

MISURA DEGLI ERRORI GEOMETRICI DINAMICI E DI POSIZIONAMENTO
NELL'INTERO VOLUME DI LAVORO
DEL CENTRO JOBS-LINKS COMPACT 5 ASSI

Gianmarco Liotto

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

Sunto

Per ottenere una migliore precisione di posizionamento di una macchina utensile è importante la misura dell'errore volumetrico, che ingloba gli errori di posizionamento lineare, gli errori geometrici di rettilineità e di perpendicolarità di tutti e tre gli assi e gli errori di deformazione o cedimento. La verifica del comportamento dinamico completa il quadro delle informazioni

I. Introduzione

Le prestazioni, o in altri termini la precisione di una macchina utensile CNC, sono commisurate agli errori lineari di posizionamento, agli errori di rettilineità, agli errori angolari ed agli errori di elasticità. Una misurazione completa di questi errori è molto lunga e complessa. La misurazione diagonale del corpo macchina è raccomandata dagli standard internazionali quali ISO 230-2 ed ASME B5.54 per una rapida verifica della precisione volumetrica. Questo perché la misura diagonale è sensibile a tutte le componenti di errore. Comunque se gli errori misurati eccedono le specifiche, con la semplice misura diagonale non si hanno sufficienti informazioni per identificare le sorgenti di errore ed effettuare la loro compensazione.

La caratterizzazione del movimento di una macchina è molto complessa. Per ogni asse di movimento, ci sono 6 gradi di libertà e quindi 6 errori: lineare in X, di rettilineità nelle direzioni Y e Z, angoli di rollio, beccheggio ed imbardata. Per una macchina a 3 assi ci sono 18 errori più 3 di quadratura totale 21 errori. La precisione di una macchina può essere migliorata con la misurazione di tutti questi errori e con la loro compensazione, a condizione che la macchina sia ripetibile.

II. CONCETTI BASE DELLA MISURA DIAGONALE

1. Misura diagonale

Il metodo di misura diagonale è raccomandato per un rapido esame delle prestazioni di posizionamento e di geometria della macchina in tutte le sue componenti. Si tratta di misurare lungo le 4 diagonali la precisione di posizionamento mediante un interferometro laser. Un riflettore viene applicato solidale al mandrino ed illuminato dal raggio laser che è stato allineato lungo la diagonale della macchina, per esempio dallo spigolo in basso a destra ($X=0$ $Y=0$ $Z=0$ denominato NNN) allo

spigolo in alto a sinistra (X_{max} , Y_{max} , Z_{max} , denominato PPP) del volume di lavoro della macchina. Viene misurata la posizione a zero e ad ogni incremento dei tre assi, che vengono mossi contemporaneamente per raggiungere la nuova posizione lungo la diagonale. La precisione della posizione di ogni posizione lungo la diagonale dipende dalla precisione di posizionamento dei tre assi, ma anche e soprattutto dalla geometria. Per cui è un buon metodo per verificare la precisione di una macchina, ma non fornisce sufficienti informazioni per determinare la sorgente degli errori.

3. Teoria

Per un approfondimento sulla teoria del metodo vettoriale, modello e formule rimandiamo alla seguente pubblicazione: Volumetric Error Measurement and Compensation using the Vector Method, Part 1: Basic Theory - Charles P. Wang - Optodyne, Inc. 1180 Mahalo Place Compton, CA90220 USA

tel 310-635-7481

Il documento può essere scaricato all'indirizzo WWW.OPTODYNE.COM

III. MISURE DI VERIFICA

1. Macchina misurata

L'intervento di misurazione è stato effettuato sulla macchina JOBS-LINKS COMPACT 5AX SN J996, presso lo stabilimento di Piacenza. Durante l'intervento durante il quale si è potuto misurare il modulo, sono anche stati messi a punto i programmi di movimentazione per l'allineamento del laser di misura e per la fase di misura e di controllo dei risultati.

2. Strumentazione utilizzata

In una misura diagonale convenzionale lo spostamento è una linea retta lungo la diagonale del corpo macchina. Nella misura diagonale convenzionale la traiettoria del bersaglio riflettore è una linea retta per cui è possibile usare un bersaglio catadiottrico che può tollerare uno spostamento laterale di 5mm. Si è utilizzato un laser a singolo raggio e singola apertura basato sull'effetto Doppler che può essere usato con uno specchio piano come bersaglio. Si può notare che con uno specchio piano come bersaglio, gli spostamenti paralleli allo specchio non spostano il raggio laser e non alterano la sua distanza dalla sorgente e quindi non influenzano la misura. Per cui viene misurato solo lo spostamento lungo la direzione del raggio laser e permessa una forte deviazione laterale del bersaglio. Lo specchio piano è stato utilizzato per effettuare le misure di coordinamento dinamico o Laser /Ballbar.

Il sistema di calibrazione Laser Doppler Displacement Meter (LDDM) OPTODYNE modello MCV500 è un laser interferometro di nuova generazione basato sull'effetto Doppler e a singolo raggio, per cui la luce riflessa dallo specchio bersaglio rientra nella stessa apertura dalla quale viene emessa. Il sistema è completato da uno specchio di rinvio per indirizzare il raggio in diagonale e da uno specchio come bersaglio. Per l'acquisizione automatica dei dati, il calcolo degli errori e la generazione delle tabelle di compensazione è stato usato il software Optodyne LDDM Versione 2.43

3. Effettuazione della misura

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 sulla tavola e per mezzo dello specchio di allineamento, il raggio è stato diretto lungo la diagonale. Lo specchio catadiottrico è stato montato sul mandrino, come illustrato nella figura 1. La macchina è stata programmata per muovere il mandrino partendo da uno spigolo per arrivare allo spigolo opposto. Sono state usate tutte le compensazioni di passo già inserite nel controllo numerico. Il raggio laser

è stato allineato parallelo alla direzione di movimento diagonale. La tolleranza tipica di allineamento è minore di 0,5 m Radianti o 0,5mm sulla distanza di 1metro.

4. Collezione ed analisi dei dati di precisione volumetrica

1. L'errore di posizionamento è stato misurato per mezzo di un laser Doppler (LDDM) a singola apertura. Sono state misurate la temperatura e la pressione dell'aria per compensare la variazione della velocità della luce, e la temperatura del materiale per la compensazione della espansione termica del materiale.
2. I dati sono stati acquisiti automaticamente dal software LDDM ad ogni fermata della macchina. I dati di errore sono stati analizzati per mezzo del software LDDM. Cliccando su *4-diagonal* nella sezione di analisi e richiamando i 4 file di dati errore sulle diagonali. Sono stati generati i grafici riassuntivi dell'errore volumetrico della macchina che sono riportati nella fig. 6.

Nota:Tutte le misure sono state effettuate nell'arco di una giornata

6. Errori di misura

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 :

Errore di allineamento dello specchio piano: dipende dall'angolo di disallineamento dello specchio e dalla lunghezza del passo. L'errore può essere abbastanza grande ma è costante e non cumulativo per cui viene rimosso dal software.

Errore dovuto all'errore angolare della macchina: Lo specchio di misura potrebbe non essere nel centro di rotazione della macchina e può generare un errore elevato. Si possono determinare gli angoli di rotazione cambiando le sequenze di misura aumentando leggermente la complessità della misura. I dati di rotazione eventualmente calcolati non possono comunque essere usati per la correzione dalla maggior parte di controlli per macchina utensile.

7. Budget di errore

Le variabili in gioco sono le seguenti:

Controllo temperatura	0,1°C
Controllo pressione	0,5 mBar
Corsa totale	4 m
Percorso morto	10 mm
Angolo di tilt (rotazione)	20 μ Radianti
Angolo di disallineamento	0,5 mRadianti
Coefficiente di espansione	12 μ / m / C°
Abbe offset	50mm
Errore di lunghezza d'onda laser	1 μm /m

Ne risultano quindi i seguenti errori:

Compensazione temp Aria	1ppm x 4m x 0,1 °C = 0,4 μm
Compensazione pressione Aria	0,3 ppm X4m X0,5mBar = 0,6 μm

Espansione materiale	$12 \mu / m / C^{\circ} \times 4m \times 0,1^{\circ}C = 4,8 \mu m$
Percorso morto	$1ppm \times 100 mm \times 0,1^{\circ}c = 0,01 \mu m$
Errore di Abbe	$0,05m \times 20 \mu \text{ Radianti} = 2 \mu m$
Errore di coseno	$0,5^2 \text{ mRad.} / 2 \times 4m = 0,5 \mu m$
Errore lunghezza d'onda	$1ppm \times 4m = 4 \mu m$

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

$$E = \sqrt{0,4^2 + 0,6^2 + 4,8^2 + 0,01^2 + 2^2 + 0,5^2 + 4^2} = 5,1 \mu m \quad \text{o } 1,3 \mu m/m$$

9 . Riferimenti e bibliografia

- 1-An American National Standard ASME B5.54-1992 (1992)
- 2-Charles P. Wang A Laser Vector measurement Technique ..., Part 1: Basic Theory Rev.Scientific Instrument-Oct. 2000 – (2000)
- 3-G. Liotto and C.P.Wang “ Laser Doppler Displacement Meter (LDDM) allow new diagonal measurement for large aspect ratio machine tool easily and accurately”, Proceedings of LAMDAMAP International Conference of Laser Metrology and Machine Performance, Huddersfield, West Yorkshire England, 15-17 Luglio, 1997

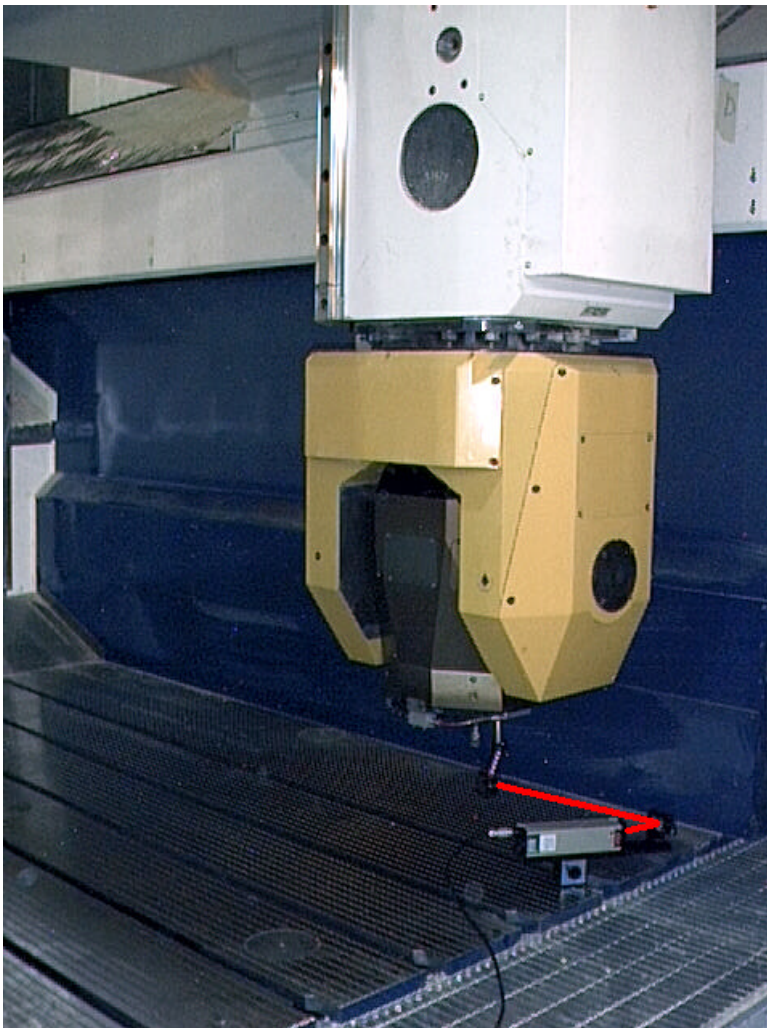


Fig 1-Macchina sotto misura con il laser sul pianale e lo specchio sul mandrino.

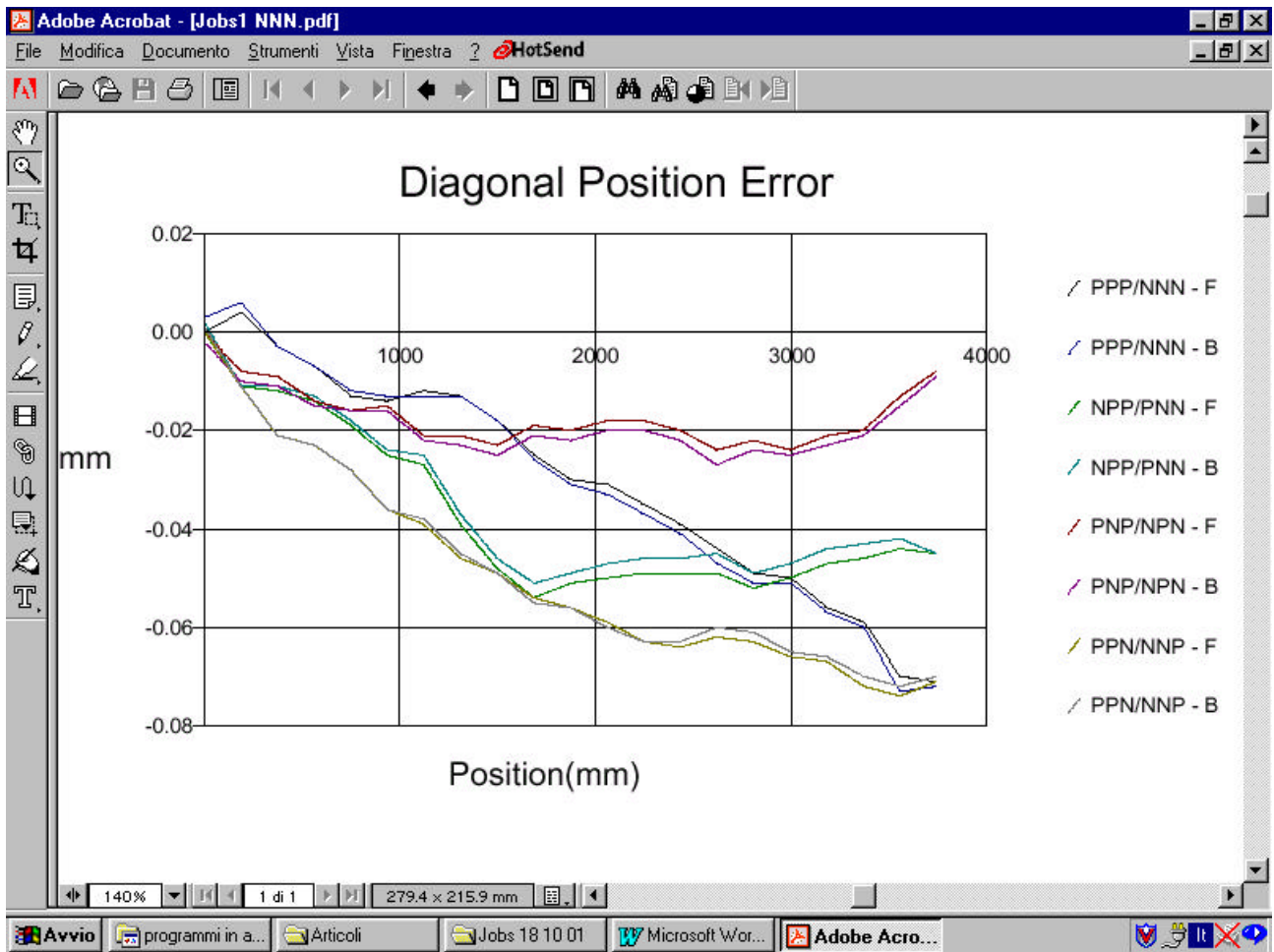


Fig 2 Errore di posizione Volumetrico

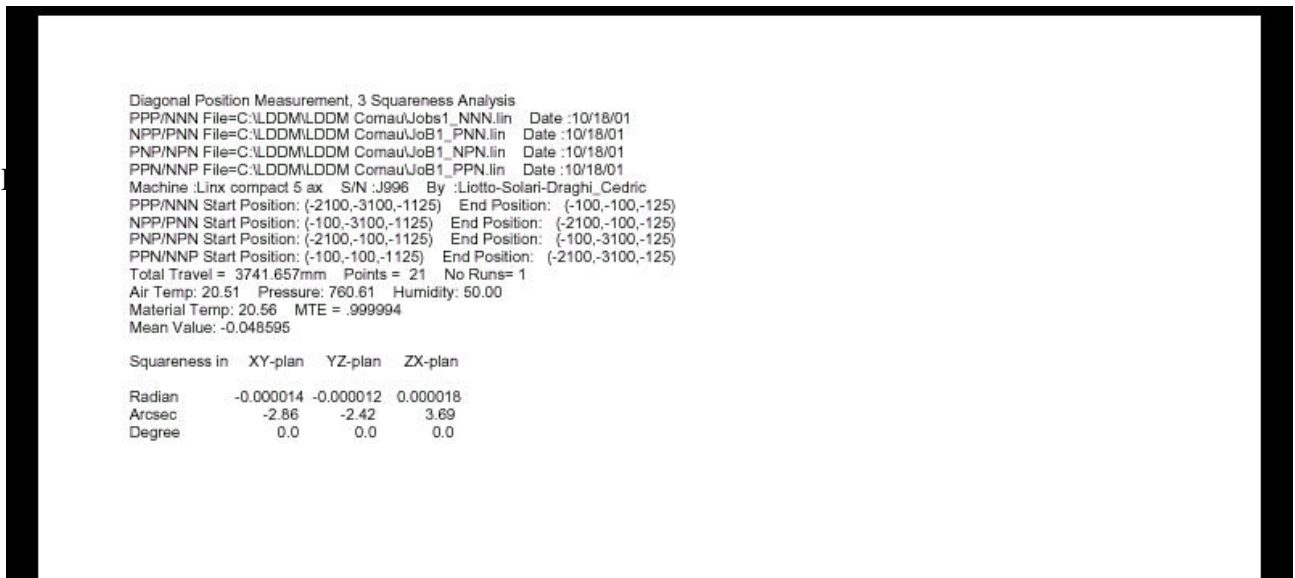


Fig. 3 Errore di squadra

dalla lunghezza delle diagonali viene ricavato con elevata precisione e su tutta la corsa l'errore di squadra

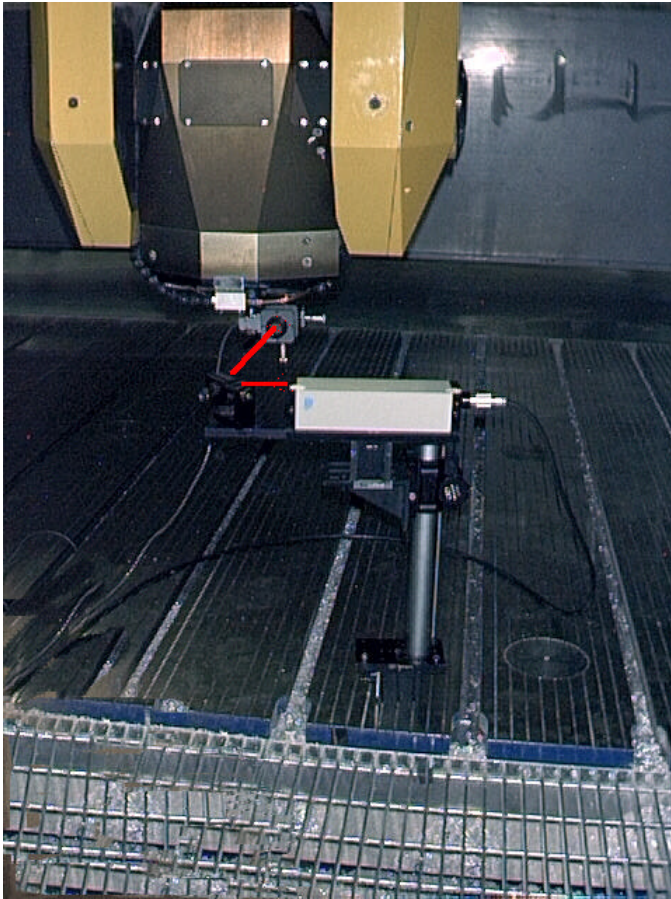
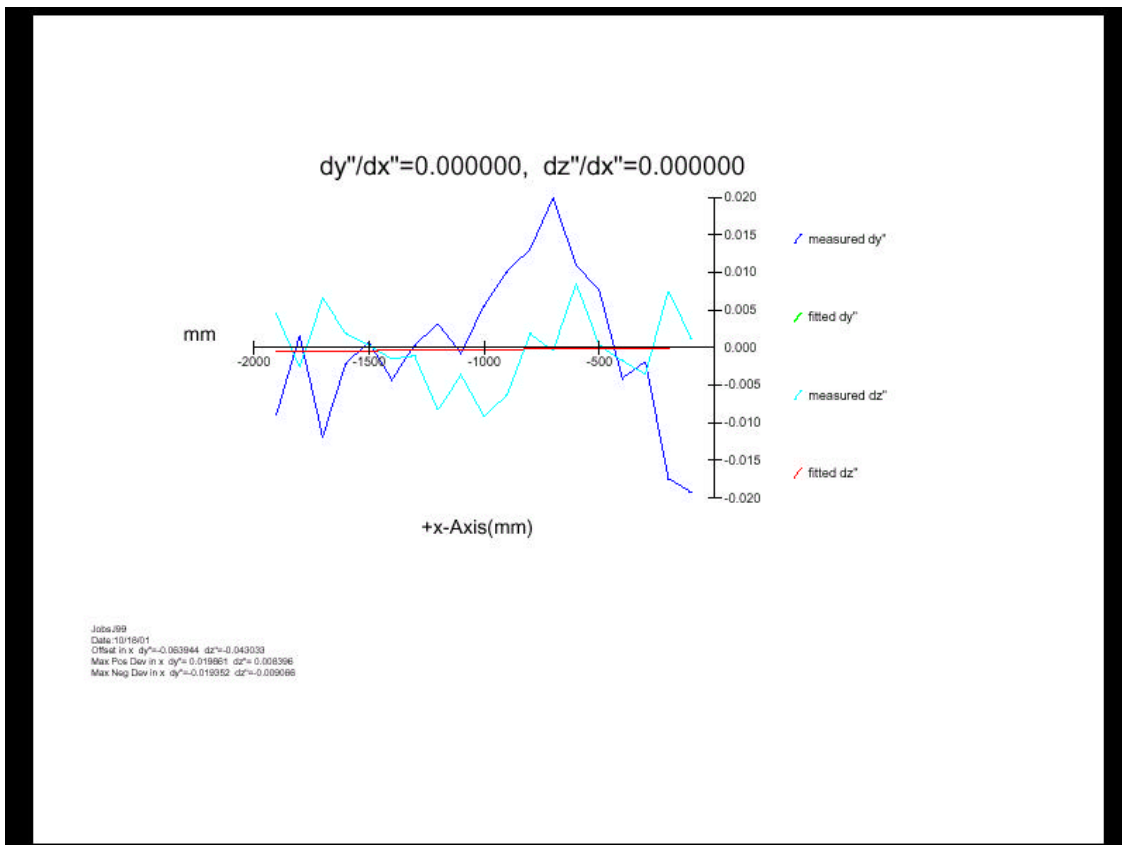


Fig 4 MISURA della
RETTILINEITA'
lungo l'asse X
nelle direzioni perpendicolari
Y e Z contemporaneamente.

Fig 5 sotto
GRAFICO DELLA RETTILINEITA'
Asse X deviazioni verso Y e Z



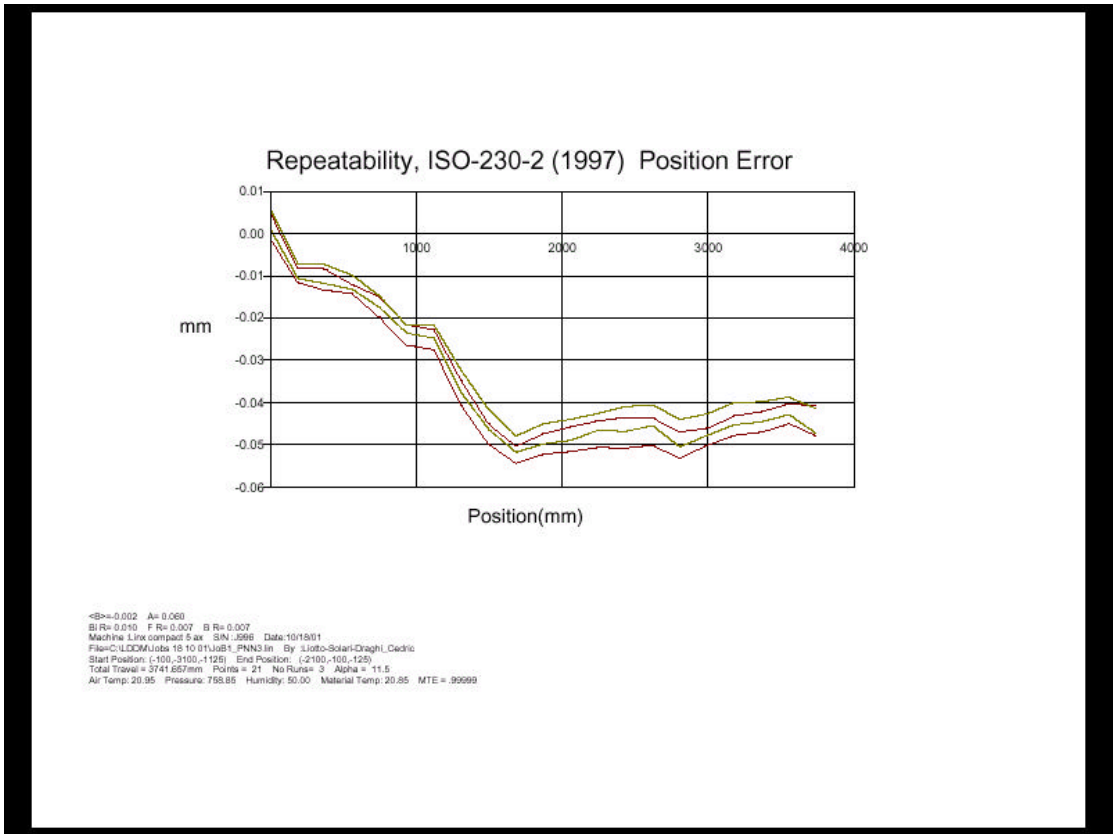
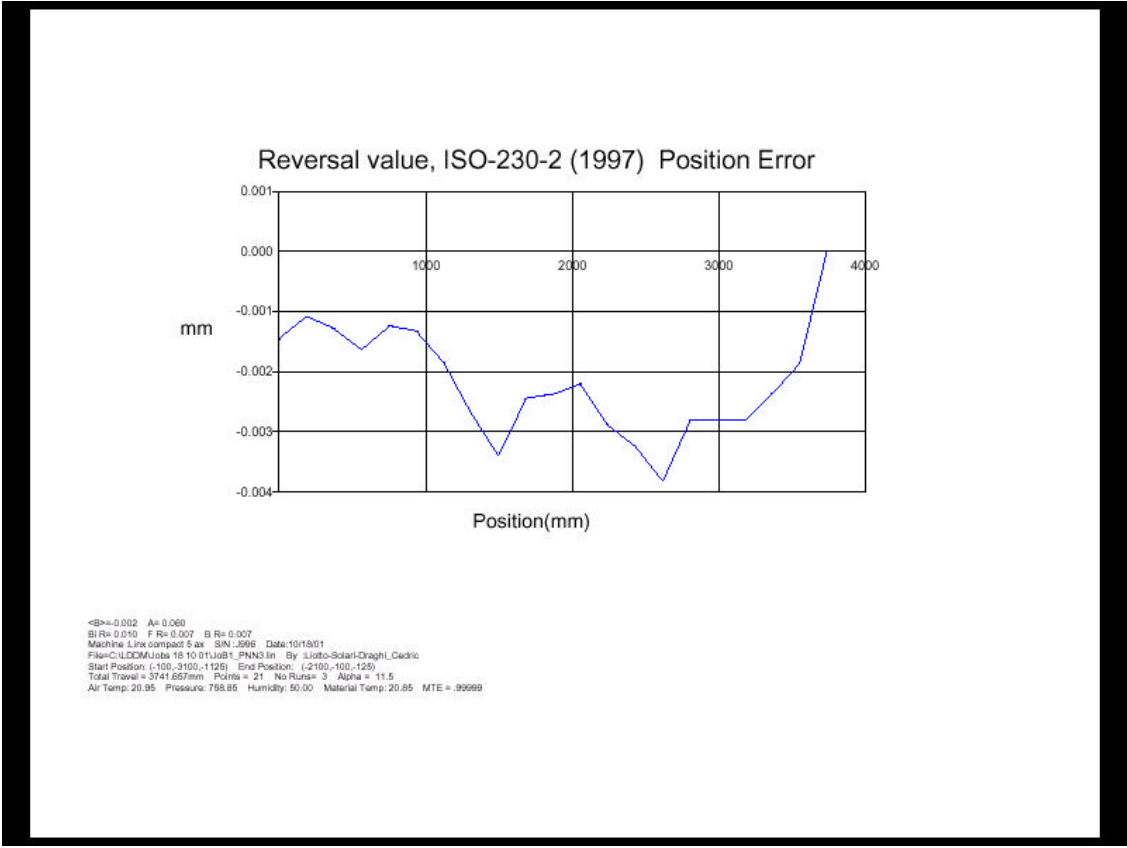


FIG 5A Misura statistica effettuata sulla diagonale PNN effettuata 3 volte in ogni direzione. ed analizzata secondo la ISO230 con deviazione 2 sigma.
 Fig 5B Errore di inversione lungo tutti punti della diagonale



MISURE DINAMICHE AD ECCITAZIONE SINUSOIDALE

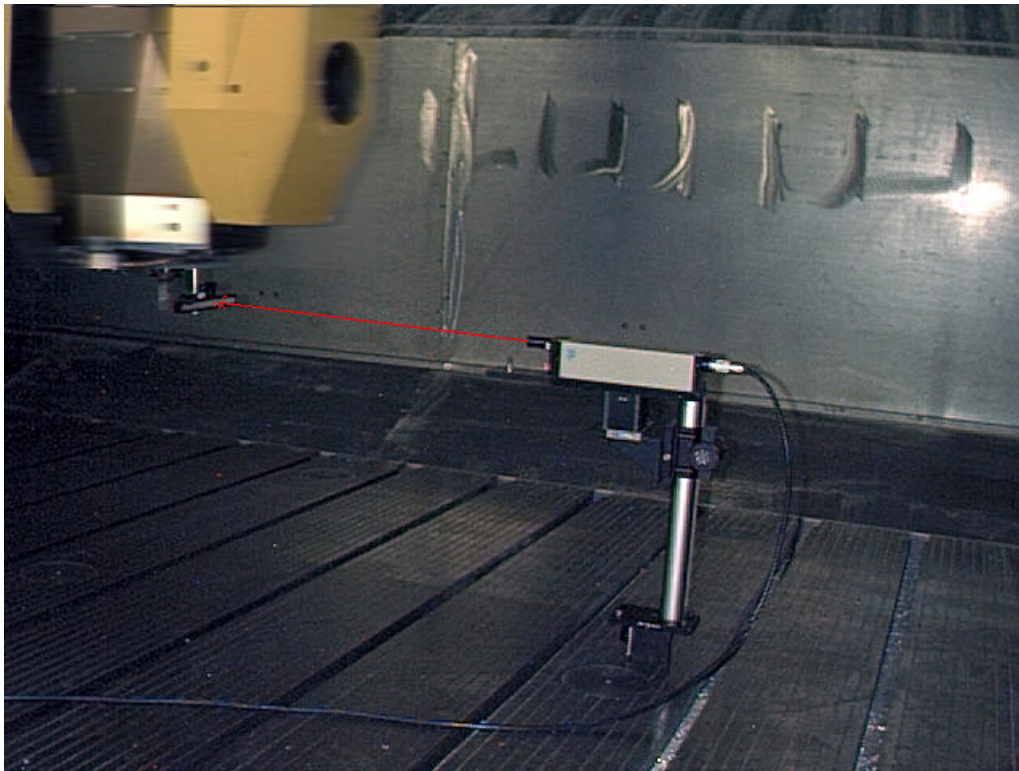
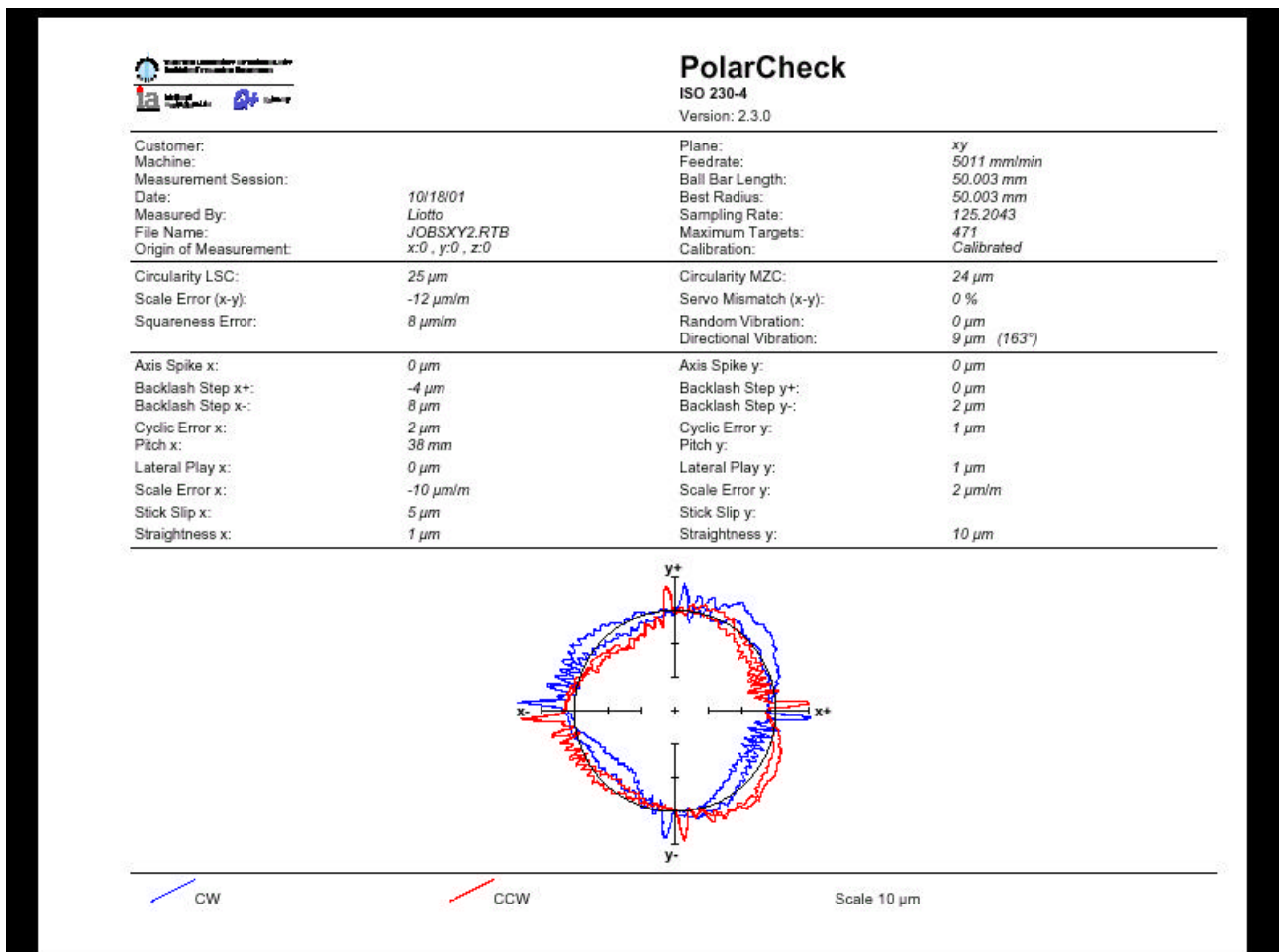


Fig 6 e7 Misura di interpolazione circolare Laser Ballbar sul piano XY velocità 50000 diam 50mm



GRAFICI DI ANALISI ARMONICA RELATIVI AD UNA ECCITAZIONE SINUSOIDALE
(misure effettuate con laser ballbar ed elaborate per errore dinamico)

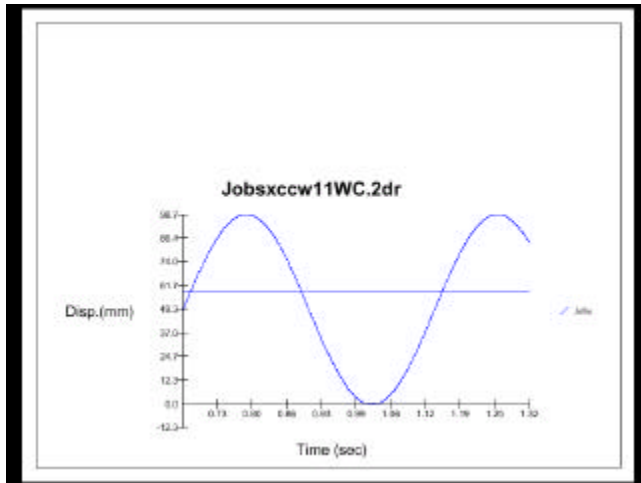


Fig.8 POSIZIONE
non si rilevano
distorsioni visibili

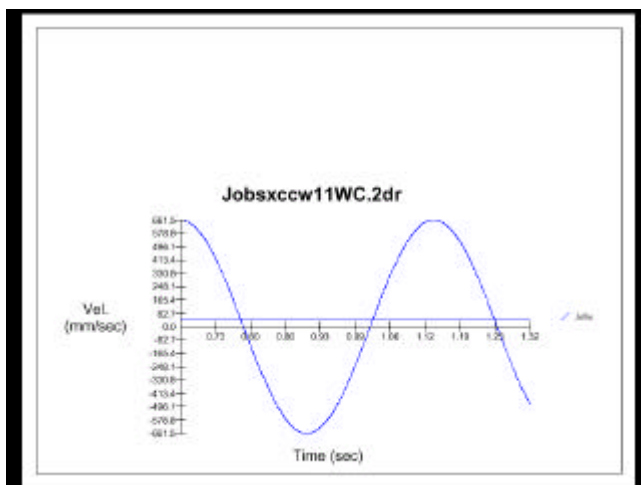


Fig.9 VELOCITA'
non si rilevano
distorsioni visibili

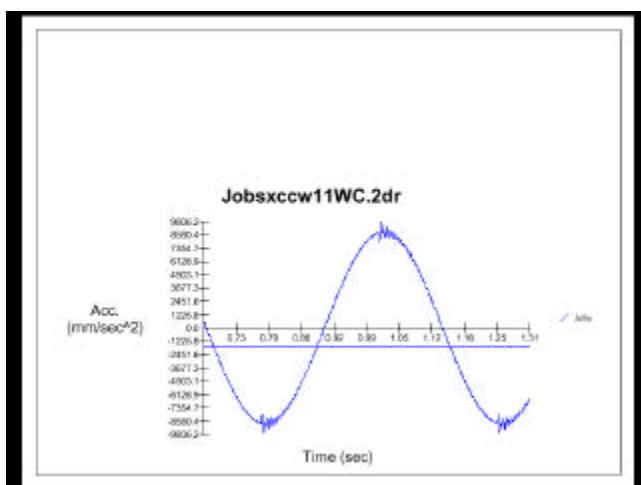


Fig10
ACCELERAZIONE
la forma rimane
sinusoidale, per cui
l'azionamento è tarato in
modo corretto. Si notano
delle piccole oscillazioni
al cambiamento di
direzione.

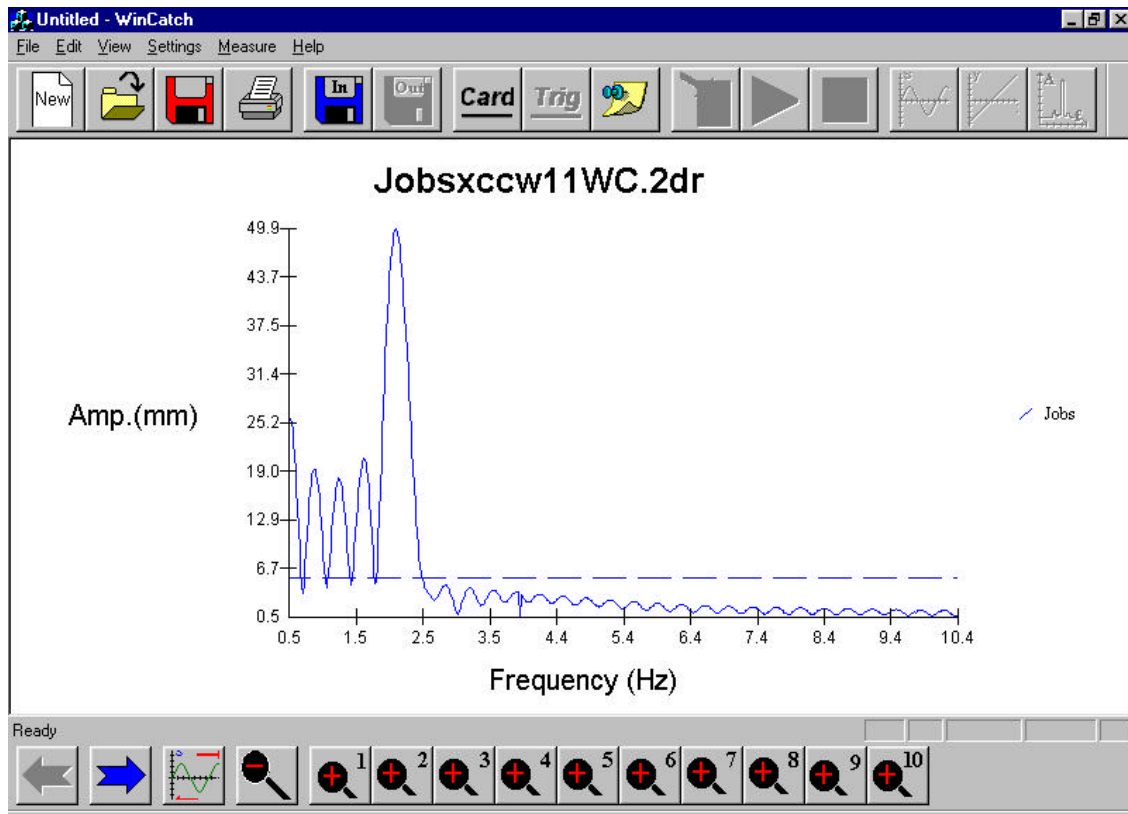


Fig 11 Frequenza dalla misura della laser Ballbar . La presenza di una sola frequenza, quella di rotazione(non si nota la presenza di seconda o della terza armonica) significa distorsione quasi nulla ne distorsioni armoniche del movimento degli assi

MISURE DINAMICHE CON SOLLECITAZIONE A GRADINO

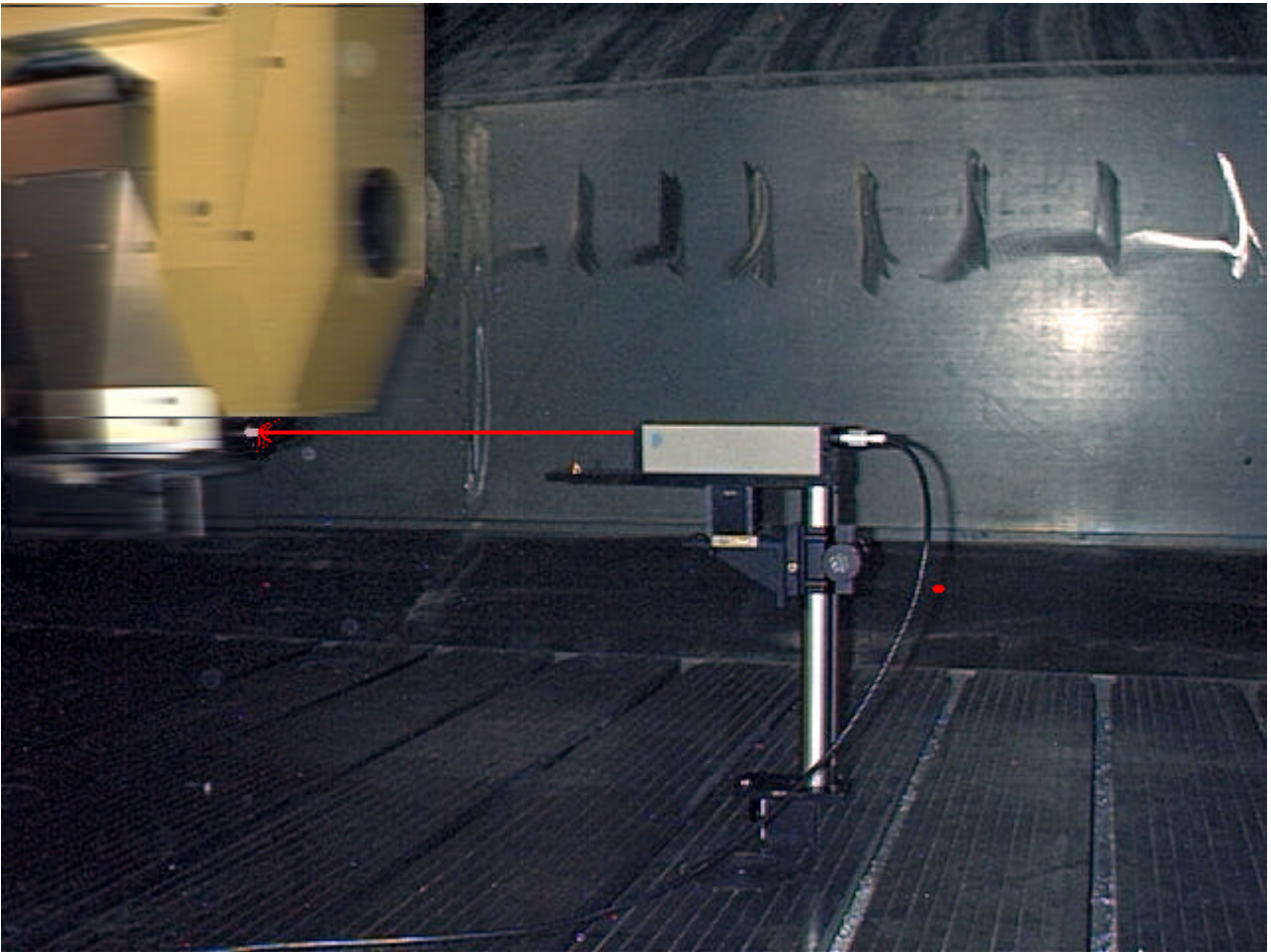


Fig 12 misura di spostamento a gradino con l'uso di una specchio di 3mm di diametro per annullare le vibrazione di eventuali supporti. Spostamento 1m lungo Y feed 50m/min

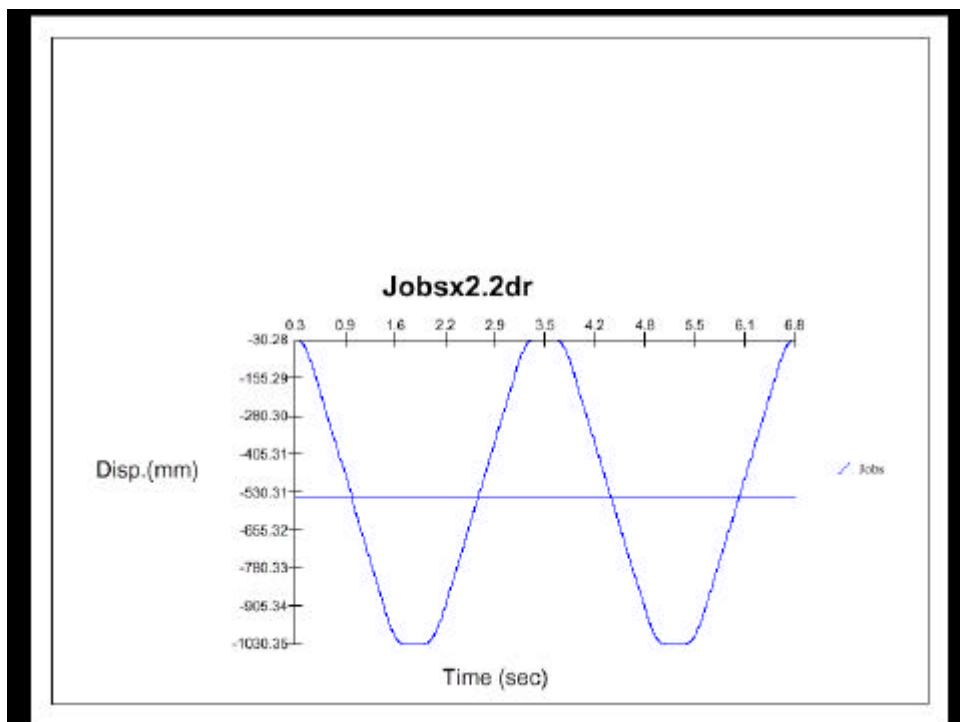


Fig.13
Grafico di
posizione
acquisito
dinamicam
ente con
1000
campioni al
secondo

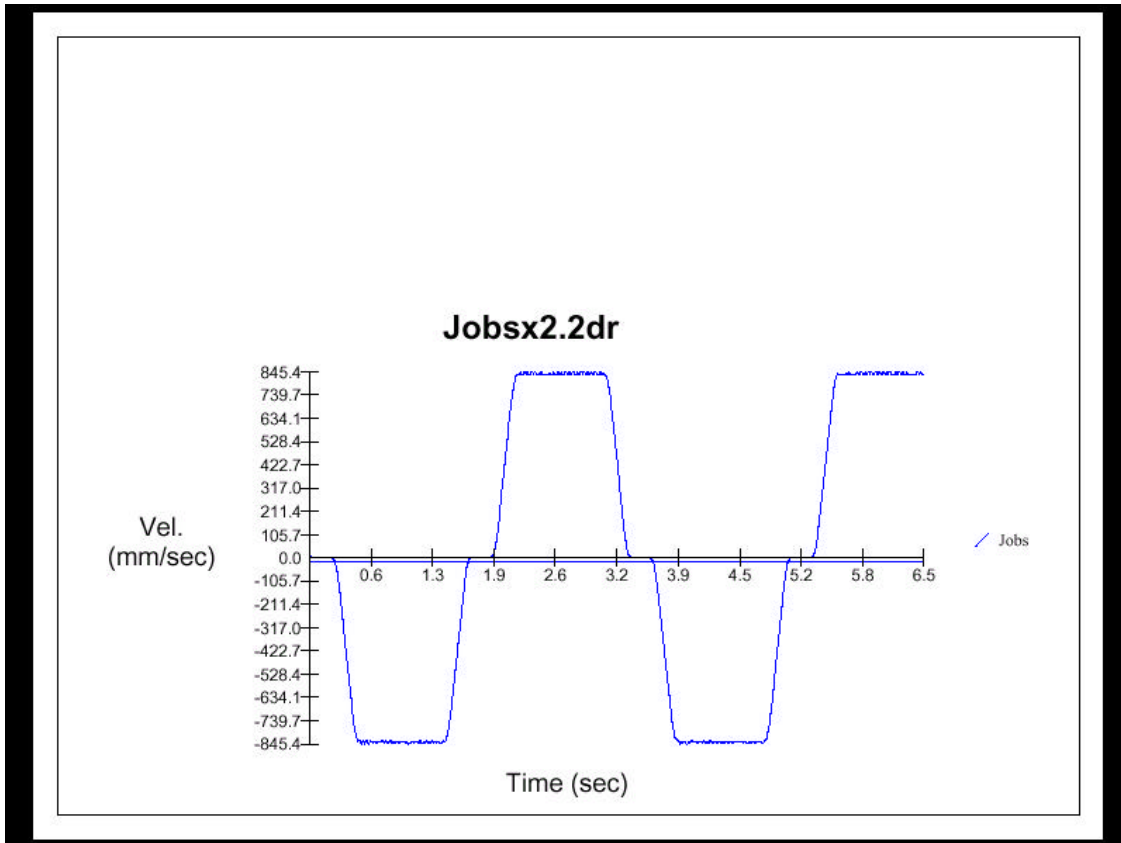
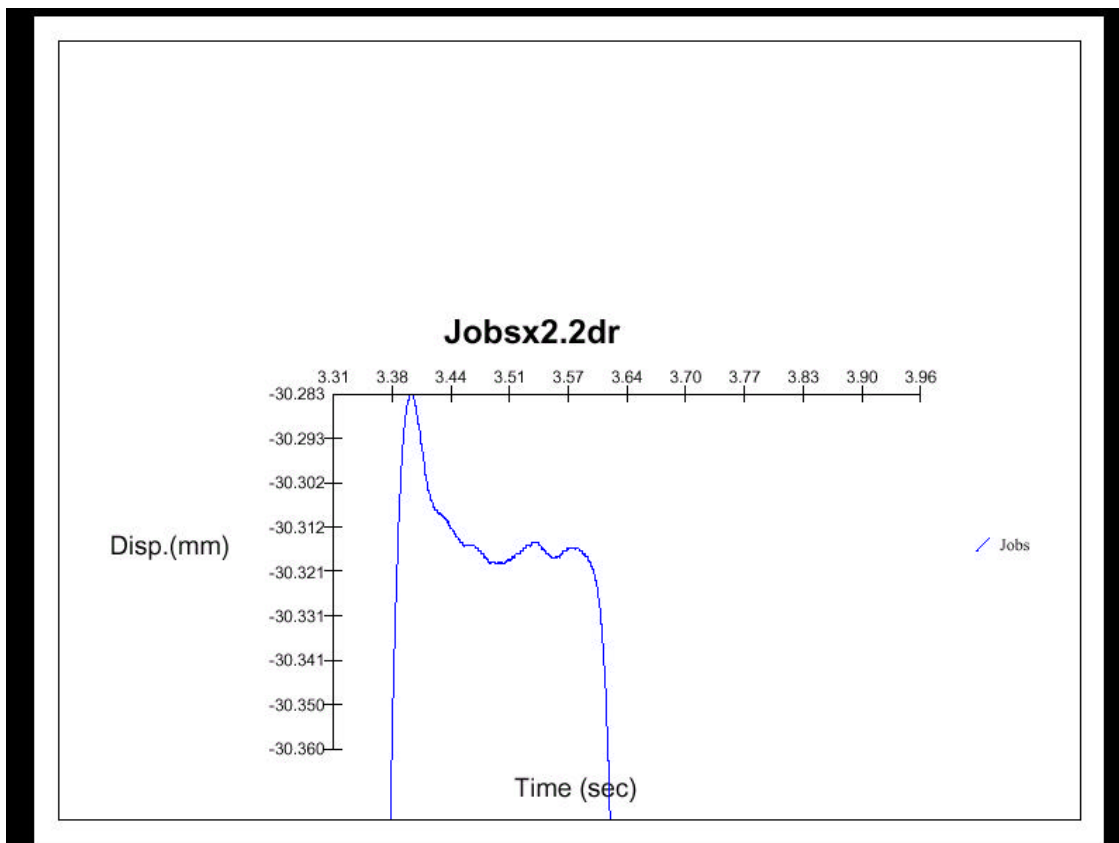


Fig 16 grafico di velocità

Fig 17 grafico di posizionamento con sollecitazione a gradino con sovraelongazione e fermata



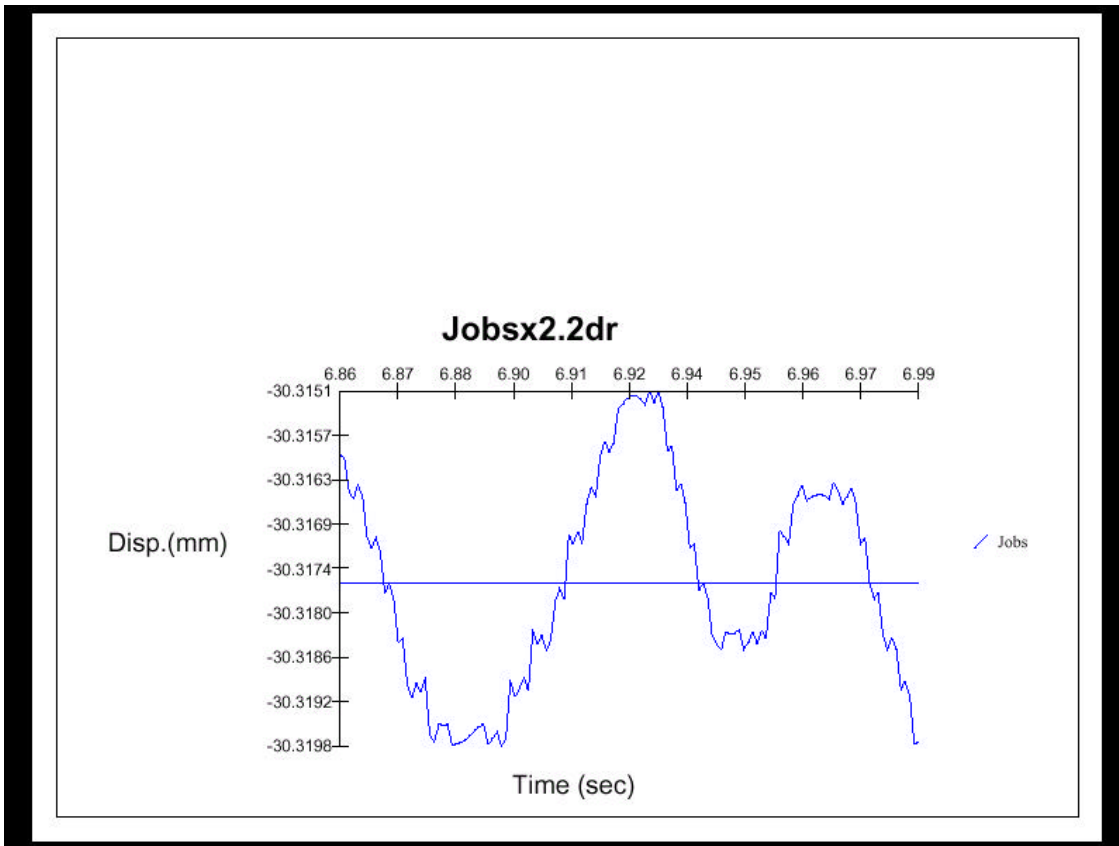
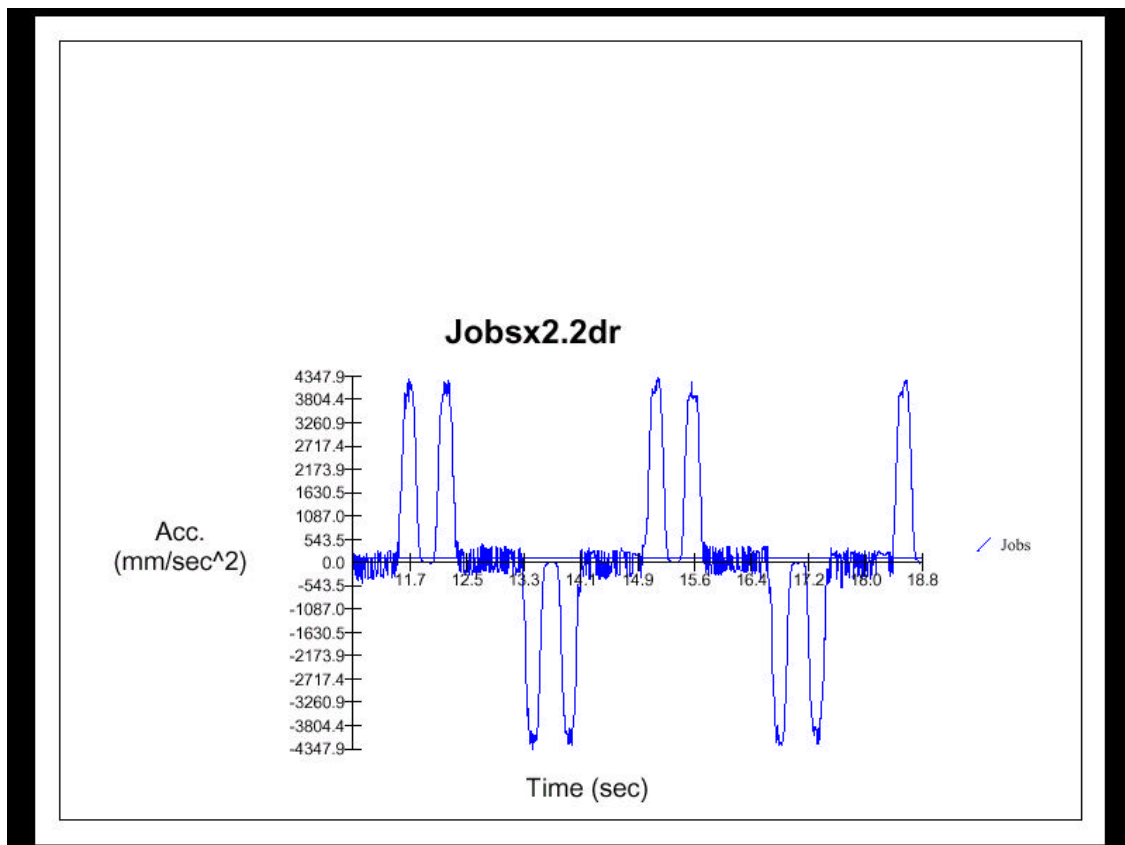


Fig 18 Grafico di posizione durante la fermata zoom X1000

Fig 19 accelerazione durante la fase di spostamento a gradino . Si può notare che i due picchi successivi , rispettivamente di frenata e accelerazione si superano i 4 g.



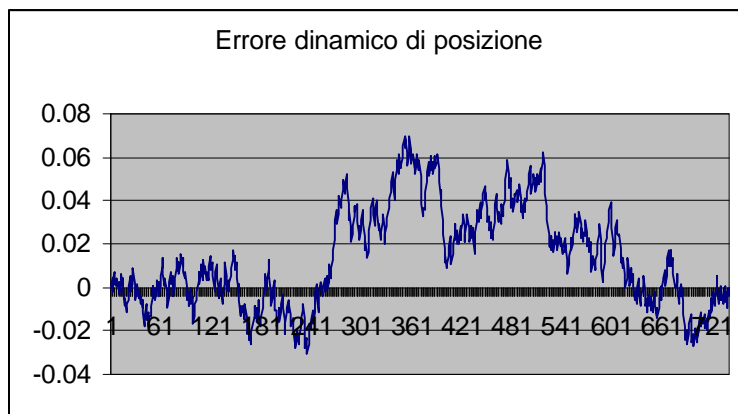


Fig. 120 errore di inseguimento per movimento a velocità uniforme. Scala in mm e milli secondi