elaborazione che stiamo sviluppando (BMR) finirà inevitabilmente per imporsi. Il metrologo deve quindi acquisire le competenze per comprenderlo e metterlo in atto, in particolare tramite strumenti interconnessi che possano accedere. Siamo quindi molto lontani dalle etichette e dagli intervalli con periodicità prefissata della metrologia "ISO 9001": in Deltamu siamo convinti che queste pratiche alla fine lasceranno il posto alla **Smart Metrology**.