

Misura della caduta dell'asse RAM e della inclinazione della colonna in un centro di lavoro Verticale con il solo utilizzo di un interferometro per misura di spostamento.

Gianmarco Liotto Optodyne Laser Metrology optodyne@optodyne.it
 Ivo Battaglin, RIMM Service rimmservice@alice.it

Sunto

In questo articolo si descrive la misura ed il calcolo della flessione dovuta alla gravità di un asse sporgente (RAM) con l'uso di un interferometro e le sole misure di spostamento in modo semplice e veloce e senza limitazioni di lunghezza. Si è anche misurato in modo diretto l'errore dovuto all'utilizzo di utensili o teste che lavorano lontano dall'asse di movimento orizzontale. Verranno analizzati gli errori di posizionamento e calcolati gli errori angolari e di rettilineità, l'incertezza di misura e il tempo necessario ad effettuarla.

1. Introduzione

Nelle macchine utensili a colonna verticale e RAM orizzontale ci si trova ad affrontare il problema della caduta degli assi che provocano spostamenti angolari variabili con conseguente errore sul posizionamento e postura dell'utensile al variare, sia della posizione dell'asse che della lunghezza utensile. Questi errori sono difficilmente misurabili con i metodi tradizionali di tipo geometrico e soprattutto è difficile misurarli per tutta l'estensione della corsa sia in termini di tempo impiegato che per l'uso di manufatti di riferimento. Il metodo proposto utilizza un laser per misura interferometrica utilizzato misurando spostamenti dello stesso asse in posizioni diverse di altezza.

La tecnica utilizzata è quella di misurare lo stesso spostamento dell'asse Z in posizioni diverse rispetto all'asse verticale e calcolare l'errore detto di Abbe o errore di seno, ovvero la differenza di percorso di due punti di un oggetto rigido sottoposto anche ad uno spostamento angolare durante il movimento lineare. Nel caso pratico, essendo l'asse sottoposto alla forza di gravità e non potendo quindi percorrere una traiettoria perfettamente rettilinea, il punto che dista D (o ΔY) dall'asse di riferimento subirà una variazione di percorso ΔZ proporzionale all'angolo di rotazione τ e alla sua distanza ΔY dall'asse di riferimento.

$$\Delta Z = \tau \cdot \Delta Y \quad (1)$$

dove ΔZ è l'errore rispetto al riferimento τ è l'angolo in radianti ΔY la distanza dal riferimento.



Nel caso specifico ci troviamo a misurare la stessa deviazione in Z a posizioni differenti di altezza, cioè con posizioni di Y differenti come di seguito.

2. Descrizione delle Misure

La misura è stata effettuata in 3 fasi:

2.1 Prima misura: Il laser è stato posizionato su di un supporto di fronte alla macchina e il suo raggio allineato parallelo al movimento dell'asse Z per mezzo dello specchio di allineamento. Un retroriflettore posto sulla parte frontale del RAM, in prossimità del mandrino, viene illuminato dal raggio laser. L'asse Z ovvero il RAM è stato posizionato in una posizione di Y (Y1, posizione verticale) che chiamiamo Alta, la posizione esatta viene letta sul pannello del CN ed annotata. Viene quindi effettuata una misura di posizionamento a passi su tutta la corsa di spostamento dell'asse Z. Il layout della misura e i risultati di questa misura sono rappresentati nella foto e nel diagramma seguente.

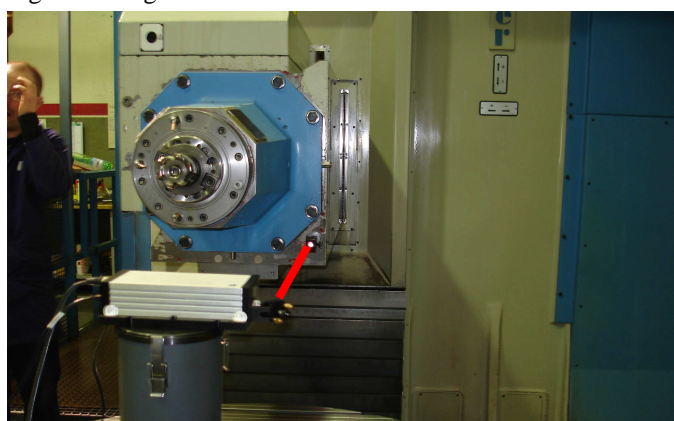


Fig.1 Misura dell'errore di posizionamento nella posizione Alta, sia l'asse che il laser sono nella posizione di Y più alta

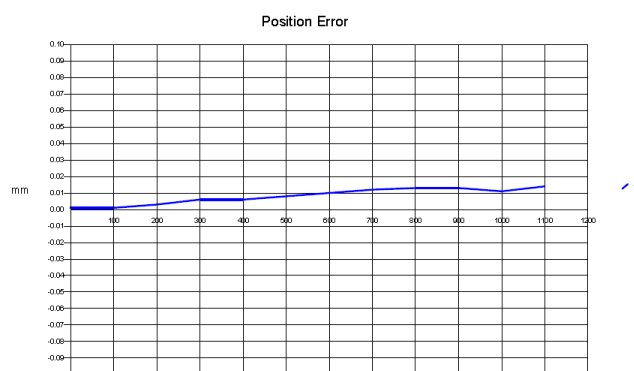


Fig.2 Diagramma di misura della precisione di posizionamento lineare nella posizione Alta. Sono stati misurati 1100 mm con passo 100mm

L'errore di posizionamento lineare, corretto dal software per essere normalizzato a 20°C su di una corsa di 1100mm è di 0,014 mm al punto a 1100mm.

2.2 Seconda misura:

Il Laser viene riposizionato in una posizione ad una quota Y inferiore che chiameremo Bassa tale che il raggio laser illumini il retroriflettore, che non è stato spostato dalla posizione della misura precedente, e il raggio allineato parallelo al movimento Z. La quota di posizionamento sull'asse Y (Y2) viene annotata. Si effettua quindi una misura di errore di posizionamento lineare a passi, esattamente come nella misura precedente, stessa corsa e stesso numero di passi. Il layout della misura e i risultati di questa misura sono rappresentati nella foto e nel diagramma seguente.

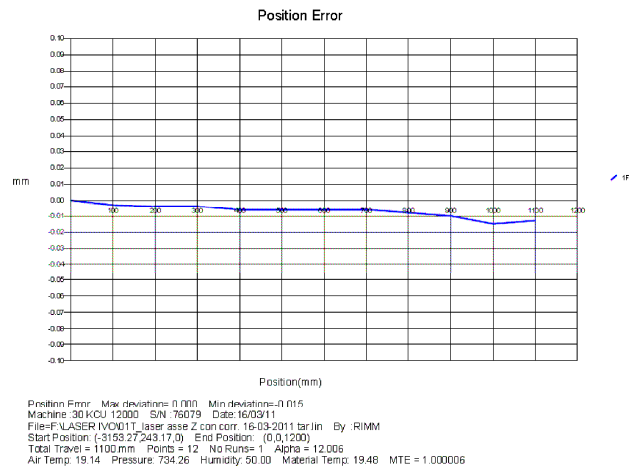
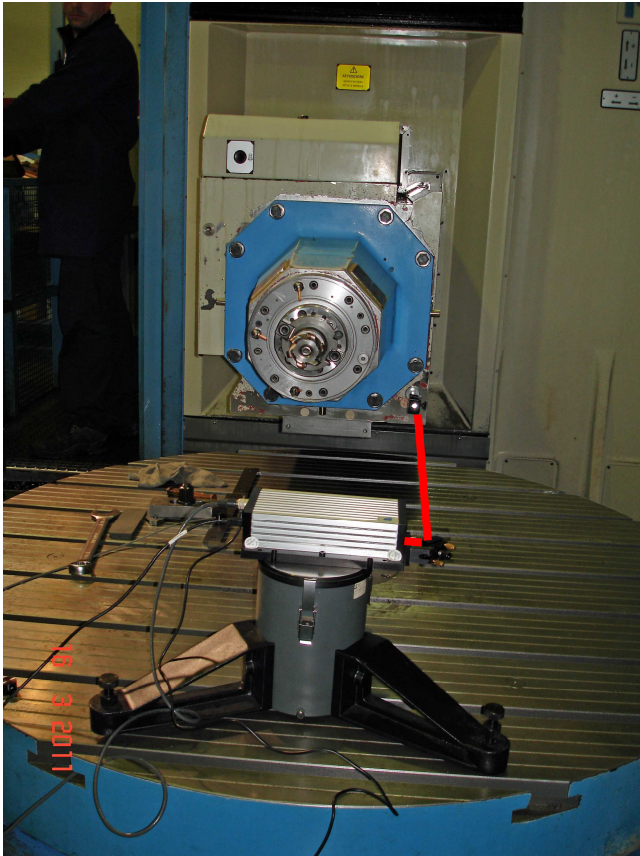


Fig.2 (sopra) Diagramma di misura della precisione di posizionamento lineare nella posizione Bassa. Sono stati misurati 1100 mm con passo 100mm

Fig.3 (a sinistra) Misura dell'errore di posizionamento nella posizione Bassa, sia il laser che la macchina sono nella posizione Y più bassa

L'errore di posizionamento misurato nella posizione 1100mm è ora -0,012 mm una deviazione di 0,026mm con uno spostamento dell'asse di 350mm. 74 micro radianti o 74 micrometri per metro.

2.3 Terza Misura:

Il Laser viene lasciato nella posizione della seconda misura mentre l'asse viene spostato in alto nella posizione della prima misura. Al retroriflettore viene attaccato ad una asta distanziale della lunghezza pari alla distanza (D) tra le posizioni alta (Y1) e bassa (Y2) dell'asse RAM e illuminato dal raggio laser. Il laser non è stato spostato ed è quindi ancora allineato parallelo al movimento di Z. Si ripete quindi la misura di errore di posizionamento lineare a passi, esattamente come nelle misure precedenti, stessa corsa e stesso numero di passi. Il layout della misura e i risultati di questa misura sono rappresentati nella foto e nel diagramma seguente.



Fig.5 Misura dell'errore di posizionamento con sbraio. Il laser è nella posizione Bassa, mentre la macchina è nella posizione Alta. Il retroriflettore è collegato con una barra di estensione alla macchina.

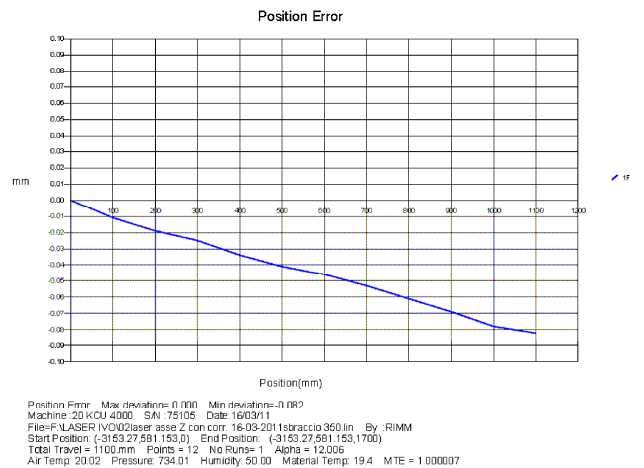


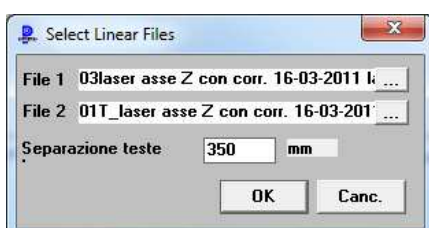
Fig.4 Diagramma di misura della precisione di posizionamento lineare con sbraio. Sono stati misurati 1100 mm con passo 100mm

L'errore di posizionamento misurato con il retroriflettore distante 350mm dal è di -0,082mm che sommato all'errore misurato alla misura 1 (pos. Alto) di 0,014mm è di - 0,096 mm.

4. Calcolo ed analisi dei dati raccolti

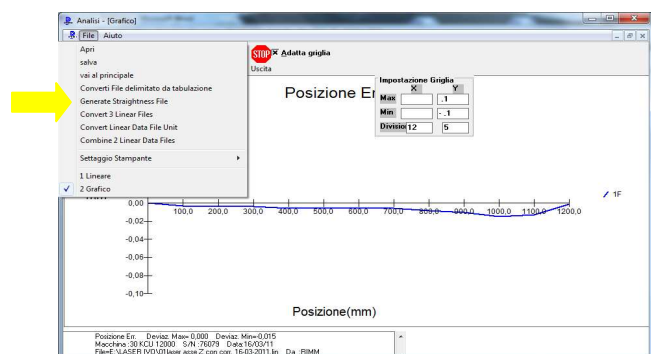
4.1 Software di analisi

Per analizzare i dati derivati dalle misure è stato utilizzato il software del laser, Optodyne LDDM che facilmente trasforma i dati di due misure lineari, acquisite ad una distanza trasversale in una singola misura di angolo e rettilineità come se fosse stata acquisita da due sistemi laser contemporaneamente (Optodyne MCV-5000) oppure da un laser a doppio raggio (Optodyne MCV2002). Si procede come segue: si analizza il primo file acquisito con il software LDDM fino ad ottenere il grafico di errore, selezionare dal menù



“File” :
 “generate

straightness file” (fig8) ed apparirà una finestra di dialogo (Fig7), inserire i files della misura di riferimento e quello della misura distanziata, indicare la distanza tra le due misure e premere OK. Il software genererà un file con estensione “.str” che letto dallo stesso software di analisi permette di visualizzare e calcolare l'errore angolare e la rettilineità di movimento.



4.2 Caduta Colonna

Analizzando i dati raccolti con la prima e la seconda misura, l'errore di posizionamento nella posizione bassa e nella posizione alta. Come prima cosa i due file misurati vengono combinati come visto in precedenza ed il file generato viene analizzato calcolando l'angolo di beccheggio che in questo caso è dovuto principalmente alla spostamento della colonna dovuto al peso dell'asse RAM quando si sbraccia.

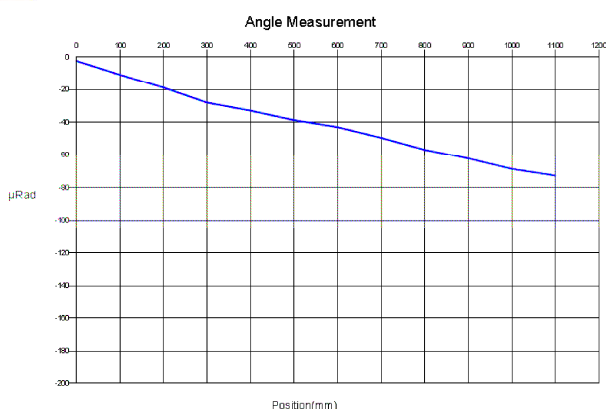
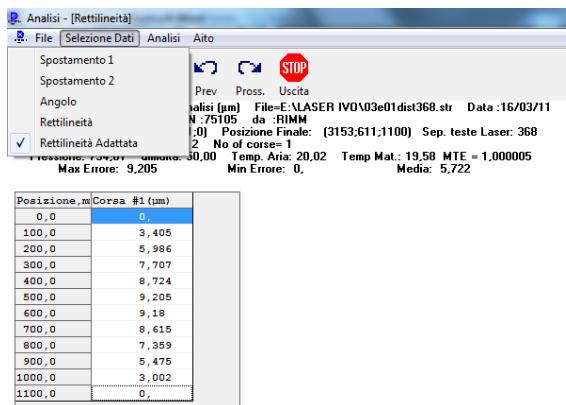


L'unità di misura è stata scelta in micro Radianti, che è equivalente all'unità micro metri per metro, che permette un semplice calcolo degli errori.

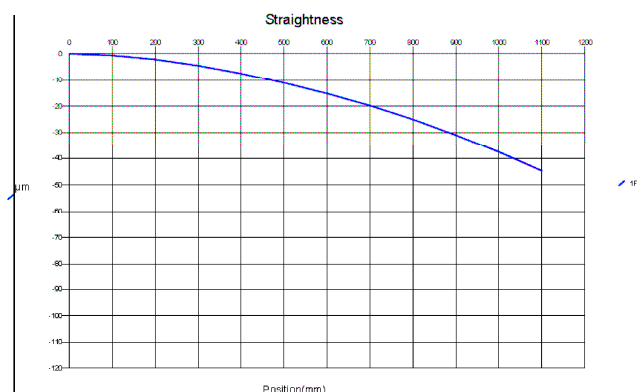
Successivamente si può selezionare "Rettilinearità" e quindi visualizzeremo il grafico dello spostamento in avanti dovuto alla caduta della colonna.



Il valore dello spostamento che è ipotizzato dal modello software, che non conosce il punto esatto di fulcro su cui si muove la meccanica, potrebbe non essere esatto.



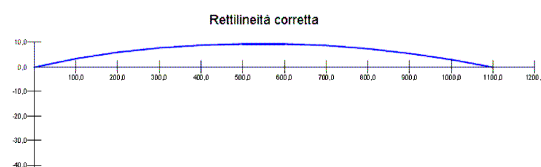
Angle Measurement Max deviation=2,3 Min deviation=-72,7
 Machine: 20 KCU 4000 S/N: 75105 Date: 16/03/11
 File: F:\LASER IVO\03e01dist368.str By: RIMM
 Start Position: (3153,611,0) End Position: (3153,611,1100) Laser Head Sep: 368
 Total Travel = 1100 mm Points = 12 No Runs = 1 Alpha = 12,006
 Air Temp: 20,02 Pressure: 734,01 Humidity: 50,00 Material Temp: 19,58 MTE = 1,000005



Straightness Max deviation=0 Min deviation=-44,645
 Machine: 20 KCU 4000 S/N: 75105 Date: 16/03/11
 File: F:\LASER IVO\03e01dist368.str By: RIMM
 Start Position: (3153,611,0) End Position: (3153,611,1100) Laser Head Sep: 368
 Total Travel = 1100 mm Points = 12 No Runs = 1 Alpha = 12,006
 Air Temp: 20,02 Pressure: 734,01 Humidity: 50,00 Material Temp: 19,58 MTE = 1,000005

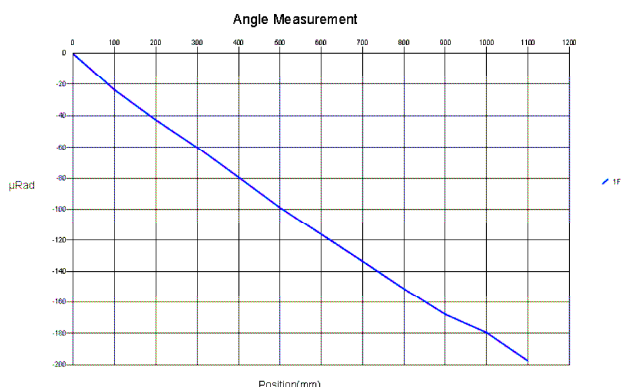


La selezione successiva sarà la rettilinearità adattata, cioè con i valori estremi riportati a zero. Nel caso specifico la rettilinearità del movimento del RAM, senza una eventuale compensazione elettronica di caduta, che non verrebbe visualizzata.

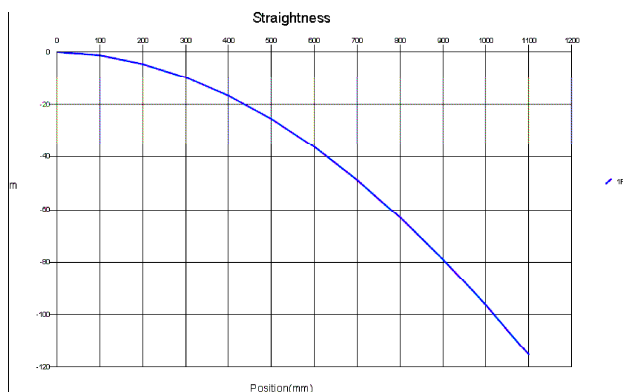


4.3 Caduta RAM

La caduta dell'asse RAM viene evidenziata dall'analisi delle misure raccolte con la prima misura con laser e RAM in posizione Alta confrontate con la terza misura, Laser in posizione Bassa e RAM in posizione ALTA, con l'utilizzo di una barra di estensione per il retroriflettore. Per prima cosa si procede con la combinazione delle due misure come spiegato in precedenza poi si analizza l'angolo di beccheggio e la rettilinearità.



Angle Measurement Max deviation=0,3 Min deviation=-197,6
 Machine: 30 KCU 12000 S/N: 76079 Date: 16/03/11
 File: F:\LASER IVO\01e02 dist350.str By: RIMM
 Start Position: (-3153,27,243,17,0) End Position: (0,0,1200) Laser Head Sep: 360
 Total Travel = 1100 mm Points = 12 No Runs = 1 Alpha = 12,006
 Air Temp: 19,14 Pressure: 734,26 Humidity: 50,00 Material Temp: 19,48 MTE = 1,000006



Straightness Max deviation=0 Min deviation=-115,258
 Machine: 30 KCU 12000 S/N: 76079 Date: 16/03/11
 File: F:\LASER IVO\01e02 dist350.str By: RIMM
 Start Position: (-3153,27,243,17,0) End Position: (0,0,1200) Laser Head Sep: 360
 Total Travel = 1100 mm Points = 12 No Runs = 1 Alpha = 12,006
 Air Temp: 19,14 Pressure: 734,26 Humidity: 50,00 Material Temp: 19,48 MTE = 1,000006



Si deve notare che gli errori di posizionamento dovuti al cedimento della colonna sono comuni alla misura effettuata con il prisma retroriflettore sulla faccia frontale del RAM e quella effettuata con uno sbraccio e quindi si cancellano a vicenda.

5. Utilizzo pratico dei dati raccolti

Si può facilmente notare che gli scostamenti dovuti alla flessione della colonna sono nettamente inferiori a quelli della caduta del RAM. Gli effetti di caduta dei due assi si sommano sul naso mandrino. L'effetto di caduta rispetto al piano di gravità viene facilmente compensato con la compensazione incrociata presente sulla maggior parte dei controlli numerici moderni, oppure può essere compensata meccanicamente da sistemi di lavorazione non rettilinea o spostamenti meccanici che variano la perpendicolarità, tendendo a mantenere la punta dell'utensile su di una linea orizzontale mentre si sbraccia l'asse. Più difficile o impossibile è invece compensare gli effetti di uno sbraccio perpendicolare al movimento, per esempio teste a 90° con l'utilizzo di utensili più o meno lunghi. Nel caso specifico un utensile di foratura di 300mm di lunghezza può commettere un errore di 0,1 mm con una corsa prossima al metro mentre non commette errori sensibili quando è rivolta orizzontalmente.

6. Errori di misura

La precisione delle misure è limitata dalla ripetibilità della macchina e dalla precisione della separazione delle misure (Abbe offset). Per esempio con una macchina con ripetibilità di 3 µm e Abbe offset di 600 mm la precisione della misura angolare è $0,003/600 = 0,000005$ rad (5 µm/m) o 1 secondo di arco che è buona per la maggior parte delle applicazioni.

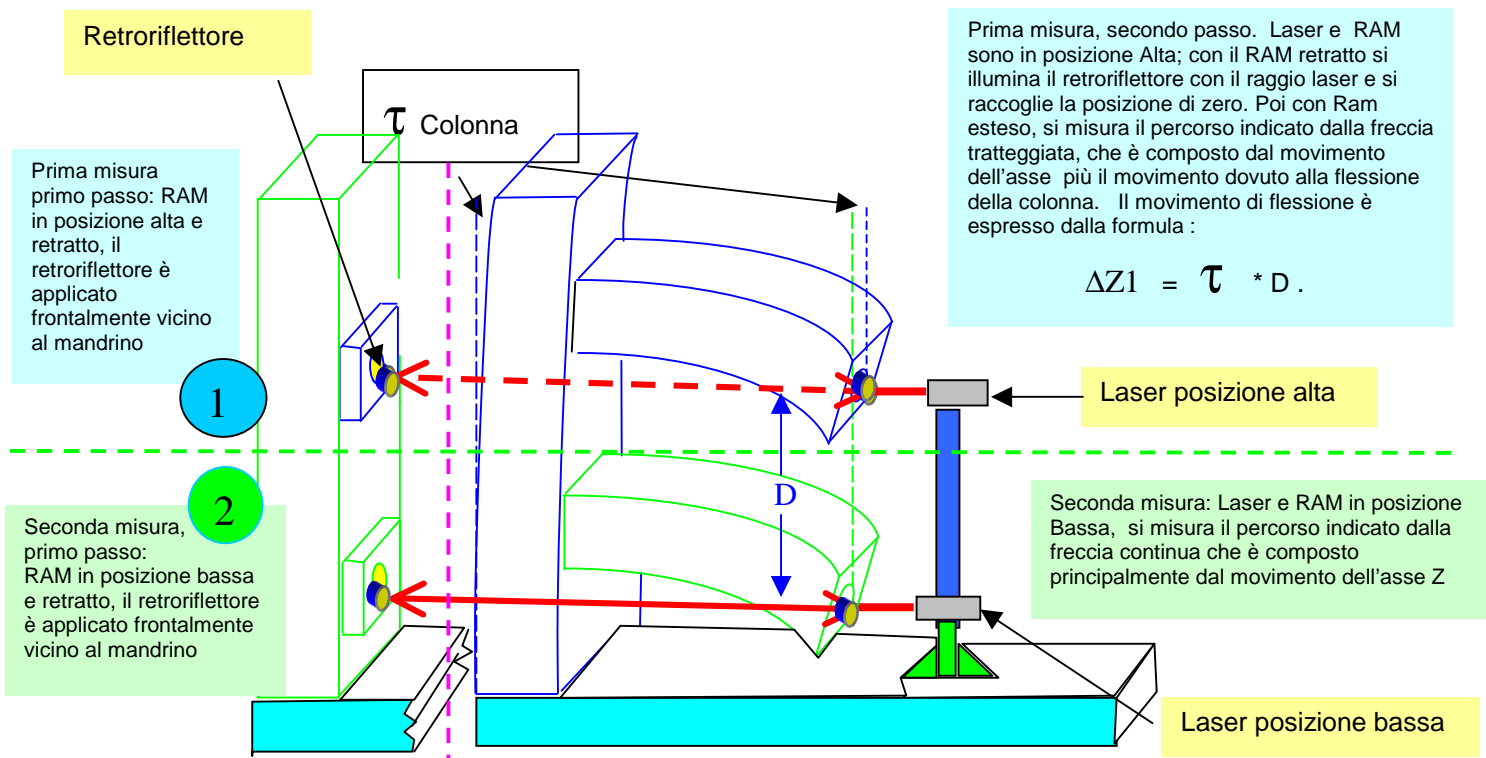
7. Tempo necessario per l'effettuazione della misura

1- Setup del Laser , allineamento delle ottiche e riscaldamento, accensione PC, collegamento e inizializzazione del programma, scrittura del Part Program di misura e trasferimento sulla macchina, prova del part program	20 minuti	
2- Esecuzione prima misura a passi 11 passi con 5 secondi di fermata	1 minuto	
3-Spostamento del laser nella posizione inferiore, spostamento dell'asse nella posizione inferiore, riallineamento laser	3 minuti	
4- Esecuzione della seconda misura		1 minuto
5- Spostamento dell'asse nella posizione superiore, posizionamento retroriflettore con estensione.	2 minuti	
6- Analisi dati e Generazione dei files di Angolo	10 minuti	
7-Varie non calcolate		15 minuti
	Totale	42 minuti

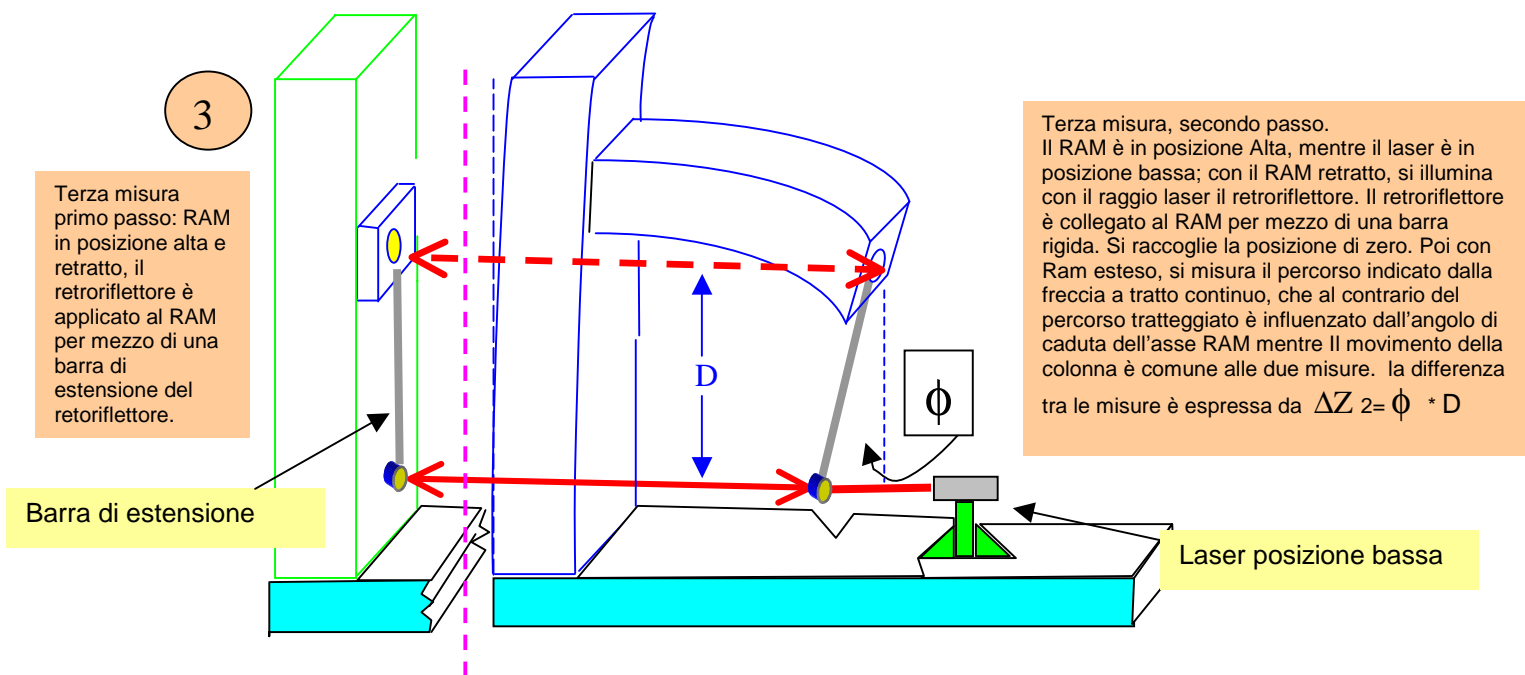
Il tempo totale per il set di 3 misure necessarie per la misura del posizionamento, degli angoli di caduta ed il calcolo della caduta della colonna e della caduta dell'asse RAM e della rettilineità dell'asse RAM è inferiore ad un'ora.

8. Schematizzazione delle fasi di misura

degli errori e dei movimenti di caduta, dovuti alla gravità, del RAM e della colonna mediante tre misure di spostamento effettuate a due altezze diverse



la figura schematizza le quattro fasi delle due misure di posizionamento dell'asse Z ad altezze diverse



la figura schematizza le due fasi della misura di posizionamento dell'asse Z con sbraccio confrontata alla misura rilevata precedentemente con laser e RAM in posizione alta.

Riferimenti

1. C.P. Wang, "Laser Doppler Displacement Meter" Lasers and Optronics, 6 (No.9), pp. 69-71, September 1987.
2. C.P. Wang, "Abbe Error and its Effect on Position Accuracy of an X/Y Table" Motion, 5 (No. 6). Pp. 19-22, November/December 1989.
3. Charles Wang and Gianmarco Liotto, "Measurement of 18 positioning errors Using a simple laser Doppler displacement meter", International Symposium on Precision Mechanical Measurements.(ISPMM'2004) Aug. 24~28, 2004,Beijing. China
4. Optodyne, Nota applicativa AP1109