



# Caccia all'errore

Per introdurre un nuovo sistema per il controllo di processo di lavorazione meccanica per asportazione o di prodotto basato su macchina di misura a coordinate bisogna essere consapevoli che è necessario dare la massima importanza alla fase di sviluppo concettuale e di progettazione del sistema di misura stesso, agli studi analitici della sua variabilità e alla conseguente verifica di compatibilità con la variabilità del processo di lavorazione meccanica da tenere sotto controllo

**GageMax Navigator di Zeiss è un centro di misura CNC nato e progettato per la produzione. È dotato di un sistema di tastazione a scansione continua attiva.**

## L'errore è sempre in agguato

Per introdurre un nuovo sistema per il controllo di processo di lavorazione meccanica per asportazione o di prodotto basato su macchina di misura a coordinate non significa solo acquistare una CMM (Coordinate Measuring Machine), installarla e iniziare le attività specifiche di misura. Bisogna essere consapevoli che è necessario dare la massima importanza alla fase di sviluppo concettuale e di progettazione del sistema di misura, agli studi analitici della sua variabilità e alla conseguente verifica di compatibilità con la variabilità del processo di lavorazione meccanica da tenere sotto controllo.

Esistono linee guida e modelli statistici in letteratura, identificati con l'acronimo MSA (Measurement System Analysis), che, attraverso un approccio preventivo e scientifico basato sull'analisi della varianza, permettono la validazione e il controllo dei sistemi di misura; purtroppo sono ancora poco diffusi nel nostro paese, ma sono già affermati e di utilizzo sistematico in molti settori all'estero, soprattutto nel settore dell'automobile. Non ha un significato banale affermare che "le misure sono dati impiegati per prendere la decisione di modificare o meno un processo o per valutare la conformità di una specifica". In generale ogni misura rappresenta il valore reale della caratteristica, a meno di un errore intrinseco tipico di ogni processo di misurazione. Tradotto in termini statistici la relazione base tra la variabilità reale e quella osservata è la seguente:

$$\sigma^2_{\text{osservata}} = \sigma^2_{\text{reale}} + \sigma^2_{\text{MSA}}$$

dove  $\sigma^2_{\text{MSA}}$  è la variabilità del sistema di misura calcolata col metodo "Gage R&R". Dalla precedente formula si capisce immediatamente l'influenza della variabilità del sistema di misura su quella reale e quindi sulle decisioni e soprattutto cosa si rischia se non la si conosce.

Infatti se  $\sigma^2_{\text{MSA}}$  è significativamente elevata rispetto alla variabilità naturale del processo, e non si è consapevoli di ciò, si potrebbe decidere, sbagliando in modo paradossale e clamoroso, di correggere un processo perfettamente in controllo statistico, cioè funzionante correttamente senza necessità di intervento. L'introduzione di un sistema di misura in queste condizioni "black box", in cui non si conosce esattamente la  $\sigma^2_{\text{MSA}}$ , non crea scientificamente valore, ma può produrre inconsapevolmente danni che si traducono generalmente in un probabile scarto interno o, ancor peggio, sull'applicazione finale, con un costo associato indubbiamente superiore a quello del costo di una corretta gestione metrologica del sistema di misura stesso. Ha senso e conviene quindi trascurare la conoscenza scientifica della variabilità del sistema di misura e correre questi rischi? Come si fa a determinarla?

Gli studi MSA Tipo 1 (finalizzati all'analisi del BIAS, della ripetibilità e di conseguenza della Gage Capability usando un master di riferimento primario) e gli studi MSA Tipo 2 o 3 (finalizzati all'analisi R&R, cioè della ripetibilità e della riproducibilità usando direttamente i componenti da processare) permettono l'analisi preventiva del sistema di misura e la valutazione della sua idoneità per il controllo statistico di processo o per quello più elementare di verifica di conformità di prodotto.



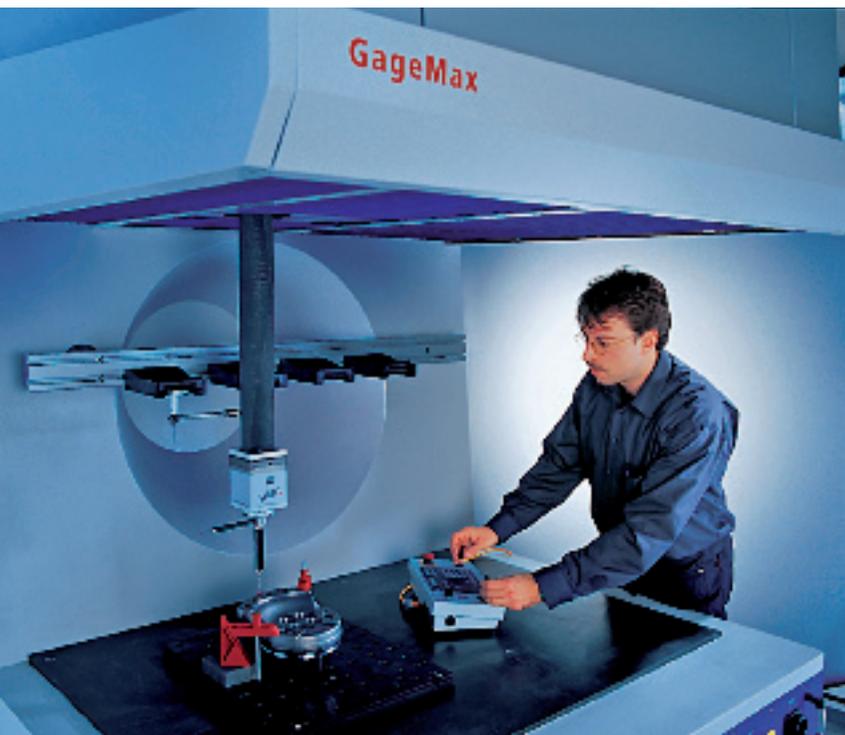
**GageMax è una macchina di misura a coordinate che garantisce la massima precisione direttamente nell'ambiente di produzione.**

Consapevoli del rischio associato alla non conoscenza del comportamento del sistema di misura, è spontaneo e doveroso porsi le seguenti domande, soprattutto per processi di lavorazione meccanica in cui è richiesta una precisione micrometrica: come si sta comportando realmente il processo e cosa stiamo misurando e producendo effettivamente? Acquistare una CMM certificata dalla casa costruttrice e selezionarla in base ai valori dichiarati a catalogo non è sufficiente?

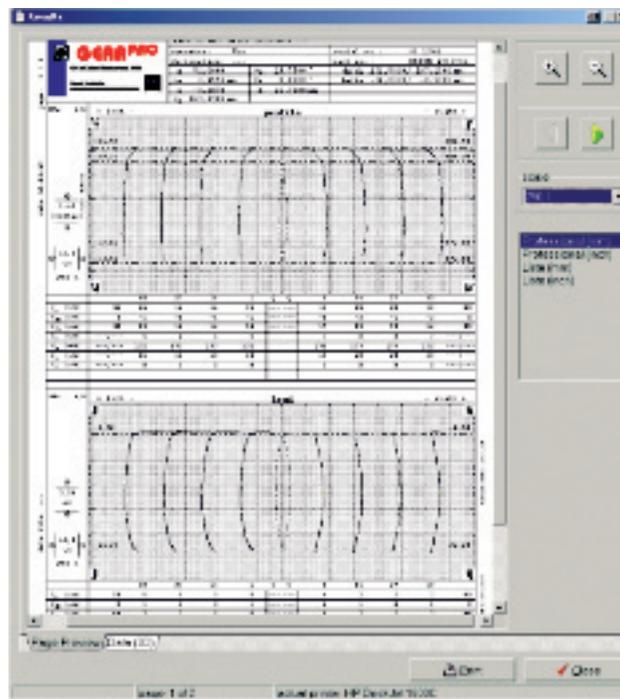
In generale, acquistare una CMM certificata non è indubbiamente sufficiente per dire che il sistema di misura è "capace e in controllo", poiché la variabilità del sistema di misura non coincide solo con quella intrinseca della CMM, ma ha diverse altre componenti legate principalmente al tipo di tastatore, all'attrezzatura di bloccaggio del componente da misurare, agli effetti dell'ambiente sul componente da misurare (dilatazione termica e contaminazione in generale), all'operatore, all'algoritmo di calcolo scelto per la misura di una caratteristica, alle interazioni di tutte queste variabilità ecc...



La macchina è pensata per sopportare elevati carichi di lavoro con alta disponibilità (3 turni, 7 giorni su 7).



L'ingombro a terra di Gagemax è particolarmente contenuto, per minimizzare gli spazi in produzione.



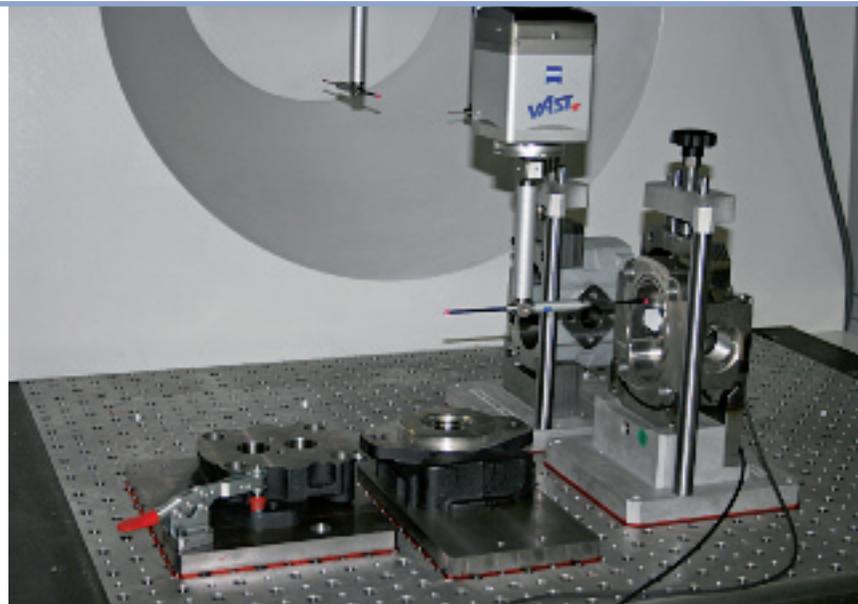
L'adozione in Casappa di applicazioni statistiche avanzate di controllo processo è stata determinante per la riduzione dei costi globali e per l'ottimizzazione dei prodotti esistenti.

### La capacità di distinguere

Quali altri vantaggi può offrire un controllo di processo standardizzato e validato con criteri MSA nella gestione della Supply Chain in termini affidabilistici ed economici? Quali sono principalmente le difficoltà di applicazione dell'MSA?

Un lavoro significativo di successo, utile a rispondere alle precedenti domande, è stato fatto negli ultimi 3 anni dalla Casappa SpA, azienda con quartiere generale a Parma specializzata nella progettazione e costruzione di pompe e motori oleodinamici a pistoni e ingranaggi di elevata qualità, un leader nel settore. Grazie soprattutto all'introduzione in azienda della cultura Six Sigma, il Team "Supplier Quality Development & Control" del Servizio Qualità, in collaborazione con il Team "Engineering" dell'Ufficio Tecnico, ha capito ben presto che l'approccio tradizionale "acquisto black box" ai sistemi di controllo di processo, peraltro comuni alla quasi totalità delle aziende nel nostro paese, non sono affatto sufficienti a fornire certezze e ad avere flussi di componenti in "free pass" dai fornitori, obiettivo fondamentale per le caratteristiche a elevato mix dell'azienda emiliana.

Anzi, nel caso specifico si è dimostrato che queste applicazioni statistiche avanzate di controllo processo sono determinanti per lo sviluppo di nuovi prodotti e alla base dei progetti di riduzione dei costi globali e di ottimizzazione dei prodotti esistenti. Infatti la conoscenza del reale comportamento dei processi produttivi permette anche di reingegnerizzare le tolleranze a disegno, spesso aumentandole, in modo scientifico, tale cioè da coniugare i requisiti



(A sinistra) Una fase di controllo su Gagemax nello stabilimento Casappa di Parma.

(In alto) Senza l'approccio statistico, una deformazione micrometrica insospettabilmente dovuta a coppia di serraggio, sarebbe stata scambiata per un errore della macchina utensile.

funzionali delle caratteristiche dimensionali e di forma con le reali capacità dei processi produttivi. Sono cioè strumenti determinanti per lo sviluppo delle competenze scientifiche e della conoscenza alla base della progettazione e del miglioramento del prodotto. Il tutto è nato da un progetto Six Sigma specifico, sviluppato con approccio DMEDVI, che aveva come primo obiettivo la creazione di un sistema di misura standard per controllo di prodotto e di processo; come secondo obiettivo c'era la sua applicazione a tutti i processi di lavorazione interna e in "outsourcing" dei componenti chiave lavorati da processi "certificati" e quindi free pass; come terzo, ma non ultimo obiettivo, la reingegnerizzazione dei campi di tolleranza delle caratteristiche micrometriche, parametro chiave per la funzionalità e l'affidabilità del prodotto finito.

Il progetto ha visto al fianco dell'azienda emiliana innanzitutto la Zeiss, fornitrice delle CMM, una realtà multinazionale ben conosciuta nel campo dell'ottica professionale, con competenze che variano dalla tecnica dei semiconduttori a quella medica, alla microscopia, alla metrologia industriale e ai sistemi optoelettronici. Altro partner fondamentale è stata la SixSigmaIn Team, società di consulenza che si propone di supportare i propri clienti nelle iniziative di strutturazione e gestione di metodologie di miglioramento Continuo con una cultura e degli strumenti avanzati e di livello internazionale.

### Le fasi di sviluppo del progetto

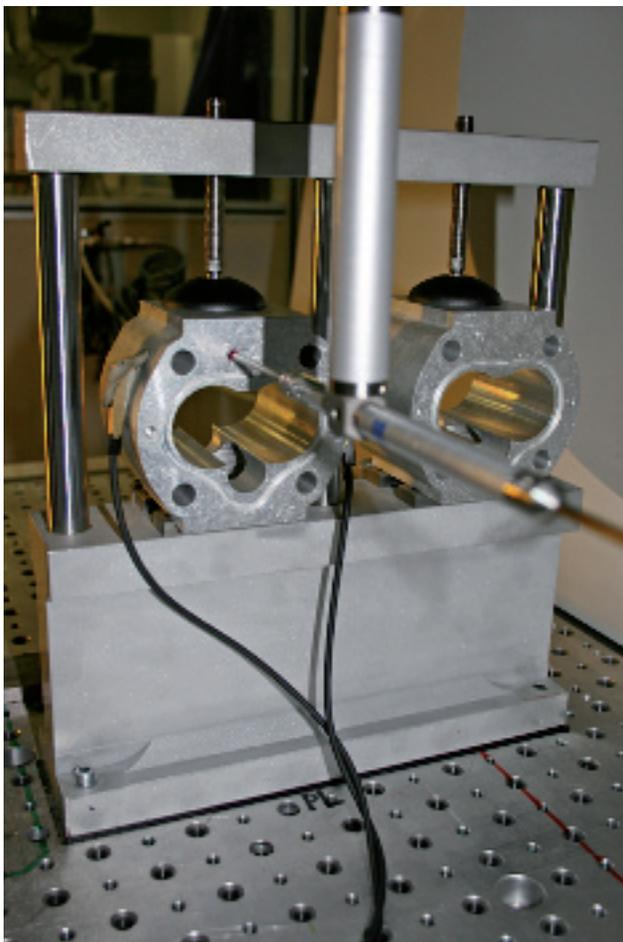
L'Ing. Roberto Bergamaschi, Responsabile Acquisti e Qualità della Casappa Spa, Six Sigma Black Belt, ha guidato un team interfunzionale di 5 persone, tutti Black Belt o Green Belt, occupandosi direttamente della impostazione, della scelta dei modelli concettuali e della pianificazione del progetto: «Il primo passo è stato la

scelta del componente su cui lavorare: dopo un'analisi dettagliata, il corpo pompa a ingranaggi è risultato il componente ideale per verificare se l'applicazione di questi metodi statistici poteva darci vantaggi affidabilistici ed economici tali da essere applicata sistematicamente anche agli altri componenti chiave della distinta base. Il primo step ha coinvolto principalmente il Team Engineering: è stato necessario prima di tutto definire le caratteristiche critiche (Critical To Quality Specifications – CTQs) su cui concentrarsi e per ognuna di esse, sfruttando la consulenza metrologica della Zeiss, sono state definiti i metodi di misura in modo coerente al comportamento della stessa caratteristica del corpo quando si accoppia con altri componenti nel prodotto finito.

Il secondo step è stato caratterizzato dalla definizione delle metriche Six Sigma ed MSA e dei relativi target di validazione del sistema di misura:

- 1)  $Cg$  e  $Cgk \geq 1,33$  + Stabilità del BIAS con Studio tipo 1 basato su carta X-R.
- 2) Numero di categorie distinte  $\geq 5$  e  $\%RR \leq 20\%$  con Studio tipo 2.

Questo è stato un passo fondamentale e importante, poiché è qui che siamo passati da un approccio tradizionale a uno statistico, cioè matematico, di risoluzione del problema. Per noi era la prima volta e non è stato facile imparare a ragionare in questi termini in modo concreto e orientato ai risultati, poiché i dubbi erano all'ordine del giorno e la statistica, in generale quando la si utilizza la prima volta, può distogliere l'attenzione dal risultato reale da raggiungere, se non la si utilizza in modo pragmatico. È in questa fase che abbiamo attuato un cambiamento culturale e di mentalità determinante che ha modificato le nostre abitudini operative, le nostre convinzioni, i nostri criteri e la nostra filosofia

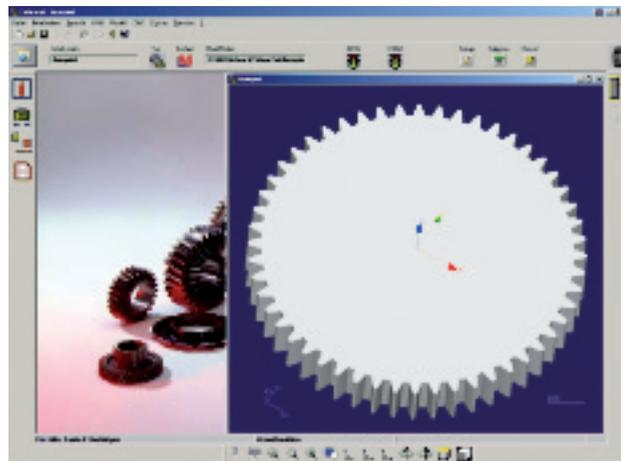


**Gli stessi processi di lavorazione interna messi in opera nello stabilimento di Parma sono stati estesi in tempi brevissimi allo stabilimento produttivo a Shanghai in Cina e presso i principali fornitori.**

di gestione affidabilistica dei processi. Indubbiamente, nell'intero sviluppo del progetto, il ruolo dei consulenti della SixSigmaIn è stato fondamentale e decisivo, poiché ci hanno aiutato non solo a raggiungere tecnicamente un importante obiettivo, ma sono stati anche un acceleratore dello sviluppo delle nostre capacità e competenze, creando implicitamente un elevato potenziale culturale e scientifico in azienda, utile anche in altri campi di applicazione e non limitato al solo controllo dei processi.

Nel terzo step sono stati analizzati tutti i requisiti di applicazioni industriali del sistema di misura e sono stati definiti vincoli e specifiche. Quindi è stato fatto un "benchmark" di diversi sistemi di misura manuali e CMM di case costruttrici diverse.

Abbiamo scelto, in funzione anche di una stima di fattibilità economica e ritorno di investimento, due tipologie preferenziali di CMM della Zeiss: la tradizionale macchina da sala climatizzata modello Contura G2 e il modello Gage Max che può lavorare direttamente a bordo macchina (soluzione ottimale). Sono state definite di conseguenza le altre caratteristiche di massima del sistema, come per esempio le attrezzature di staffaggio progettate con CAD



**Misurazione su ingranaggi. Oltre ai corpi pompa, si sta valutando di applicare lo stesso procedimento statistico su altri componenti critici.**

ProE, i piani di controllo per ridurre variabilità derivante dal posizionamento su attrezzatura (R%R) e con tempo ciclo di misura compatibili con i tempi ciclo di lavorazione, il numero minimo di tastatori per ridurre i costi di investimento e manutenzione. La terza fase si è conclusa con la condivisione e la verifica di fattibilità economica del progetto di massima del sistema di misura presso i nostri principali fornitori di lavorazione meccanica dei componente oggetto dello studio.

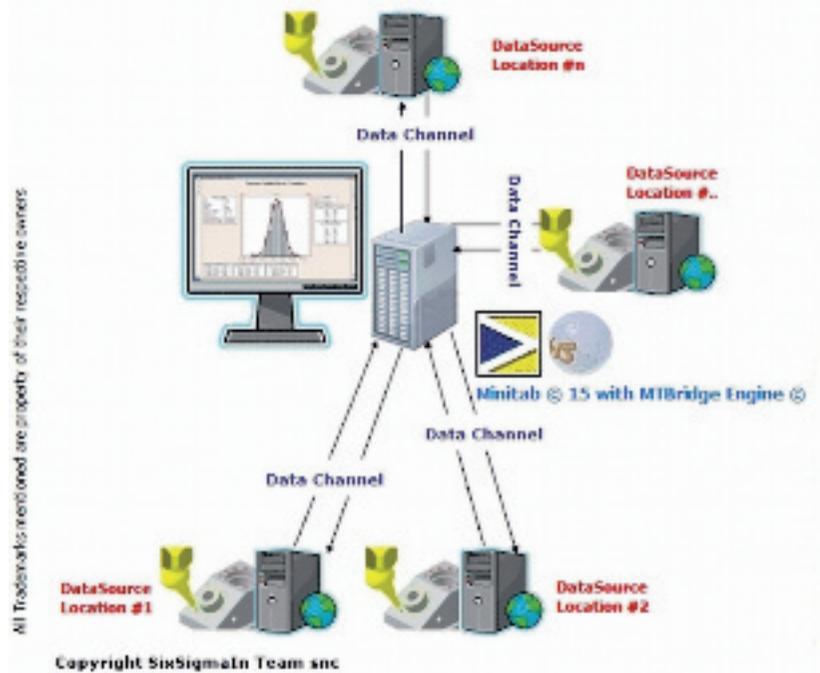
Nel quarto step è stata eseguita una campagna di prove di validazione del sistema di misura CMM Gage Max Zeiss + tastatore specifico secondo le linee guida MSA Studio Tipo I. Validato il sistema "CMM – Tastatore – Asse di misura preferenziale", sono state realizzate le attrezzature, i piani di controllo master con il software specifico Calypso; sono state usate opzioni avanzate in modo da ottimizzare sia la ripetibilità sia la riproducibilità, e sono stati applicati algoritmi e filtri specifici per le definizioni dei piani di riferimento e le modalità di calcolo avanzate delle tolleranze di forma in modo da ottenere una misura conforme a quanto definito nel primo step.

Si è passati al quinto step, caratterizzato da campagna di prove MSA Studi tipo II (gage R%R), che ha come oggetto il componente reale e come obiettivo la determinazione della variabilità del sistema di misura in configurazione definitiva. In questa fase è stato possibile non solo validare il sistema di misura, ma anche e soprattutto calcolare il minimo campo di tolleranza misurabile per ogni CTQs e il relativo numero di categorie distinte; un passo fondamentale per definire il tipo di controllo di processo scientificamente fattibile e applicabile. Mettiamo in evidenza che in questa fase abbiamo avuto qualche problema con le attrezzature di presa pezzo della CMM, a causa di una deformazione micrometrica insospettabile dovuta all'applicazione di una coppia di serraggio in condizioni non controllate, e quindi variabile da operatore a operatore. Per alcune caratteristiche critiche della sede ingranaggi del corpo in alluminio è stato rilevato nella prima campagna di

prove con l'analisi di varianza (ANOVA) un anomalo e imprevisto valore di riproducibilità, che in teoria doveva essere nullo per come era stato progettato il sistema di misura e non ci permetteva di raggiungere i target minimi di validazione. Scoperta la causa del problema, abbiamo di conseguenza apportato le necessarie modifiche all'attrezzatura, validando con successo il sistema di misura con successive campagne di prove Tipo II. Probabilmente senza un approccio di questo tipo non avremmo mai scoperto questo errore introdotto dall'attrezzatura e ci avremmo convissuto, apportando correzioni alle CNC quando non necessario credendo di operare al meglio: quali sarebbero state le conseguenze sul prodotto finito?

Nel sesto step sono state formalizzate e rilasciate ufficialmente le istruzioni operative a uso interno e per fornitori. Raggiunto il primo obiettivo, abbiamo cominciato a introdurre progressivamente il nuovo sistema di misura in tutti i processi di lavorazione dei corpi pompa, seguendo un programma definito e condiviso coi fornitori e la produzione interna. Gli stessi processi di lavorazione interna dello stabilimento produttivo della Casappa a Shanghai in Cina sono stati omologati con questi criteri e sistemi di controllo di processo.

Grazie a un accordo con la Zeiss, i nostri principali fornitori hanno potuto acquistare CMM Zeiss tipo Contura o Gage Max configurata come da requisiti Casappa. In questo modo i tempi di attivazione sono stati velocissimi, poiché abbiamo trasferito semplicemente i nostri programmi sul loro PC. Ovviamente la scelta



**Schema dell'analisi MSA automatiche di dati forniti da una CMM fornito da SixSigmaIn Team, società di consulenza partner fondamentale nello sviluppo dell'applicazione in Casappa.**

della CMM Zeiss è suggerita da Casappa ma non è vincolante: le istruzioni operative che abbiamo sviluppato contengono tutte le informazioni di dettaglio per costruire un piano di controllo anche con CMM di altre marche che abbiamo qualificato come potenziali alternative alla casa tedesca.

Abbiamo anche ottenuto, con alcuni fornitori, dei vantaggi collaterali importanti, poiché in questo modo riusciamo a tenere sotto controllo a distanza i loro processi accedendo direttamente via Internet a siti FTP appositamente creati come archivio delle

## Flessibilità compatta

GageMax Navigator di Zeiss è un centro di misura CNC nato e progettato per la produzione, con sistema di tastazione a scansione continua attiva; attualmente sono in opera sulle linee di Casappa Spa due macchine di questo tipo, ma altre si aggiungeranno a breve. Si tratta di una macchina di misura a coordinate che garantisce la massima precisione direttamente nell'ambiente di produzione, che non è certamente dei più asettici. Infatti numerosi sono gli accorgimenti che la casa tedesca ha messo a punto per ovviare a questo uso fuori della classica sala metrologica. Innanzitutto la scelta di materiali che garantissero robustezza e insensibilità alle fluttuazioni di temperatura: la macchina è pensata infatti per sopportare elevati carichi di lavoro con alta disponibilità (3 turni, 7 giorni su 7) con rendimenti dell'ordine del 98%.

L'ingombro a terra è particolarmente contenuto, per minimizzare gli spazi in produzione; poi c'è la grande stabilità garantita dalla base in granito sintetico e l'insensibilità alle vibrazioni tipiche dell'officina, grazie e al sistema antivibrante integrato, mentre la protezione ambientale rispetto allo sporco si ottiene grazie agli assi macchina completamente protetti. È quindi tutta la filosofia di progetto della macchina che si basa sulla misura diretta sul campo, nel mezzo della produzione, con eccellente robustezza e resistenza alla temperatura.

L'unità, capace di non far affatto rimpiangere calibri o analoghi strumenti di misura e di controllo, è anche facilmente trasportabile in caso di diversa dislocazione nello stabilimento. La struttura della macchina si basa su un box 3D, studiato per una protezione ideale contro

gli influssi ambientali; ciò nonostante è sempre garantita una manutenzione veloce e semplice. È dotata di speciali guide lineari, con azionamenti altamente dinamici; la velocità di spostamento è di 520 mm/secondo e l'accelerazione di 3,5 m/sec<sup>2</sup>, con forte insensibilità alle oscillazioni. Zeiss ha a catalogo numerose opzioni per GageMax, dalla tavola girevole come quarto asse integrato per la misura di solidi di rotazione, all'impiego di sistemi di pallettizzazione e caricamento pezzo manuali e motorizzati, fino all'integrazione in celle di produzione con carico/scarico completamente automatico dei pezzi per mezzo di robot. Numerose opzioni software completano poi il quadro di un centro di misura per la produzione adatto a tutte le esigenze: dai pezzi prismatici, agli ingranaggi, alle palette di turbine ecc. . .



(In alto) Casappa Spa ha la sede centrale a Collecchio, alle porte di Parma, e produce pompe e motori oleodinamici di qualità dal 1952.

(A destra) L'azienda raggruppa 7 aziende di proprietà e 8 aziende partecipate con oltre 1300 collaboratori e un fatturato complessivo 2007 di 219 milioni di Euro.



registrazioni dei controlli. I risultati fino a ora ottenuti sono stati molto importanti e significativi: oggi quasi tutti i processi di lavorazione meccanica corpi sono controllati con questo standard di misura e i relativi flussi dei materiali in entrata nel magazzino sono "free pass"; abbiamo ridotto fino al 70% lo scarto interno di alcuni processi di alcuni fornitori, con conseguente riduzione dei costi globali a vantaggio di entrambe le imprese. Oltre ai corpi, stiamo lavorando anche sugli altri componenti critici, sia delle pompe ingranaggi sia delle pompe a pistoncini».

### Un approccio innovativo nel controllo qualità

Per l'azienda emiliana, la consulenza di Zeiss è stata indispensabile per la migliore interazione con la macchina di misura, che è parte integrante del processo e riveste la stessa importanza della macchina utensile. Luciano Ferrari, Responsabile Vendite di Carl Zeiss Spa di Arese (Milano), conferma l'impegno del gruppo tedesco: «Zeiss si propone sempre come partner; è ben felice di analizzare ogni problema insieme al cliente per scegliere la macchina più adatta e sviluppare una tecnologia di misura orientata al processo. In Italia questo approccio è poco diffuso. Casappa Spa ci ha sorpreso proprio perché ha ribaltato il concetto: generalmente siamo noi a evidenziare che per valutare le prestazioni globali di una macchina di misura occorre considerare parametri diversi. Qui ci siamo trovati sulla stessa strada; abbiamo trovato già una cultura di tipo metrologico e una professionalità esemplare».

Anche Franco Anzani di SixSigmaIn Team Snc di Lainate (Milano) considera quello di Casappa uno dei migliori progetti messi

in opera nel nostro Paese: «Casappa sta usando competenze all'avanguardia in fase di analisi per applicare poi soluzioni pragmatiche ma affidabili e scientificamente robuste che all'estero vengono utilizzate molto più spesso che nel nostro paese. La maggior parte delle aziende italiane non sono coscienti circa la sicurezza di quello che stanno misurando, né circa i benefici che possono trarre dalla standardizzazione e dalla conoscenza. Eppure così si rischia di perdere competitività. Una moderna azienda manifatturiera non può permettersi di non capire se una discrepanza nel controllo qualità derivi dal fatto che il processo non viene condotto in modo ottimale o piuttosto da errori introdotti dall'esterno nella misurazione!»

La Casappa S.p.A. sta continuando a investire in questa direzione collaborando direttamente con la Zeiss per incrementare l'efficienza del sistema di controllo: l'idea di base è quella di introdurre la CMM nel layout delle isole robotizzate per renderle maggiormente produttive e affidabili.

In particolare, è in fase di realizzazione una nuova cella di lavoro a elevato mix equipaggiata con CMM Gage MAX completamente dedicata e con carico e scarico automatizzato; per abbassare gli investimenti si sta valutando l'automazione della nuova CMM modello Duramax. Per quanto riguarda il progetto "free pass affidabile" dei fornitori, il Team Supplier Quality Development sta completando il progetto di allineamento dei processi chiave di tutti i componenti, studiando nuovi sistemi informatici per aumentare l'efficienza dell'analisi statistica dei dati per controllo a distanza delle "process performance". ■