

METROLOGIA

Misurare in officina con precisione e rapidità

Anna Maria Izzì

Utilizzare Macchine di Misura a Coordinate (CMM) nelle tradizionali sale controllo qualità, lontano da dove si svolgono le attività produttive, si rivela sempre più spesso una soluzione inadeguata a fornire efficaci ritorni di informazioni sul processo

L'utilizzo delle Macchine di Misura a Coordinate (CMM) nelle tradizionali Sale Controllo Qualità, lontano da dove si svolgono le attività produttive, si rivela sempre più spesso una soluzione inadeguata ai fini di fornire un efficace e tempestivo ritorno di informazioni sul processo. I tempi necessari per il prelievo dei pezzi dalla linea, per il trasporto in sala metrologica, per la loro stabilizzazione termica e per l'esecuzione del ciclo di collaudo, non sono normalmente trascurabili, se rapportati al tempo ciclo produttivo: può così accadere che il processo produca parecchi pezzi di scarto prima che sia possibile rendersene conto. La possibilità di installare le CMM direttamente in officina, e di gestirle come parte integrante delle attività produttive, consente di mantenere costantemente il processo sotto controllo e quindi di poter intervenire tempestivamente in caso vengano riscontrate delle anomalie qualitative. Inoltre, misurare in linea o in

prossimità di essa, consente di abbattere drasticamente i tempi di messa a punto della linea stessa e, conseguentemente, contribuisce a diminuire il 'time to market' di nuovi prodotti. Gradualmente, dunque, le CMM si affiancano o rimpiazzano i tradizionali calibri dedicati, ancora senza rivali in termini di rapidità del rilevamento, ma i cui limiti, in particolare la loro capacità di effettuare esclusivamente misure relative (ossia per confronto con una parte 'campione') e l'assoluta mancanza di flessibilità abbinata a costi elevati, sono spesso inaccettabili. L'adozione della 'misura flessibile in officina', consente una evoluzione delle strategie di controllo qualità dimensionale dell'azienda. La filosofia di controllo tradizionale della 'adjusting by failure' (che consiste nel verificare se le parti prodotte sono in tolleranza o fuori tolleranza e, solo in seguito al rilevamento di una anomalia, intraprendere azioni di ricerca sulle cause del malfunzionamento del processo)

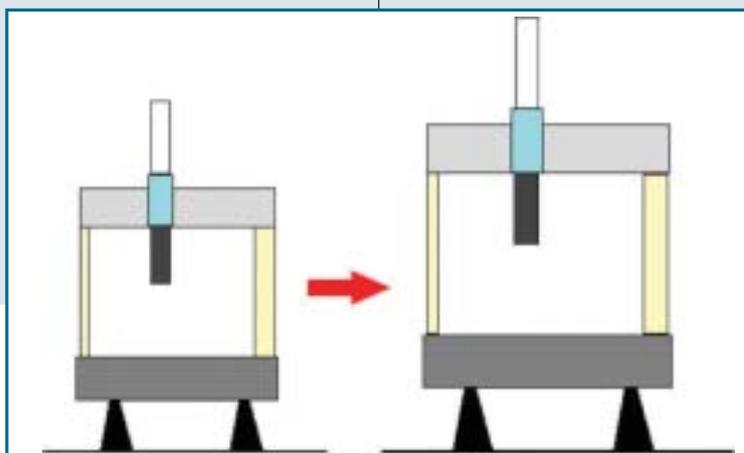
Installare le 'Macchine di Misura a Coordinate' (CMM) direttamente in linea e gestirle come parte integrante delle attività produttive, consente di mantenere costantemente sotto controllo il processo e quindi di intervenire tempestivamente in caso di anomalie

può così essere sostituita dal più efficiente approccio 'mastered adjusting' (controllo in tempo reale delle derive del processo per prevenire la produzione di parti difettose e fornire informazioni fondamentali per l'ottimizzazione del processo).

LE CARATTERISTICHE DI UNA CMM

Le principali caratteristiche tecniche che l'utente richiede a una CMM, per poter efficacemente ed efficientemente soddisfare i requisiti applicativi del controllo dimensionale in officina, sono:

- elevate dinamiche, in grado di garantire una frequenza di campionamento adeguata agli obiettivi;
- precisione, sufficiente a garantire



Variazioni dimensionali lineari.

la conformità delle parti prodotte alle tolleranze di progetto;

- facilità d'uso, per un utilizzo del sistema anche da parte di operatori senza specifiche conoscenze metrologiche;
- facilità nelle operazioni di carico/scarico e, ove necessario, capacità di integrarsi nel flusso produttivo (via hardware e software);
- possibilità di generare i programmi di misura fuori linea, senza necessità di interrompere la normale attività della CMM;
- adeguate protezioni, sia della macchina nei confronti dell'ambiente, sia in termini di sicurezza operatore.

Decisamente arduo si presenta il compito dei costruttori di macchine di misura che devono soddisfare tali requisiti nelle difficili condizioni ambientali dell'officina, in particolare per applicazioni di misura su componenti meccanici dove è necessario garantire precisioni dell'ordine di qualche micron. Infatti, le CMM, come ogni sistema di misura, sono sensibili ai fattori ambientali, quali temperatura, umidità, polveri ed emulsioni in sospensione, vibrazioni.

Per questa ragione, le macchine di misura da officina sono progettate con particolari soluzioni tecnologiche che le rendono maggiormente resistenti alle influenze dell'ambiente esterno. Allo scopo di indirizzare il lettore verso il sistema di misura più idoneo per la propria applicazione verranno trattati in questo e in successivi numeri della rivista alcuni degli aspetti più critici della misura flessibile in officina e le varie soluzioni attualmente disponibili sul mercato.

TEMPERATURA AMBIENTE

La temperatura ambientale e i gradienti termici, costituiscono i fattori più critici per il mantenimento degli obiettivi di precisione di una CMM.

Se da un lato sappiamo che gli standard internazionali considerano corrette le dimensioni dei corpi fisici alla temperatura di riferimento di 20 °C, dall'altro conosciamo quanto le condizioni termiche di un tipico ambiente produttivo siano diverse e fortemente soggette a gradienti

termici nel tempo e nello spazio. Nonostante si possa osservare un graduale miglioramento delle condizioni ambientali in officina, con una tendenza alla diminuzione dei picchi estremi di temperatura, sarebbe totalmente irragionevole ipotizzare di raggiungere condizioni di stabilità termica in tali ambienti. Basti pensare, infatti, allo spegnimento del sistema di riscaldamento durante la notte o nei fine settimana, alle variazioni termiche stagionali, al surriscaldamento generato dalla presenza di macchine utensili o di vetrare esposte al sole, ai flussi d'aria generati dall'apertura di portoni, ecc. Pertanto, non è raro trovare ambienti di officina con temperature medie variabili tra i 18° C e i 35° C e gradienti di 10°C/24 ore.

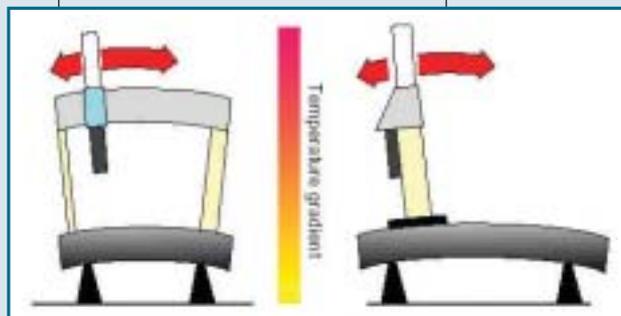
INFLUENZA DELLA TEMPERATURA SULLE CMM

Praticamente tutti i materiali si espandono all'aumentare della temperatura.

I materiali ad alta conducibilità termica, quale per esempio l'alluminio, tendono a uniformare rapidamente la propria temperatura a quella dell'ambiente esterno: risultano dunque molto sensibili ai gradienti termici, ma raggiungono velocemente uno stato di equilibrio termico. Quelli a bassa conducibilità termica (es. granito, acciaio), seguono molto lentamente e con ritardo le variazioni termiche dell'ambiente: risultano pertanto meno sensibili a rapidi gradienti termici, ma permangono più a lungo in uno stato di transizione termico- dimensionale. In entrambi i casi, per ottenere dei risultati di misura corretti in presenza di gradienti è indispensabile ricorrere a tecniche di compensazione, in grado di riportare i risultati della misura alle condizioni di riferimento. Una trattazione completa dell'argomento dovrebbe considerare anche l'influenza dei fattori termici sulle parti da misurare, in quanto l'affidabilità dei risultati del collaudo è strettamente correlata a entrambi. Per semplicità, tuttavia, separeremo i problemi relativi alla

macchina di misura da quelli del pezzo, che tratteremo in uno dei prossimi numeri. Il fatto che la temperatura media dell'ambiente sia solitamente diversa da quella assunta quale riferimento dalle normative internazionali (20 °C) e di calibrazione della macchina, di per sé non rappresenterebbe un grosso problema: in condizioni di stabilità termica, è possibile prevedere il comportamento delle CMM e compensarlo. La maggior parte delle CMM sono progettate per garantire, quanto più possibile, che i suoi componenti siano in grado di dilatarsi in modo lineare, ossia senza vincoli indotti: queste variazioni dimensionali (figura 1), infatti, possono essere calcolate e compensate mediante tecniche di compensazione lineare che riportano automaticamente tutte le misure alla temperatura di 20 °C. Tuttavia, nella realtà, la rapidità con la quale le variazioni termiche avvengono (gradienti temporali) e le stratificazioni della temperatura nell'aria (gradienti spaziali) tendono a creare distribuzioni non uniformi di temperatura nelle CMM e, conseguentemente, a creare distorsioni nella geometria

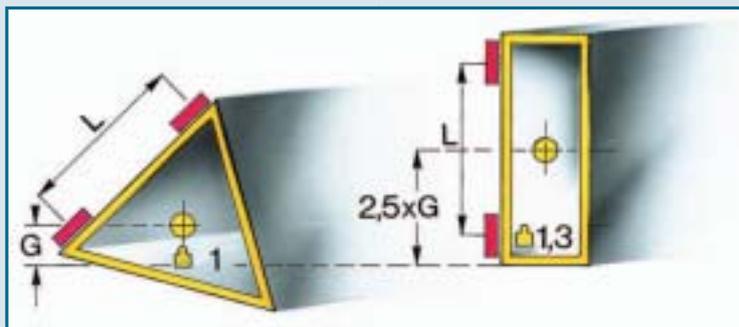
Misurare in linea o in prossimità di essa, consente di abbattere drasticamente i tempi di messa a punto della linea stessa e, conseguentemente, contribuisce a diminuire il 'time to market' di nuovi prodotti



della macchina (figura 2), in generale più difficili da compensare. L'eterogeneità dei materiali con i quali è costruita una CMM e le caratteristiche di ciascuno di essi, assumono un ruolo di primaria importanza in questo fenomeno. Per consentire all'utente di valutare e confrontare correttamente le prestazioni di una CMM, le normative vigenti (es. ISO) impongono ai costruttori di dichiarare sempre le condizioni di temperatura nelle quali vengono garantite le precisioni della macchina (variazioni stagionali e giornaliere; gradienti nel tempo e nello spazio). Scegliendo una CMM per l'officina, si valuti

Variazioni dimensionali non lineari.

Le CMM, come ogni sistema di misura, sono sensibili ai fattori ambientali, quali temperatura, umidità, polveri ed emulsioni in sospensione, vibrazioni



Confronto tra tecnologia Tricision e tradizionale.

dunque, non solo il campo di temperatura, ma anche le massime escursioni ammesse all'ora e al giorno!

SOLUZIONI E TECNOLOGIE

Materiali e strutture

Negli anni, i costruttori di CMM hanno sviluppato due vere e proprie scuole di pensiero, distinte e contrapposte, basate sulla scelta dei materiali e relative tecniche di compensazione. Sono pertanto disponibili sul mercato sia macchine di misura da officina realizzate con materiali a bassa conducibilità termica (ove si privilegia la stabilità nel breve termine e transitori lenti nel medio/lungo termine), sia con materiali a elevata conducibilità termica (con transitori rapidi che consentono di raggiungere velocemente condizioni di equilibrio termico).

In generale, le scelte più valide dovrebbero basarsi su strutture il più possibile simmetriche combinate a soluzioni tecniche che consentano una affidabile rappresentazione del modello geometrico- strutturale della macchina e, conseguentemente, del modello di compensazione: la rigidità della struttura è certamente una caratteristica molto importante, ottenibile con adeguate scelte progettuali. Per esempio, una sezione triangolare del carro trasversale della macchina (tecnologia Tricision e Slant) consente di ottenere un miglior rapporto rigidità/massa rispetto ad una analoga sezione rettangolare. Come si vede in figura 3, con i pattini ad aria posti ad uguale distanza, il centro di gravità risulta più basso nella sezione triangolare, conferendo maggior rigidità e stabilità alla macchina.

Tuttavia, qualunque sia il sistema di compensazione utilizzato, non è possibile, con le attuali tecnologie, ottenere in officina lo stesso livello di precisione e affidabilità della misura in ambiente controllato. Valga a titolo d'esempio il fatto che, tra le dilatazioni realmente misurate e quelle calcolate attraverso i coefficienti di espansione termica riportati nei testi di riferimento è possibile riscontrare deviazioni fino a $\pm 10\%$.

Compensazione termica strutturale

Le tecniche di compensazione lineare, come abbiamo visto, sono in grado di compensare solo parzialmente gli effetti termici che un ambiente di officina esercita sulla macchina di misura. Per questa ragione, alcuni costruttori utilizzano sistemi avanzati basati sulla compensazione termica strutturale, in grado di compensare gli errori generati dalle distorsioni della

struttura macchina causate dai gradienti termici.

La tecnologia A.C.T.I.V. (Adaptive Compensation of Temperature Induced Variations) si basa, da un lato, su scelte progettuali e di materiali della CMM e, dall'altro, sui rilevamenti effettuati mediante sonde termiche, opportunamente distribuite nei punti critici della struttura macchina (figura 4). Avanzati algoritmi di calcolo determinano i valori di dilatazione e distorsione della struttura e li utilizzano per correggere in tempo reale i dati di misura rilevati sul pezzo (figura 5).

Affinché questo sistema di compensazione risulti efficace, le CMM devono essere caratterizzate da una elevata stabilità dimensionale: in questo caso, sono stati utilizzati materiali a elevata conducibilità termica (che consentono di raggiungere rapidamente stati di equilibrio termico) e, per quanto possibile, omogenei (per minimizzare le distorsioni). Con questa soluzione, la macchina di misura e i pezzi sono normalmente alla stessa temperatura, cioè a temperatura ambiente. I dati rilevati su una CMM a portale mobile e illustrati nel diagramma in figura 6, confermano l'efficacia della tecnologia A.C.T.I.V. nella riduzione dell'incertezza di misura in presenza di ampie variazioni termiche. La curva blu mostra un tipico andamento della temperatura in un ambiente non controllato termicamente, durante la stagione estiva. La curva rossa mostra gli effetti che le variazioni termiche ambientali producono sull'incertezza di misura di una CMM compensata linearmente. La curva verde mostra l'errore di misura residuo rilevato sulla CMM alla quale sia applicato il metodo di compensazione termica strutturale A.C.T.I.V. che riduce drasticamente gli effetti della temperatura sulle prestazioni metrologiche della CMM.

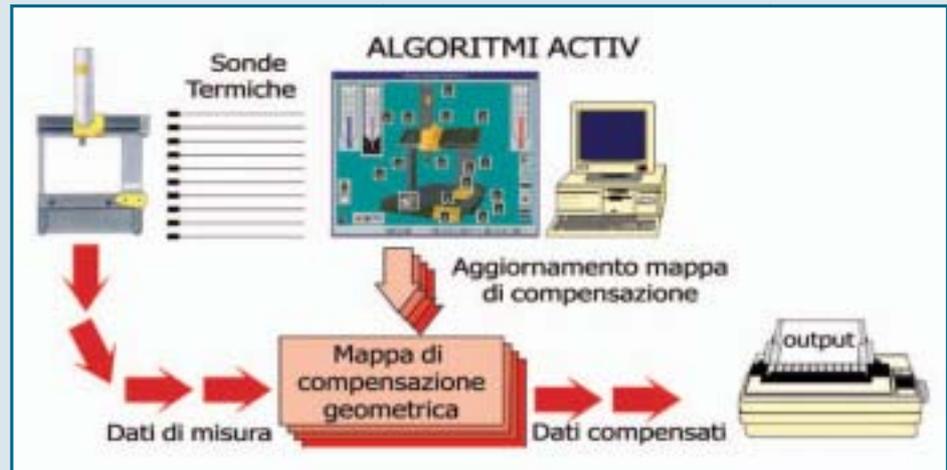
Celle e cabine

In altri casi, le CMM vengono installate in celle ventilate o condizionate (figura 7) che minimizzano gli effetti della temperatura e dei gradienti termici e mantengono il livello di umidità costante. Le celle proteggono inoltre la macchina da polveri e



CMM equipaggiata con tecnologia ACTIV.

lubrificanti in sospensione: nonostante tutte le parti più delicate della CMM, in particolare i sistemi di trasduzione e movimentazione, siano di solito adeguatamente protette nelle configurazioni da officina (a volte anche con sistemi che creano una leggera sovrappressione nella struttura interna della macchina in modo da impedire l'ingresso della polvere), negli ambienti particolarmente sporchi le celle rappresentano una valida soluzione. Le celle ospitano normalmente la sola macchina di misura; le cabine sono invece solitamente dimensionate per ospitare, oltre alla macchina, anche una postazione di lavoro per l'operatore. Entrambe le soluzioni assicurano il funzionamento della macchina in condizioni di totale sicurezza. Le celle ventilate hanno lo scopo di portare la struttura macchina alla temperatura dell'ambiente esterno con gradienti termici più lenti e di evitare stratificazioni di temperatura nel volume della macchina. Evidentemente, gli effetti termici vengono minimizzati ma non eliminati ed è pertanto indispensabile, per evitare un degrado incontrollato delle prestazioni metrologiche della macchina di misura che, anche in questo caso, sulle CMM vengano utilizzati idonei sistemi di compensazione. Le celle condizionate mantengono, invece, le CMM a una temperatura di esercizio ottimale e costante, consentendole di operare in condizioni di stabilità termica. Va comunque osservato che, con questa soluzione, il ciclo di



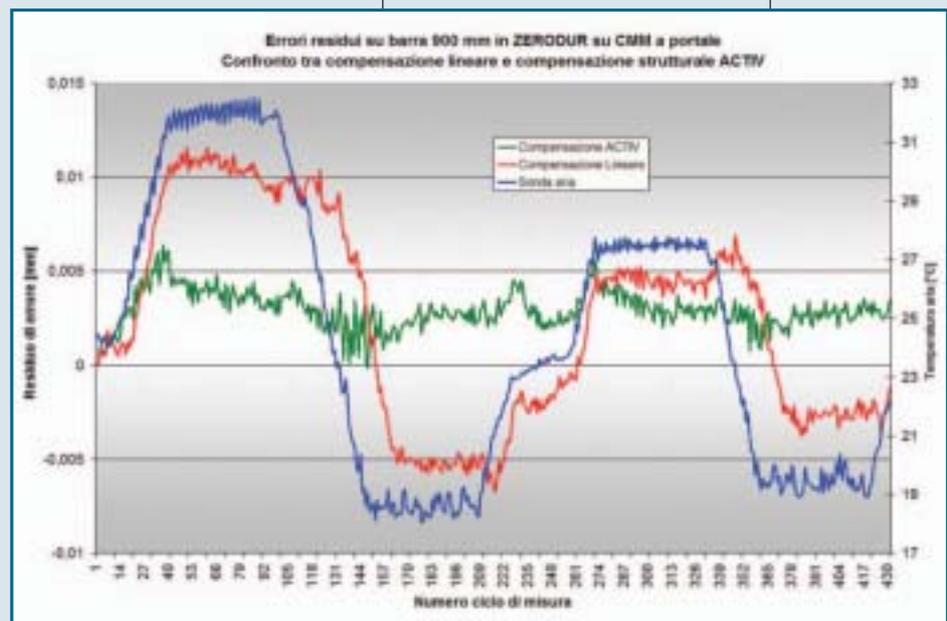
collaudo viene eseguito a una temperatura ben diversa da quella a cui si trova normalmente il pezzo da misurare (temperatura ambiente): affronteremo questo problema quando prenderemo in considerazione, in uno dei prossimi

numeri, gli effetti delle variazioni termiche sui pezzi da collaudare.

Strutture macchina condizionate internamente

Per completezza citiamo anche la soluzione basata su strutture

Schema funzionale tecnologia ACTIV.



Cella di misura.

macchina climatizzate internamente, sebbene questo approccio sia attualmente raramente utilizzato. L'intera macchina viene mantenuta a una temperatura costante e ottimale, minimizzando, se non totalmente eliminando, le influenze termiche dell'ambiente. I pezzi da misurare sono invece, nella maggioranza dei casi, a temperatura ambiente e sarà dunque necessario riportare i dati di misura alle condizioni di riferimento con tecniche di compensazione.

Grafico risultati della compensazione ACTIV.

L'Ingegnere Anna Maria Izzi svolge la propria attività presso il servizio marketing di DEA S.p.A.