
	Subject: <b>Misurazioni di rettilineità e planarità con laser a scansione</b>	
	<b>Rapporto di Prova No 101231</b>	Autore: Liotto Gianmarco Preparato il 31-12-2010

## 1. Sintesi

L'obiettivo di questa prova è quello di misurare la rettilineità e la planarità di un asse di macchina utensile di medio-grandi dimensioni in condizioni di ambiente relativamente sfavorevoli, come un ambiente di officina debolmente riscaldato (circa 16 °C) e con disturbo dovuto a frequenti aperture dei grossi portoni di ingresso per carico e scarico.

Le prove sono state realizzate sulla macchina utensile a portale con corsa X di 4 metri.

Le prove eseguite sono una sola misura di planarità in un'area definita dal movimento degli assi X e Y e quattro misure di rettilineità eseguite nella parte centrale. Le misure di rettilineità sono state effettuate con l'ausilio di ventilatori per mescolare l'aria e potenziare l'uso di medie nella misura.

La prova di planarità è valida in tutti i suoi punti mentre nelle prove di rettilineità qualche punto è risultato non valido o mancante, ma dal momento che il laser non è stato mosso e che il sensore non è mai stato riazzerato durante le prove, tutti i punti validi sono stati utilizzati per il calcolo. I primi due punti della prima prova "01rett centr.dat" sono stati presi senza aspettare il tempo necessario perché l'integratore della misura entrasse a regime. Mentre i quattro punti finali della misura "02ret.dat" non sono stati raccolti pensando di fare solo una corsa ridotta.

Il tempo di esecuzione della prova di planarità è stato di quasi un'ora mentre le prove di rettilineità sono durate 5 minuti l'una per un totale di 20 minuti circa.

Si tratta di ottimi risultati-

## 2. Allestimento della prova

Lo strumento è stato posizionato a circa 2 m all'esterno del piano di appoggio metallico della macchina (piano Stolle), ma all'interno delle fondazioni in una posizione stabile con il corpo macchina. Il laser era appoggiato sul robusto supporto con appoggio isostatico ad una altezza di circa 1,2m dal piano. La distanza massima del laser dal bersaglio era circa 6 metri. Il sensore (A-1520) è stato montato per mezzo di una base magnetica alla testa con posizione verso il basso (per cui tutti i dati sono stati raccolti con segno negativo). Il laser è stato allineato in modo grossolano (in circa 0,07 mm) per minimizzare l'errore di parallelismo tra il piano laser ed il piano medio della corsa.



### 3 Strumenti Utilizzati

Gli strumenti utilizzati sono i seguenti.

- 1- Laser a scansione a 3 piani Hamar laser L-743
- 2- Sensore Radio A-1520 2.4II con risoluzione 0,025  $\mu\text{m}$ , precisione 1,2  $\mu\text{m}$
- 3- Ricevitore radio per interfaccia PC
- 4- Programma di acquisizione ed analisi rettilineità Hamar read 8
- 5- Programma di acquisizione ed analisi piani: Plane 5
- 6- Supporto a colonna L-106 Hamar
- 7- Microsoft excell

### 3. Raccolta dei risultati

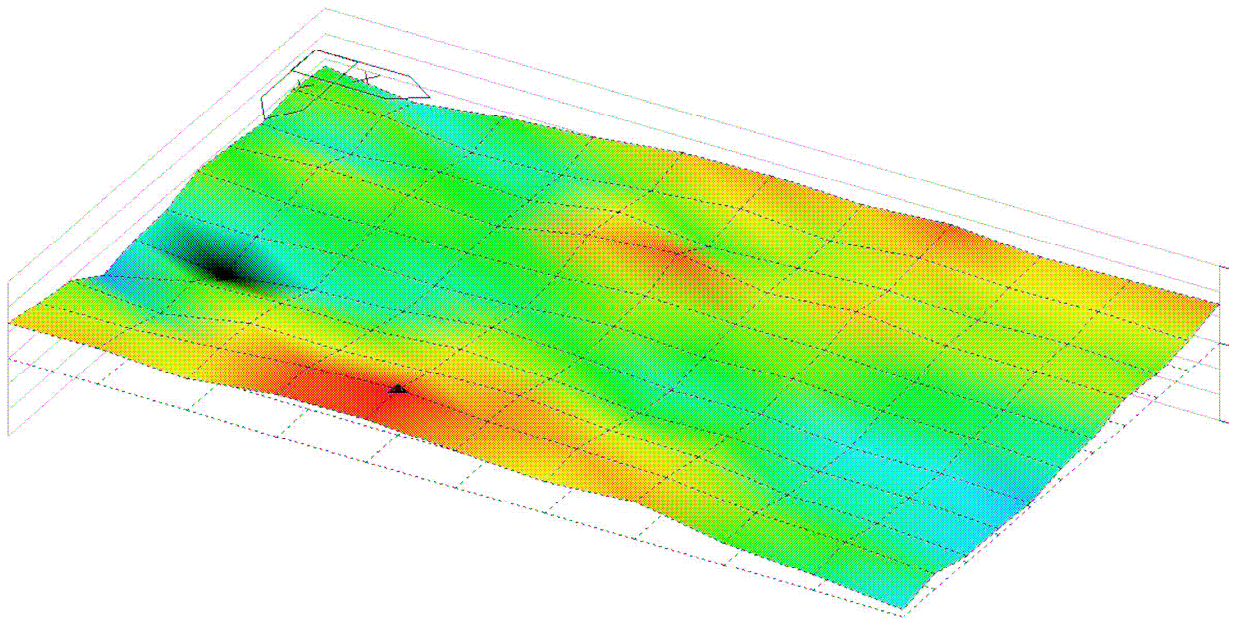
Il sistema di misura memorizza i dati e fornisce direttamente la planarità o la rettilineità calcolata con il metodo dei minimi quadrati. I dati possono essere esportati in formato testo per una successiva elaborazione.

La tabella sottostante riporta la sintesi delle misure.

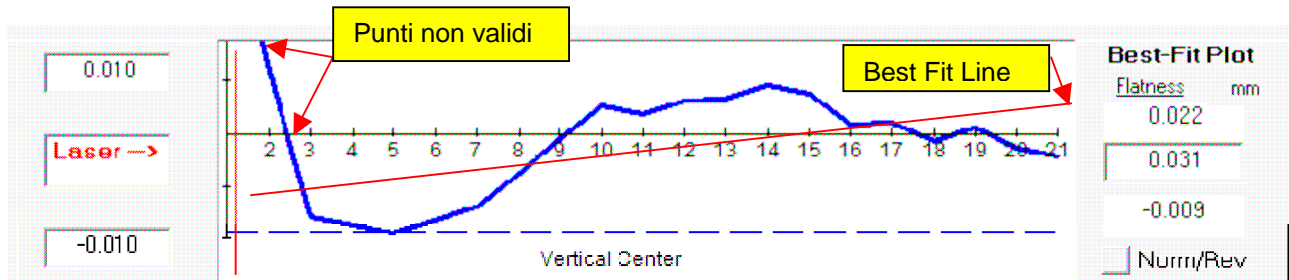
Nome file	Ora	Numero di punti	Rettilineità Planarità (mm)	Commenti
pianoXYdevZ	11:43	121	0,43	Prova valida (Planarità)
01 ret centr	15:54	21	0,031	Prova valida solo per 19 Punti
02 rett	15:59	17	0,006	Prova valida, ma di lunghezza inferiore
03 rett	16.04	21	0,013	Prova Valida e confrontabile
04 rett	16:08	21	0,011	Prova Valida e confrontabile

Le pagine seguenti riportano i grafici di tutte le prove eseguite.

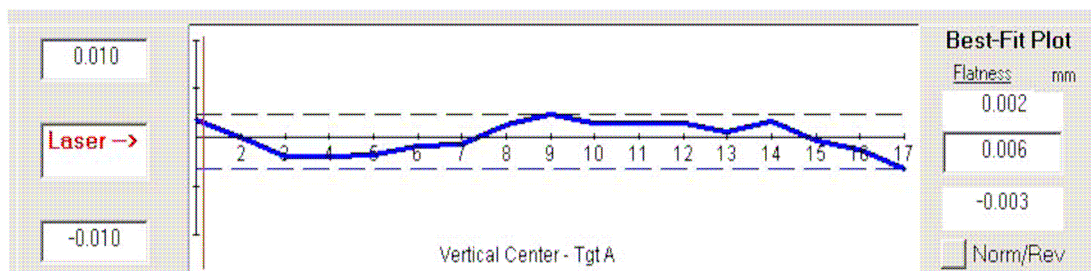
File: pianoXYdevZ Prova di Planarità



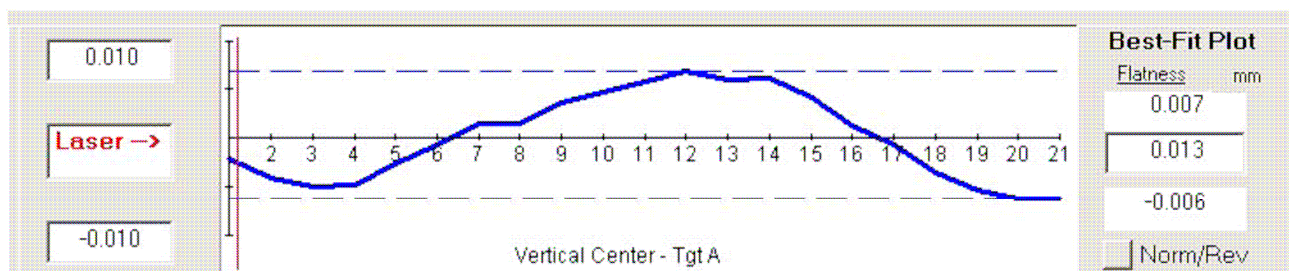
File 01 rett centr Rettilineità a centro corsa, prova valida solo parzialmente, i primi due punti errati sfalsano il risultato, non è direttamente confrontabile con le altre curve, ma escludendo i due punti errati, la Best Fit Line, ovvero la linea che minimizza gli errori conferma la curva simile alle altre acquisizioni valide 03 e 04.



File 02 rett Rettilineità a centro corsa, prova valida solo parzialmente, non sono stati raccolti gli ultimi 4 punti che sfalsano il risultato, non è direttamente confrontabile con le altre curve. Il risultato in termini assoluti è migliore perché ci sono meno punti

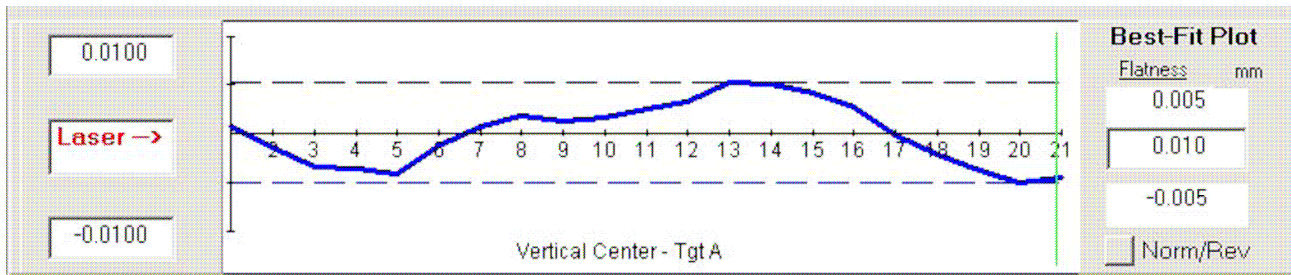


File 03 rett. Rettilineità a centro corsa, **prova valida** è direttamente confrontabile con l'altra curva valida qui di sotto.



File 04 rett. Rettilineità a centro corsa, **prova valida** è direttamente confrontabile con l'altra curva valida di sopra.

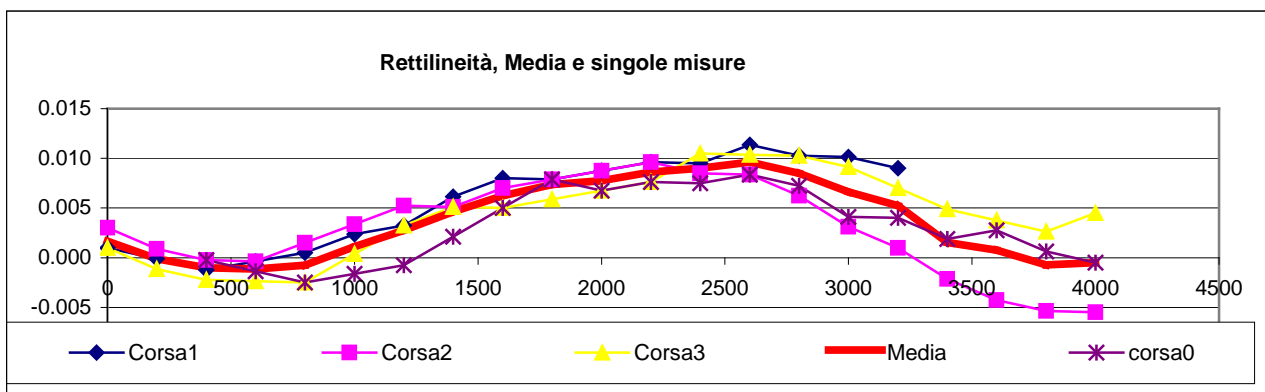




#### 4. Analisi dei dati e confronto

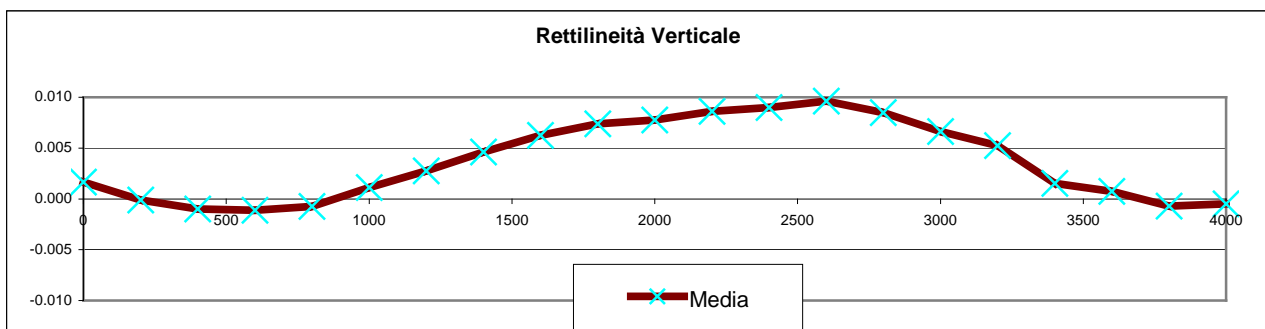
I dati sono stati analizzati con un foglio di calcolo e sono stati tolti i punti anomali che ne falsano la leggibilità ed è stata fatta la media delle misure che è la curva di semplice calcolo e che più si approssima alla realtà.

Nel grafico sono riportate le singole misure e la media



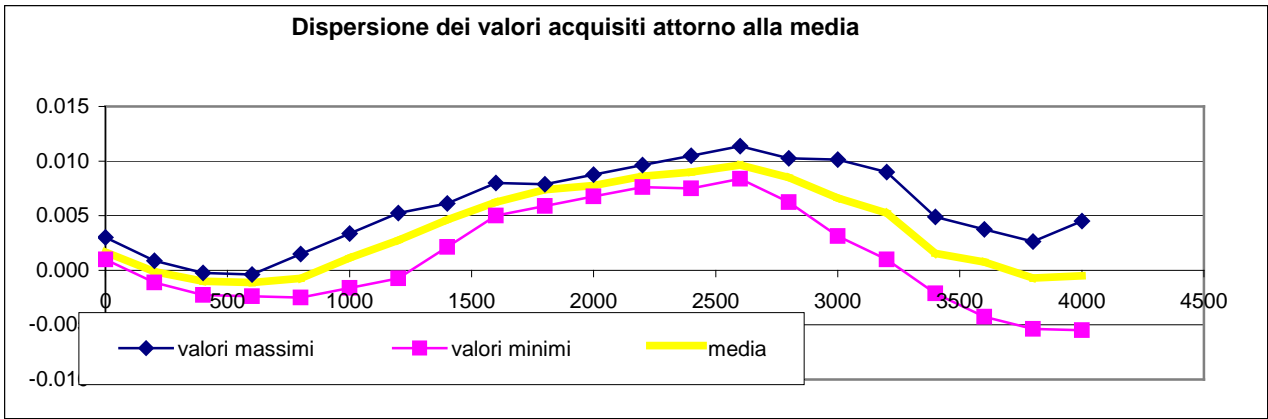
#### 5. Media

Nel grafico è riportato il valore medio dei valori misurati



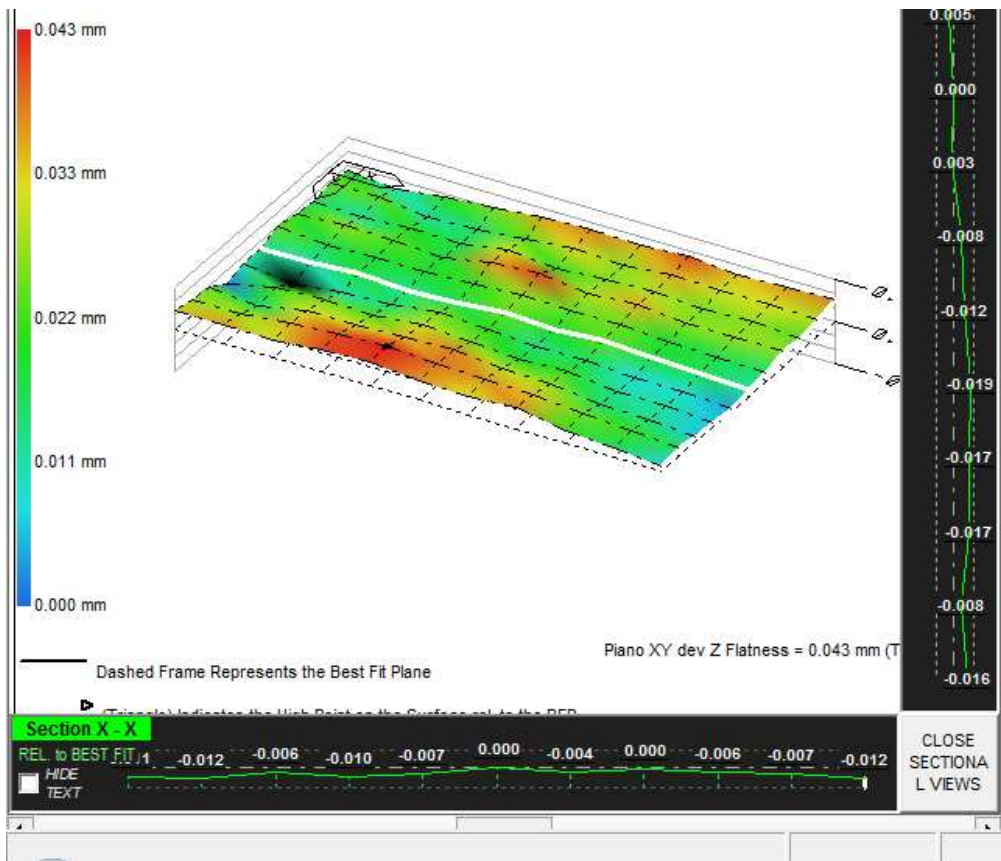
#### 6. Dispersione

La dispersione rappresenta il Massimo errore che si può fare facendo una singola misura anziché fare prove multiple e mediare. In questo caso il massimo errore è 5 millesimi di millimetro, la media di questi errori è 0,002 mm . La quasi perfetta simmetricità della distribuzione dei valori conferma la ragionevolezza dei valori medi.

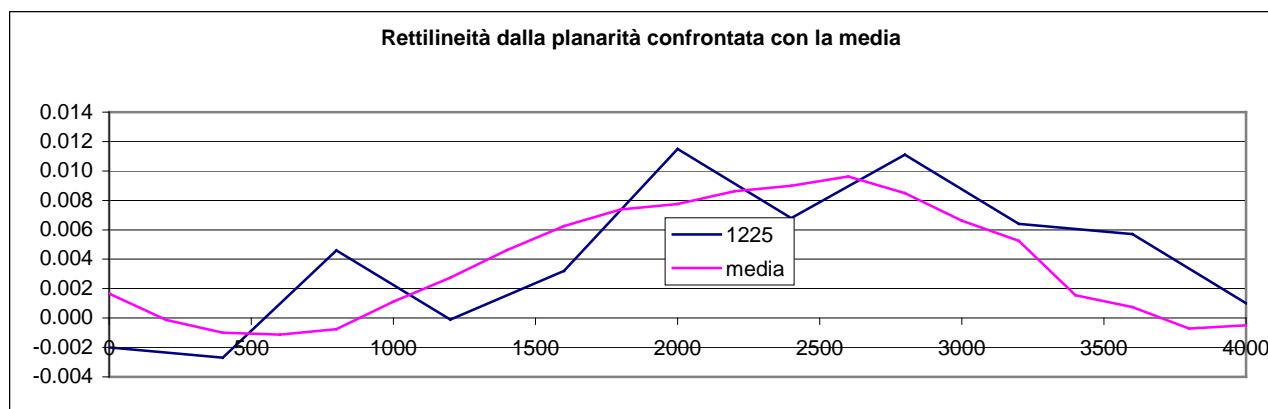


### 7. Confronto con la misura di planarità

La misura di planarità contiene anche la misura di rettilineità della zona centrale come eseguita singolarmente nelle prove da 01 a 04 . Il software Plane 5 la rende visualizzabile ed esportando i dati è possibile il confronto. Qui di sotto la rettilineità evidenziata in un settore.



Il confronto con la media evidenzia una differenza massima di 0,005 mm, visibile nel grafico qui sotto



## 8. Analisi della ripetibilità

La rettilineità misurata con i valori validi di tutte le prove risulta essere  $0,011 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ .

Assumendo una distribuzione normale ed un livello di fiducia  $p$  del 99% ( $2S$ ), lo scarto tipo risulterebbe pari a  $0,008 \text{ mm}$ : si tratta di un valore molto ridotto considerando le condizioni di prova e la distanza tra il laser ed il punto di misura più lontano, pari a circa  $6 \text{ m}$ . *NOTA: Occorre comunque ricordare che l'analisi è realizzata su un campione molto piccolo.*

## 9. Calcolo dell'incertezza

Calcolando l'incertezza secondo il documento di informazione tecnica per il calcolo dell'incertezza su misure di planarità e rettilineità abbiamo

### Rettilineità X, distanza tra emettitore e ricevitore pari a $6 \text{ m}$ e angolo inferiore a $90^\circ$

$u_S = 3 \text{ } \mu\text{m}$  (Componente dovuta all'errore strumentale)

$u_R = 2 \text{ } \mu\text{m}$  (Componente dovuta alla rifrazione considerando  $1,5^\circ\text{C/m}$  di gradiente termico verticale)

$u_{RIP} = 2 \text{ } \mu\text{m}$  (ipotizzato) (componente dovuta alla ripetibilità)

$u_c = \sqrt{3^2 + 2^2 + 2^2} = 4,1 \text{ } \mu\text{m}$  (incertezza composta)

### Calcolo dell'incertezza estesa:

Utilizzeremo un fattore di copertura  $k = 2$  per un livello di confidenza pari a circa 95% quindi:

$$U = 2 \cdot u_c = \pm 8,2 \text{ } \mu\text{m}$$

## 9. Conclusioni

L'analisi comparativa dei grafici dei risultati mostra una notevole consistenza tra le 5 misurazioni ripetute nonostante alcuni punti siano da non prendere in considerazione. I grafici sono, agli effetti pratici, sovrapponibili, soprattutto le misure 3 e 4 che non hanno avuto problemi durante l'acquisizione dei dati, differiscono tra di loro di  $0,003 \text{ mm}$  e solo  $0,002 \text{ mm}$  dalla media.

L'uso dei ventilatori rende i fenomeni atmosferici più veloci rendendo le medie più efficaci e permettendo la possibilità di ridurre il numero delle prove su cui mediare.

I Valori misurati e verificati rispecchiano pienamente le aspettative teoriche, l'incertezza composta è stato calcolato  $0,0041$  e abbiamo riscontrato nella pratica  $0,005 \text{ mm}$ , mentre i valori estremi con confidenza 99% coincidono in  $0,008 \text{ mm}$ .

Il confronto con la misura indipendente di planarità è positivo perché i valori riscontrati, come differenza rispetto al valore medio, sono all'interno della fascia di incertezza teorica calcolata.

Si conclude quindi che le misure fatte sono rappresentative della corsa della macchina in oggetto e che aumentando il numero dei campionamenti si riduce drasticamente l'influenza delle cause di disturbo. Constatato che nessun punto, nelle misure raccolte, supera i 5 millesimi di millimetro dalla media si ritiene che anche una sola corsa sia significativa nel caso le tolleranza richiesta sia all'interno di  $\pm 0,005\text{mm}$ .

#### Riferimenti e Bibliografia

- 1- ISO 230- Parte 1 Precisione geometrica delle macchine utensili (E-SC Sett. 2009).
- 2- UNI GUM- Guida all'espressione dell'incertezza di misura (Giugno1997)
- 3- Incertezza sulla misura di planarità e rettilineità con laser a scansione (R. Ottone, G. Liotto, Gennaio 2009)
- 4- Large Scale Metrology, an update ( NIST Febr 2002)
- 5- Uso dei ventilatori per ridurre il disturbo dell'aria nelle misure di rettilineità con laser. (G. Liotto Genn. 2010)