

COMPENSAZIONE TERMICA DELLE CMM IN AMBIENTE DI PRODUZIONE

di Annarita Lazzari

Le Macchine di Misura a Coordinate (CMM) hanno rivoluzionato la metrologia dimensionale potenzialmente di tutti i tipi di componenti prodotti non solo per la loro precisione, convenienza e semplicità d'uso, ma anche per l'ampia tipologia di misure che tramite esse possono essere intraprese.

Le CMM vengono infatti frequentemente utilizzate per effettuare misure su una vasta diversità di componenti di tutte le dimensioni, che possono essere critiche per le prestazioni del prodotto finito. La complessità di queste misure va spesso ben oltre le capacità della metrologia dimensionale convenzionale.



Archivio Mitutoyo Italiana S.r.l.

L'USO DELLA MISURA A COORDINATE IN AMBIENTE INDUSTRIALE

L'adattabilità delle CMM a misurare accuratamente oggetti di dimensioni e configurazioni geometriche grandemente diverse fra loro e la loro idoneità a fornire la relazione fra le varie caratteristiche di un pezzo lavorato fa di tali dispositivi di misura preziosi strumenti anche per il

controllo di processo. A tale flessibilità si associa la capacità di portare avanti operazioni di misura a coordinate in modo molto veloce e ciò fa sì che i risultati di misura possano essere usati per ampliare efficacemente le richieste del processo manifatturiero (tenendo conto dei costi) e per analizzare l'andamento del processo stesso.

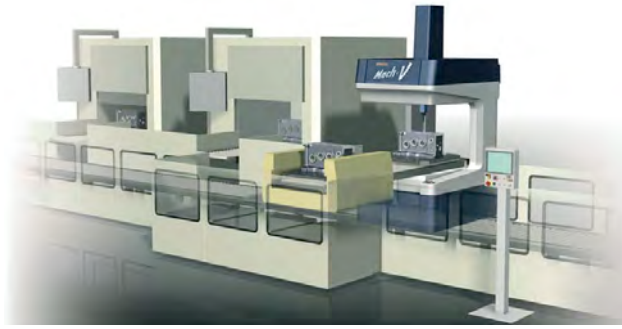
Pertanto, mentre inizialmente la metrologia a coordinate costituiva un mezzo per il controllo di qualità, ultimamente è divenuta un utile strumento per il controllo di processo: le informazioni dimensionali registrate durante la misurazione della singola parte possono infatti essere usate come controllo sullo stato del processo utilizzato per la realizzazione della stessa.

Per poter svolgere questa funzione è necessario trasportare la misurazione e l'operazione di ispezione il più vicino possibile al processo di fabbricazione. Tradizionalmente infatti, l'uso della metrologia a coordinate per il controllo di processo richiedeva normalmente che fossero effettuate misurazioni di routine off line da tecnici specializzati, magari tolti da attività manifatturiere. Di conseguenza anche se i dati dimensionali che vengono registrati durante la misurazione e le operazioni di ispezione sono comunque preziosi e, dopo l'analisi, possono essere usati per correggere le variazioni di processo che provocano la condizione di fuori-tolleranza, in effetti operando in tal modo le correzioni di processo vengono spesso effettuate dopo che le parti siano state rilavorate per soddisfare le specifiche e quindi non tempestivamente.

E' chiaro che facendo lavorare una CMM in ambiente diverso da quello controllato, il processo di misurazione, che fa corrispondere ad ogni punto registrato delle coordinate tridimensionali, contiene molte fonti di incertezza aggiuntive. E infatti accanto alle distorsioni geometriche della struttura della macchina e all'effetto sistematico della sonda, alcune delle più grandi fonti di incertezza di cui è necessario tenere conto sono gli effetti termici e meccanici dell'ambiente di funzionamento.

QUALITÀ DELLA MISURA ANCHE IN AMBIENTE INDUSTRIALE

L'uso delle CMM in ambiente industriale richiede dunque di verificare attentamente se le situazioni ambientali sono compatibili con quelle previste dal costruttore della CMM stessa allo scopo di garantire le sue caratteristiche metrologiche. A causa dell'incremento dell'uso e dell'importanza delle CMM nei sistemi manifatturieri, è necessario allora sviluppare test affidabili ed accurati per la verifica delle loro prestazioni allo scopo di assicurare la qualità dei componenti realizzati.



CMM inserita in linea produttiva

L'implementazione di procedure che consentano di assicurare la qualità della misura viene però spesso lasciata all'iniziativa dell'utente, che generalmente non ha possibilità di far fronte da solo alla complessità del problema. Allo scopo di compensare gli effetti termici è infatti necessario avere una chiara comprensione della relazione fra i cambiamenti di struttura della macchina ed i cambiamenti di temperatura.

Cambiamenti strutturali termicamente indotti, dovuti a variazioni nell'ambiente di funzionamento influenzano la precisione di misura delle macchine di misura tridimensionale. Gli effetti dei cambiamenti di temperatura sulla struttura e sulle prestazioni della macchina sono molto complessi, soprattutto per la presenza di effetti non lineari sugli accoppiamenti. Spesso può essere difficile trovare una completa relazione fra il cambiamento delle componenti di errore della CMM e gli effetti termici a causa della complessità strutturale della CMM stessa.

Per affrontare il problema dell'errore termico sono stati allora presi in considerazione vari approcci da parte dei costruttori di CMM. Infatti uno dei motivi per cui è stata introdotta la compensazione degli effetti termici è proprio quello di garantire l'uso della CMM non solo in ambienti a temperatura controllata, ma anche in officina o in aree di ispezione all'interno dell'officina, dove cioè è probabile che le variazioni di temperatura siano molto più grandi.

E' nata di conseguenza la necessità di risolvere il conflitto fra la capacità di misure di precisione e la necessità di integrare la metrologia a coordinate all'interno del processo di fabbricazione. I costruttori di CMM per poter raggiungere tale obiettivo hanno dovuto necessariamente migliorare il progetto della CMM e di conseguenza hanno focalizzato la loro attenzione e i loro sforzi in particolare in 3 direzioni:

- 1) La compensazione di temperatura.
- 2) Una tecnologia sensoristica con potenzialità tali da riuscire a catturare dati ad alta velocità: ci si sta attualmente spostando verso la produzione e l'ottimizzazione di sensori senza contatto che, combinando i principi dell'ottica, di visione e le tecnologie laser in apparecchiature in grado di analizzare rapidamente forme complesse e superfici, raccolgono dati dimensionali velocemente e con accuratezza estrema; associati a tali sensori ci sono poi dei modelli matematici connessi a potenti sistemi di calcolo che rapidamente analizzano l'enorme quantità di bit di dati dimensionali. Occorre però sottolineare che anche se tali sensori sono versatili, tuttavia essi possono però presentare degli inconvenienti, dovuti al fatto che se ad esempio l'applicazione richiedesse la

misura di superfici lisce e rilucenti, le riflessioni che avrebbero luogo potrebbero determinare una registrazione dati imprecisa. Pertanto poiché il tastatore è comunque un dispositivo di raccolta dati estremamente affidabile e ripetibile, ma non veloce per applicazioni che richiedono un ammontare massiccio di dati (si pensi ad esempio alla valutazione di forma), gli sforzi di sviluppo continuano anche nell'area della tecnologia di sensori a contatto, allo scopo di rendere migliore appunto proprio la velocità alla quale tali dispositivi di raccolta dati possono funzionare accuratamente.

- 3) Miglioramenti del software.

In tal modo si producono macchine di misura tridimensionale sempre migliori e che soddisfano alle esigenze di effettuare misure di precisione e nello stesso tempo a velocità tali che riescano a soddisfare gli obiettivi di produttività di un'azienda.

L'IMPEGNO DEI COSTRUTTORI DI CMM

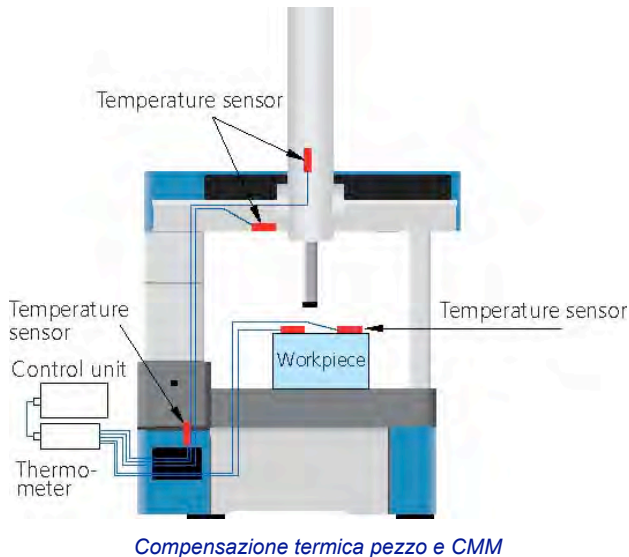
Tuttavia la temperatura e il suo effetto sul pezzo lavorato e sulla macchina di misura da immettere in un ambiente di lavoro rimane il più grande ostacolo per i progettisti di CMM.

Un'idea originaria era stata quella di associare alla CMM in produzione un dispositivo (una specie di condizionatore d'aria) che fosse in grado di mantenere costante la temperatura della macchina e del pezzo lavorato e che proteggesse così la misura dai gradienti termici. Questa soluzione che per certi versi funzionò, creò invece dei problemi a livello del pezzo lavorato, che doveva essere caricato e scaricato dalla macchina di misura e tanto più tempo esso richiedeva per raggiungere l'equilibrio termico con la temperatura costante a cui si trovava la macchina per poter prendere misure accurate, tanto più veniva rallentato il processo produttivo.

Di conseguenza mentre la precisione di misura rimaneva alta, calava d'altro canto e di molto la produttività.

Per questo motivo i costruttori di CMM hanno iniziato a compensare gli errori dovuti all'espansione e alla distorsione termica attraverso un insieme di soluzioni sia hardware sia software e che includono anche il posizionamento di sensori in punti critici nella struttura della macchina e nel pezzo lavorato. I sensori leggono la temperatura sulla struttura della CMM e sul pezzo lavorato, dopo di che un potente algoritmo estrapola i valori di espansione e di distorsione dai dati dando luogo alla compensazione via software per ogni punto misurato. In tal modo si riesce virtualmente ad annullare l'influenza delle variazioni di temperatura su un ampio campo di misura. Ciò consente che l'ispezione sia portata avanti su un ambiente di lavoro con un'accuratezza comparabile a quella del laboratorio.

Attualmente il software utilizzato per gestire le CMM ha raggiunto un livello di raffinatezza tale che non viene richiesta una programmazione al computer per lanciare programmi sempre più sofisticati. In generale i nuovi software di CMM consistono infatti di programmi menu-controllati con videate di aiuto comprensibili.



Il risultato è che il software per qualsiasi particolare routine può essere personalizzato per rispondere ad applicazioni individuali usando il proprio linguaggio parlato, piuttosto che uno specifico linguaggio di programmazione associato ad un sistema operativo complicato.

Un'altra tendenza dei software attuali è quella di creare interfacce operatore semplificate, che presentano solo quelle interazioni che vengono richieste per le applicazioni generalmente utilizzate. Questa potenzialità consente all'utente di selezionare l'operazione di misura più appropriata per il proprio compito, massimizzando l'uso dell'apparecchiatura. In molti casi, l'utente semplicemente esegue un "click" per poter accedere a routines potenti e per poter effettuare l'analisi dei dati raccolti.

Allo scopo di consentire un collegamento tra progettazione e produzione (settori notoriamente contrapposti a causa delle diverse esigenze da affrontare e, di conseguenza, dei diversi punti di vista), la prossima generazione di software di metrologia potrebbe offrire una piattaforma di informazioni che consenta di collegare il disegno e le funzioni produttive attraverso un comune linguaggio metrologico. Ciò darebbe la possibilità di implementare in modo univoco le tolleranze di disegno e di fornire su richiesta e on-line agli ingegneri di progetto le informazioni di processo di cui necessitano.

Un altro fatto da tenere presente oltre gli effetti termici è però anche che, ovviamente, negli ambienti di lavoro esistono diversi gradi di durezza. Possono infatti esserci ambienti mediamente "puliti" accanto ad ambienti molto sporchi (olio, polvere, immondizia, ecc.). Perciò in aggiunta alla compensazione di temperatura per assicurare la precisione e la ripetibilità, le CMM utilizzate in tali contesti dovrebbero anche essere protette, ad esempio completamente sigillate. In ambienti che invece sono meno ostili la compensazione termica da sola può assicurare la migliore performance.

CONSIGLI PRATICI ALL'UTILIZZATORE

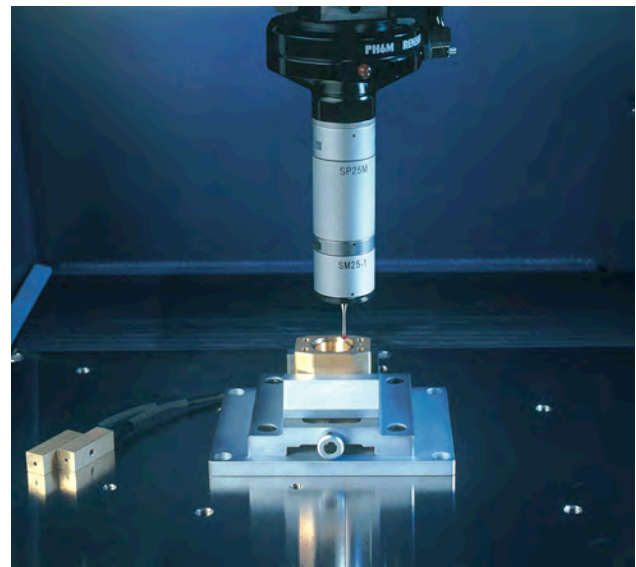
Alla luce di tale scenario vediamo allora quali sono i consigli pratici che possono essere forniti agli utilizzatori.

Per prima cosa è necessario avere a disposizione il tempo necessario per effettuare le compensazioni: poter agire

sulle compensazioni richiede naturalmente una completa conoscenza delle condizioni ambientali in cui si opera e quindi l'effettuazione delle registrazioni di temperatura e umidità. Inoltre richiede anche di essere in grado di inserire i vari parametri necessari ad avviare la compensazione termica via software della macchina.

Altro elemento necessario è, di conseguenza, incrementare il proprio know how: anche se i software di gestione delle CMM sono in generale studiati per essere friendly e per evitare di scrivere complesse parti di programma, a volte non è così immediato poter effettuare la compensazione termica, tenendo conto di tutti i disagi termici che possono verificarsi nel proprio ambito lavorativo e del legame fra questi e la struttura della macchina. Investire quindi tempo e denaro nella formazione costituirà sicuramente un notevole vantaggio sia per l'operatore di CMM, che vedrà accrescere la propria professionalità e di conseguenza il proprio valore sul mercato, sia per l'azienda che, avendo investito denaro in macchinari costosi ha il modo di farli funzionare al meglio, massimizzando le loro potenzialità e ottenendo i risultati produttivi di qualità che si aspetta.

L'utilizzatore dovrà poi valutare i sensori di temperatura da usare in funzione delle proprie necessità di misura: in generale è bene averne posizionati sia sulla struttura della macchina sia sul pezzo; inoltre da prove eseguite in ambienti controllati si è osservato che lo stesso colore del sensore e quindi la sua capacità di assorbire o meno il calore influisce sul risultato della misura che si sta portando avanti. Un'attenta valutazione delle proprie condizioni di misura consentirà dunque di scegliere l'apparecchiatura di misura disponibile sul mercato più idonea alle esigenze personali.



Archivio Mitutoyo Italiana S.r.l.

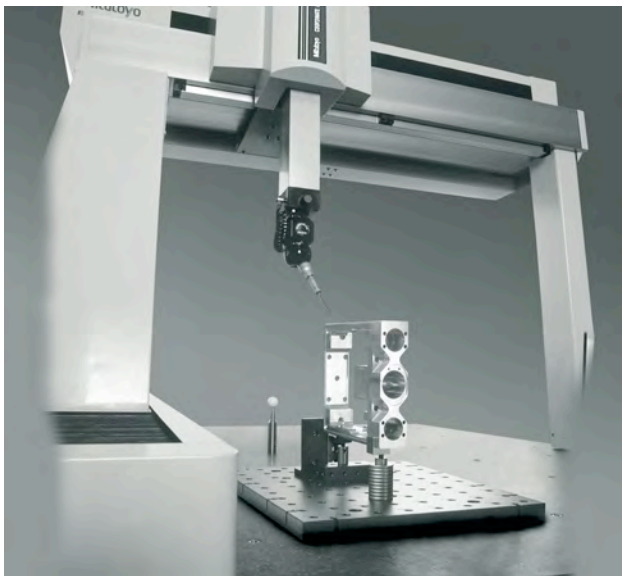
I vari costruttori offrono molteplici prodotti della tecnologia di misurazione a coordinate per il controllo tridimensionale e forniscono, attraverso le loro brochure, depliant e cataloghi, una panoramica che aiuta nella scelta dei vari modelli per essere in grado di individuare la soluzione ottimale per le singole specifiche esigenze. In tal modo è possibile orientarsi rapidamente e in modo mediamente sicuro ed efficiente nella scelta della CMM più adatta ai propri scopi. Vi sono ad esempio macchine studiate appositamente per la misura dei pezzi grezzi direttamente

in fase di produzione, che presentano un adattamento flessibile alle variazioni di temperatura, con un sistema integrato di compensazione in tempo reale della temperatura sia per la macchina sia per il pezzo, con temperature che possono arrivare ad essere comprese fra i 5°C e i 35°C: tali CMM saranno ovviamente indicate per essere posizionate in officina o in ambienti produttivi.

Vi sono poi macchine studiate per essere utilizzate per le esigenze di precisione dei laboratori di prova, che possono garantire la propria accuratezza di misura per temperature comprese ad esempio fra i 18°C e i 22°C. Altre infine, che sono studiate per l'utilizzo sia in sala di controllo sia in ambiente produttivo e che mantengono inalterate le proprie caratteristiche in un range che va generalmente da 16°C a 26°C. Ogni macchina presenta in generale alte precisioni, unite ad una veloce e diretta gestione dei dati di misura e ad un facile svolgimento del processo di misura. A seconda dei modelli poi si avranno diverse funzionalità e caratteristiche aggiuntive, come elevata stabilità e capacità di carico, elevata velocità di avanzamento e di misura, attenuazione delle oscillazioni mediante controllo attivo integrato, compatibilità con numerosi sistemi di misurazione, struttura robusta e stabile, ecc.

A seconda che si lavori dunque in officina o in qualsiasi ambiente produttivo oppure in un ambiente controllato, come un laboratorio (dove le condizioni ambientali sono costantemente monitorate), si procederà alla scelta del modello di CMM che abbia le caratteristiche più rispondenti alle proprie esigenze di misura.

E' chiaro che occorre avere ben presenti anche quali sono le proprie necessità di misura e cioè qual'è l'incertezza (l'accuratezza) di cui in realtà si ha bisogno. E' infatti inutile investire tempo, energie e denaro per raggiungere accuratezze molto spinte quando nella realtà la criticità della misura che si sta eseguendo non lo richiede. Pretendere incertezze molto strette senza correlarle all'effettiva necessità crea aggravii dei costi di produzione e di controllo, senza alcun vantaggio per il prodotto. Le incertezze richieste quindi dovrebbero essere le più grandi possibili pur salvaguardando la funzionalità del prodotto.



Archivio Mitutoyo Italiana S.r.l.

E' molto importante poi che l'utente sappia mantenere le condizioni ambientali in cui opera la CMM entro i limiti specificati dal costruttore. Tali limiti devono essere definiti con chiarezza, garantendo all'interno di essi le prestazioni della CMM. Nel caso infatti in cui i limiti specificati sui valori ammessi non vengano rispettati, i risultati di misura ottenibili dalla CMM potrebbero essere affetti da incertezze di misura superiori a quelle dichiarate e probabilmente superiori anche ai valori ammessi dal proprio processo di misura. Condizioni ambientali al di là di quelle consigliate potrebbero addirittura dar luogo al danneggiamento della stessa apparecchiatura, in particolare ad esempio al danneggiamento degli elementi mobili.

E' opportuno che l'utilizzatore registri permanentemente la temperatura media dell'ambiente di lavoro, in quanto essa subisce una variazione sia spaziale sia temporale e quindi non è sufficiente assicurare che questa rimanga entro i limiti ammissibili solo nella fase di esecuzione delle misure. La struttura della CMM, composta di varie parti fra loro assemblate, può necessitare ore o addirittura alcuni giorni prima di raggiungere la stabilità termica; ciò comporta l'assoluta necessità da parte dell'utente di registrare e valutare l'andamento della temperatura media nell'ambiente di lavoro nel periodo antecedente le operazioni di misura. Una brusca variazione della temperatura media nel periodo immediatamente precedente le operazioni di misura (ad esempio il giorno prima) rende impossibile effettuare misure accurate.

Nel registrare e mantenere sotto controllo la temperatura media dell'ambiente un fattore di grande importanza è rappresentato anche dalla risoluzione del termometro impiegato per effettuare i vari rilievi, che deve essere compatibile con la massima variazione ammessa (circa un 20% di quest'ultima).

Nel posizionare una CMM in un ambiente di lavoro è poi molto importante tenere conto dell'eventuale energia radiante presente nella sala, cioè la presenza di finestre, lampade, termosifoni, ecc: il posizionamento della CMM dovrà essere fatto possibilmente lontano da tali fonti di energia oppure sarà necessario isolare in qualche modo l'intero volume di lavoro e l'area di installazione mediante opportune schermature.

Altra condizione ambientale di natura termica che influenza il comportamento della CMM e che caratterizza lo stato dell'aria del suo volume di lavoro è l'umidità relativa. Per mantenerla sotto controllo e continuare ad ottenere misure accurate, l'utilizzatore dovrebbe fare uso di un igrometro la cui risoluzione sia compatibile con la massima variazione ammessa (circa un 20% di quest'ultima).

Altri parametri termici, in genere non specificati dal costruttore, ma che intervengono significativamente nel corretto funzionamento della CMM sono la portata e la velocità dell'aria nell'ambiente nel quale viene posizionata la CMM. Tali parametri sono in genere difficili da valutare, ma possono essere a volte determinanti, perché i componenti più piccoli della CMM e quindi quelli che presentano una ridotta capacità termica, tendono a seguire rapidamente le variazioni di temperatura indotte da tali parametri. Per questo motivo è necessario avere l'accortezza di posizionare la CMM in luoghi in cui non sia investita da getti d'aria concentrati (ad esempio bocchettoni dell'aria condizionata), che creerebbero elevati gradienti termici.

Anche l'aria calda in uscita dalla ventola di raffreddamento della CMM (per quelle CMM che ne sono dotate) potrebbe influenzare la temperatura nel volume di lavoro e per tale motivo andrebbe aspirata e portata lontano dal volume di misura.