

# MISURA E COMPENSAZIONE DEGLI ERRORI GEOMETRICI E DI POSIZIONAMENTO NELL'INTERO VOLUME DI LAVORO DI UNA MACCHINA UTENSILE A PORTALE DI GRANDI DIMENSIONI

Gianmarco Liotto

Optodyne Laser Metrology SRL  
Via Veneto, 5 20881-Bernareggio (MB)  
tel. 039 6093618 optodyne@optodyne.it

## Sunto

Riduzione degli errori di posizionamento nell'intero volume di lavoro di una macchina utensile di grandi dimensioni per mezzo della compensazione volumetrica e verifica della precisione di posizionamento per mezzo delle misure di posizionamento diagonale.

### Scopo

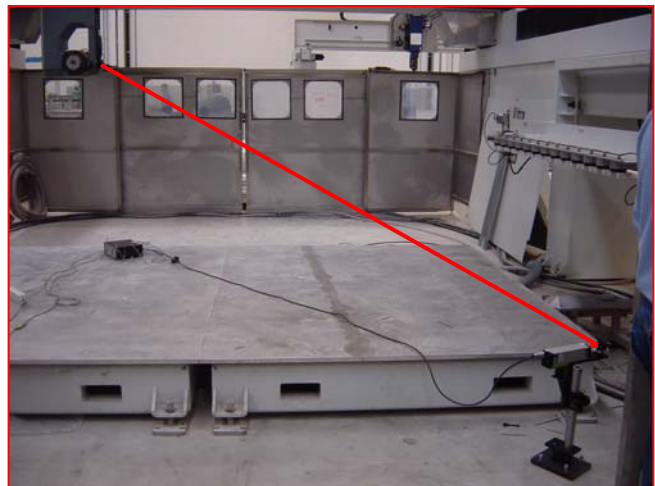
Lo scopo della prova è stato quello di verificare la possibilità di compensare una macchina utensile di grandi dimensioni in tutti i gradi di libertà resi possibili dal controllo usato, Fanuc 18i in un tempo economicamente conveniente. La macchina in prova tipo REX ha un volume di 200 m cubi con escursione diagonale di 5,5m.

La prova è stata caratterizzata da 3 fasi:

- 1 verifica degli errori,
- 2-generazione delle tabelle e compensazione
- 3-Verifica e certificazione degli errori residui

### Misura degli errori volumetrici per mezzo delle misure di errore di posizionamento diagonale.

Le misure di errore di posizionamento diagonale o volumetrico sono state eseguite seguendo le indicazioni della norma UNI-ISO 239-6 per una valutazione rapida della precisione di una macchina. L'errore lungo la diagonale è sensibile agli errori nelle tre direzioni. Il laser è stato posizionato in uno degli spigoli del volume di lavoro e allineato lungo la diagonale per raggiungere lo spigolo opposto. La macchina è stata programmata per movimenti dei tre assi coordinati lungo la diagonale e i dati di errore di posizionamento lungo la diagonale.



Le misure diagonali vengono utilizzate per:

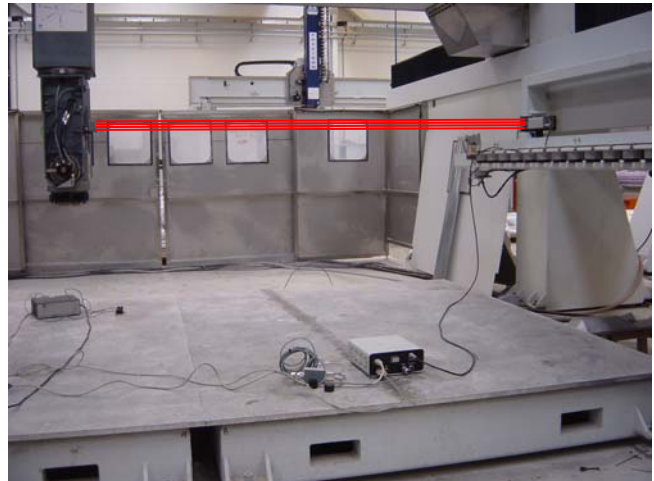
- 1) la determinazione dello stato precedente la compensazione,
- 2) la misurazione della perpendicolarità del movimento degli assi
- 3) la verifica della precisione di posizionamento volumetrico dopo la compensazione.

Sfortunatamente le misure di posizionamento diagonale non forniscono sufficienti informazioni per risalire alla sorgente di errore. Se gli errori eccedono i limiti, è necessario provvedere alla misura delle singole componenti di errore, errore di posizionamento lineare, errori di rettilineità, errori di perpendicolarità, per poter procedere alla generazione delle tabelle di compensazione.

### **Misure degli errori di posizionamento e di rettilineità per la generazione delle tabelle di compensazione.**

Le misure degli errori lineari sono state effettuate con un laser a due raggi paralleli che permette di rilevare due misure di lunghezza (variazione di distanza) ad una distanza nota, misurando contemporaneamente posizione, angolo e calcolando la rettilineità.

Le misure di posizionamento e di rettilineità sono state eseguite al centro dell'escursione di ogni asse. Il laser a doppio raggio è stato allineato in modo da misurare posizione di un asse (es.X) e la rettilineità in uno dei due assi perpendicolari (es.Xy). La macchina utensile è stata programmata per spostamenti fissi intervallati da una pausa, i dati sono raccolti automaticamente dal software di misura durante la pausa. Il part. program per la movimentazione e l'allineamento sono generati dal software di misura del laser congruamente con le impostazioni di misura. Il laser viene quindi ruotato di  $90^\circ$  attorno all'asse di movimentazione per essere pronto a collezionare i dati di rettilineità del secondo asse (es.Xz) che vengono raccolti "al volo" cioè senza che la macchina debba fermarsi.



Le misure vengono ripetute per i tre assi cartesiani. La durata delle misure è stata di 4 ore .

I dati raccolti sono stati elaborati con un software di misura ed analisi LDDM2.69.

Le 3 tabelle di compensazione lineare, le 6 tabelle di compensazione di rettilineità e squadra e le due tabelle di configurazione per il CN GE-Fanuc 18i -128punti sono state generate per mezzo software di calcolo dedicato. Nel software sono stati caricati i 9 file di misura e i tre errori di perpendicolarità e indicate le quote di riferimento atte alla generazione delle tabelle di compensazione che vengono prodotte sotto forma di file di testo. Tempo impiegato per la verifica dei dati raccolti e la generazione delle tabelle di compensazione 1 ora.

### **Misure di Verifica**

La macchina è stata misurata lungo le 4 diagonali ottenute per mezzo di passi di avanzamento interpolati sui tre assi, come descritto precedentemente. Il Laser è stato montato su di un supporto per posizionarlo nella parte bassa delle varie diagonali, e per mezzo dello specchio di allineamento, il raggio è stato diretto lungo la diagonale . Lo specchio catadiottrico è stato montato nella prossimità dell'utensile. La macchina è stata programmata per muovere l'utensile, partendo da uno spigolo per arrivare allo spigolo opposto.. Il raggio laser è stato allineato parallelo alla direzione di

movimento diagonale. La tolleranza tipica di allineamento è minore di 0,1 m Radianti o 0,1mm sulla distanza di 1metro.

### Errori di misura e budget di errore

La precisione del sistema di misura laser è elevata, migliore di 1ppm , le sorgenti di errore tipiche sono: errori di allineamento o errore di coseno, errori dovuti alla misura della temperatura e della pressione. Nella misura diagonale bisogna tenere in considerazione gli errori tipici della misura interferometrica :

Le variabili in gioco sono le seguenti:

Controllo temperatura	0,1°C
Controllo pressione	0,5 mBar
Corsa totale	5 m
Percorso morto	250 mm
Coefficiente di espansione	12 $\mu$ / m / C°
Abbe offset	50mm
Errore di lunghezza d'onda laser	1 $\mu$ m /m

Ne risultano quindi i seguenti errori:

Compensazione temp Aria	1ppm x 5m x 0,1 °C = 0,5 $\mu$ m
Compensazione pressione Aria	0,3 ppm X5m X0,5mBar = 0,75 $\mu$ m
Espansione materiale	12 $\mu$ / m / C° x 5m x 0,1 °C = 6 $\mu$ m
Percorso morto	1ppm x50 mm x 0,1°c = 5 $\mu$ m
Errore di Abbe	0,05m x 20 $\mu$ Radianti = 2 $\mu$ m
Errore di coseno	0,5 <sup>2</sup> mRad. /2 x 5m = 0,5 $\mu$ m
Errore lunghezza d'onda	1ppm x 5m = 5 $\mu$ m

L'errore totale o l'incertezza di misura il seguente:

$$E = \sqrt{0,5^2 + 0,75^2 + 6^2 + 5^2 + 2^2 + 0,5^2 + 5^2} = 8,5 \mu\text{m} \quad \text{o } 1.5 \mu\text{m/m}$$

### Strumenti adoperati:

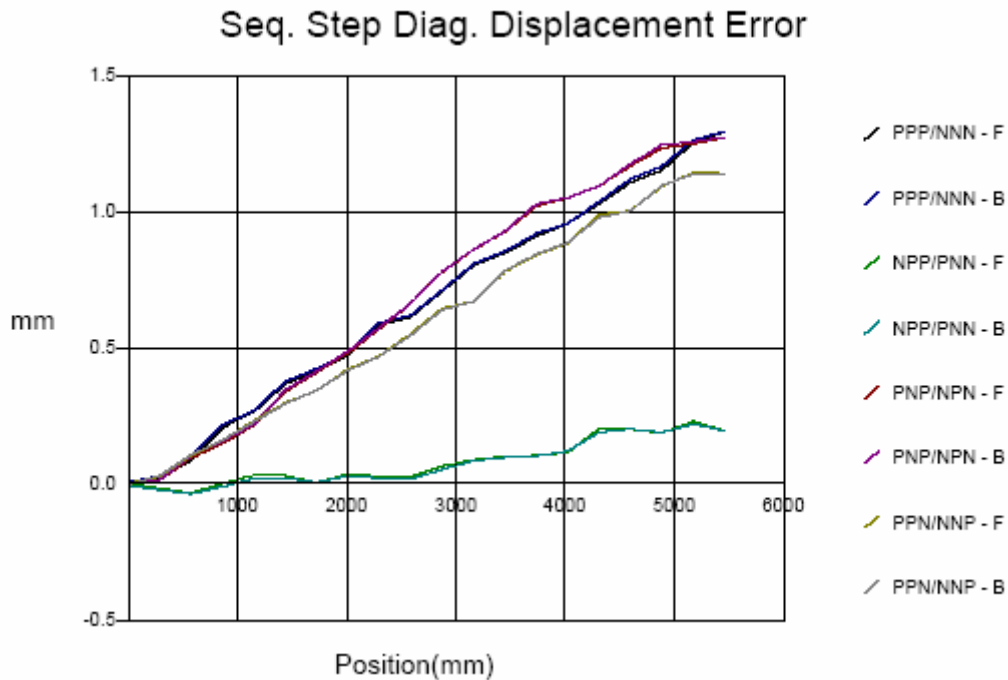
Optodyne -MCV 500 sistema di misura lineare compatto, singolo raggio e singola apertura (raggio coassiale)

Optodyne -MCV 4000 Dual Beam Laser Calibration System

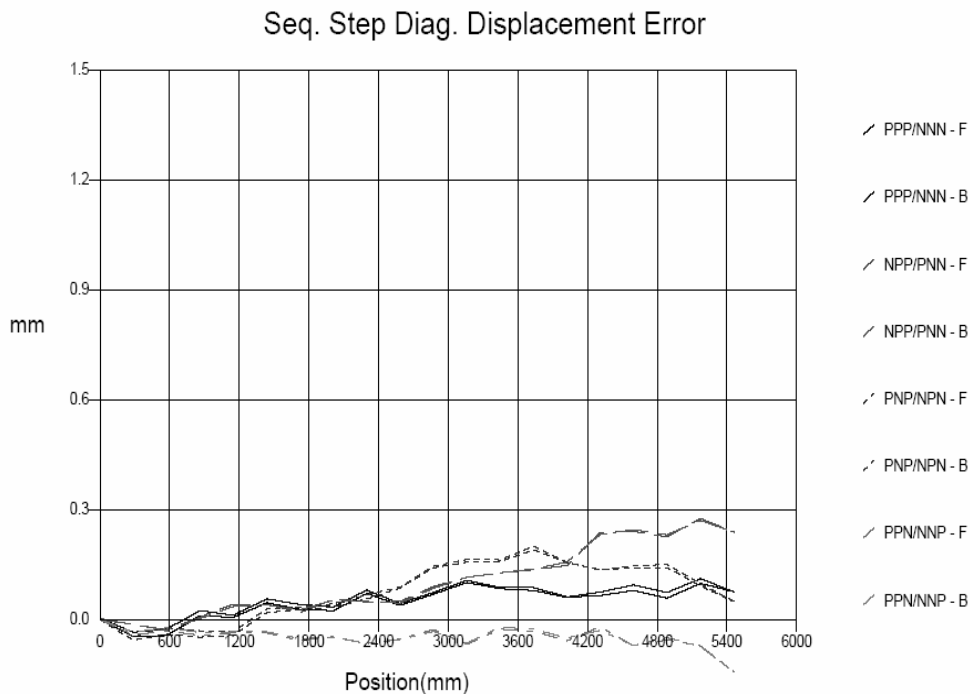
**Software LDDM W112-W113-W500 e WinPipe1 e bozza excell di WinPipe2**

## Risultati delle prove

L'errore massimo risultante dalla verifica diagonale prima della compensazione è di 1,3mm



La precisione ottenuta dopo la compensazione è risultata 0,41mm



## Conclusioni

La compensazione e la certificazione della precisione volumetrica della macchina ha portato un beneficio del 300% rispetto alla precisione iniziale.

Il risultato è stato ottenuto in un tempo di 8 ore.