



LASER METROLOGY SRL



Reprint articolo da:



STANIMUC NEWS

**trimestrale d'informazione
sulle attività normative**

**Volume 12, Numero 1
Gennaio 2022**

Titolo articolo

Misure di precisione tenendo
d'occhio la temperatura

Di Gianmarco Liotto

LASER METROLOGY srl
Via Veneto 5 - 20881 Bernareggio (MB)
Tel. 039/6093618 - mail Optodyne@optodyne.it
www.optodyne.it - www.hamarlaser.it -
www.lasermetrology.it



MISURE DI PRECISIONE E RIPETIBILITA' TENENDO D'OCCHIO LA TEMPERATURA

In questo articolo si illustrano le fasi più significative della taratura dimensionale di una macchina utensile utilizzando un laser interferometro come campione di riferimento.

La normativa di riferimento è la norma ISO 230 parte seconda (ISO 230-2) che raccoglie le raccomandazioni per la determinazione della precisione e della ripetibilità di posizionamento di una macchina utensile quando gli assi vengono mossi uno alla volta.

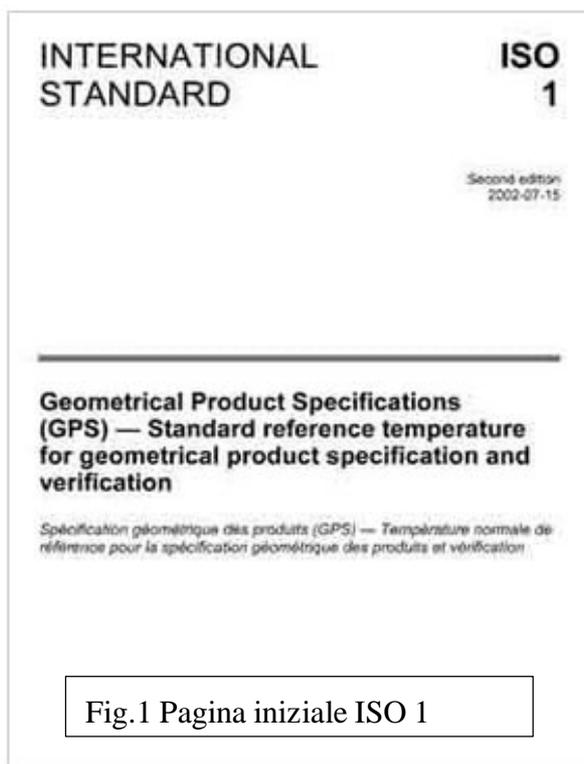


Fig.1 Pagina iniziale ISO 1

In questo articolo cercherò di soffermarmi sui dettagli o trucchi del mestiere per ottenere misure, non solo formalmente valide, ma tali da garantire che la

macchina lavori pezzi con le tolleranze richieste.



Fig.2 Calibro da officina di grande dimensione in acciaio, che si dilata come il pezzo, se il pezzo è d'acciaio.
 $\alpha=12\text{ppm}$

Partiamo dalla base.

La ISO 1, è la norma tecnica che definisce in 20 °C (68 °F) la temperatura di riferimento rispetto alla quale devono essere espresse le misure dimensionali di un oggetto. Quindi, se indichiamo una misura, questa sarà la dimensione dell'oggetto a 20° e non quella che ha l'oggetto alla temperatura a cui viene misurato.

In pratica in officina, se non siamo dotati di condizionamento avremo 20°, solo in primavera e in autunno, ma dobbiamo lavorare tutto l'anno e adattarci alle variazioni climatiche.

Storicamente gli attrezzi di misura sono stati costruiti con lo stesso materiale che si andava lavorando, generalmente acciaio, per cui la variazione dimensionale dovuta alla temperatura dell'oggetto da misurare è la stessa dello strumento di misura per cui non nascono problemi e non mi accorgo della reale variazione delle dimensioni.

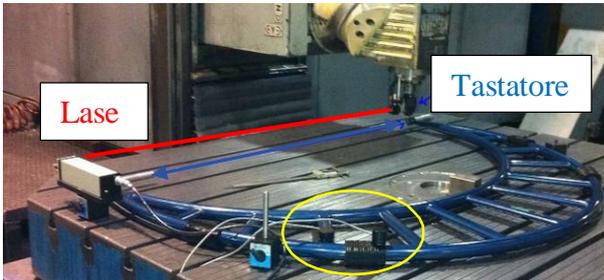


Fig.3 Certificazione laser di un calibro in acciaio. Per comodità è stata usata una macchina utensile per movimentare il tastatore solidale con lo specchio del laser. I sensori di temperatura sono sul calibro evidenziati in giallo.

Il problema nasce quando uso materiali diversi o tecnologie di misura diverse. Prendiamo il caso di una normale macchina utensile CNC la cui posizione di lavoro dipende da un servocontrollo pilotato da un trasduttore di misura. Nella pratica, oggi, i trasduttori si riducono a encoder e righe ottiche.

Le righe ottiche, danno direttamente l'indicazione della misura lineare, mentre gli encoder rotativi necessitano di un meccanismo che trasformi il moto lineare in rotativo; normalmente gli encoder danno la loro misura utilizzando la tecnica del pignone e cremagliera o della vite



Fig.4 Esempio tipico di un sistema con pignone e cremagliera, il trasduttore può essere montato direttamente su pignone o coassiale al motore.

senza fine, cioè girano con un passo che è determinato dal passo della cremagliera o della vite.

Le righe ottiche possono essere in vetro o in acciaio, materiali che hanno coefficienti di dilatazione lineare diversi, mentre i dispositivi basati su vite o cremagliera, sono sempre in acciaio, per cui la dilatazione da tenere in considerazione è quella dell'acciaio.

Tirando le somme, ci sono tante metodologie per controllare lo spostamento lineare di un asse di una macchina utensile, ma sono solo due le categorie di coefficiente di dilatazione termica.

I due coefficienti sono quello dell'acciaio e quello del vetro, cioè la macchina si comporta come se lavorasse perfettamente una parte di fatta di acciaio se ha trasduttori in acciaio o di vetro se ha trasduttori in vetro, con le quote perfette a tutte le temperature, ma solo per quel materiale.

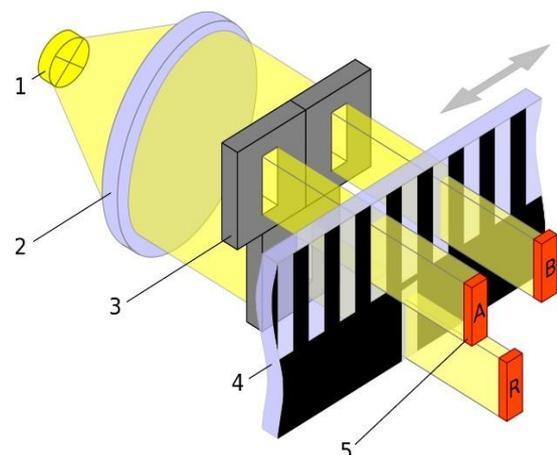


Fig.5 Schema tipico di un trasduttore in vetro, si sfrutta la trasparenza, limitata da un reticolo opaco fotoinciso. Sulla testina mobile: 1 Led, 2 ottica, 3 reticolo. Sulla riga: 4 reticolo, 5 fotosensori. $\alpha = 8 \text{ ppm}$



Un metro di acciaio si dilata o si contrae circa 0,012 mm ogni grado di variazione della temperatura, mentre il vetro ha un coefficiente che varia tra 0,008 e 0,010 mm/m/°C.

Il coefficiente di dilatazione termica viene generalmente chiamato α ed è espresso in ppm (parti per milione), per cui 12ppm che corrisponde a 12 $\mu\text{m}/\text{m}$, riassumendo l'acciaio ha $\alpha = 12$ mentre il vetro ha $\alpha = 8$ la differenza è 4ppm. Questo significa che, se utilizzo trasduttori in vetro, per ogni grado di variazione di temperatura rispetto ai 20°C, ho una differenza di lunghezza di 0,004 mm per ogni metro e ogni grado Celsius, mentre utilizzando trasduttori la cui base di dilatazione è l'acciaio, non ho nessuna differenza dovuta alla temperatura.

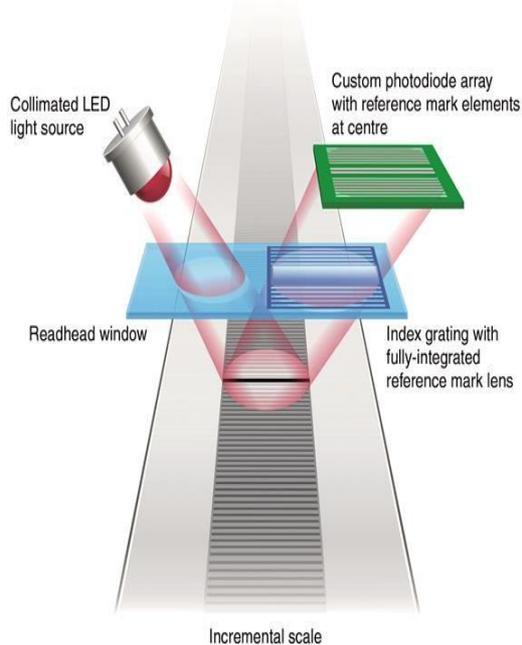


Fig.6 Schema tipico di un trasduttore in acciaio. In questo caso si sfrutta la riflessione. $A=12\text{ppm}$

Il caso pratico di una officina che in inverno è a 17 °C mentre in estate avrà temperature di 32 °C, con una differenza estate-inverno di 15 °C.

Se la mia macchina è dotata di righe ottiche in vetro, la differenza nella mia parte lavorata, ad esempio lunga 2 m, è di 0,12 mm se prodotta in estate piuttosto che in inverno (0,004 mm/m/°C x 15 °C x 2m = 0,120 mm).

Per cui, nonostante i trasduttori in vetro siano, in genere più precisi, occorre tener d'occhio gli effetti della temperatura quando si lavora in un ambiente non condizionato.

Altri casi estremi sono le lavorazioni dell'alluminio il quale ha un coefficiente di dilatazione doppio dell'acciaio, 0,024 mm/m/°C e della fibra di carbonio, che pur essendo dipendente dall'orientazione delle fibre ha un coefficiente di allungamento quasi nullo.

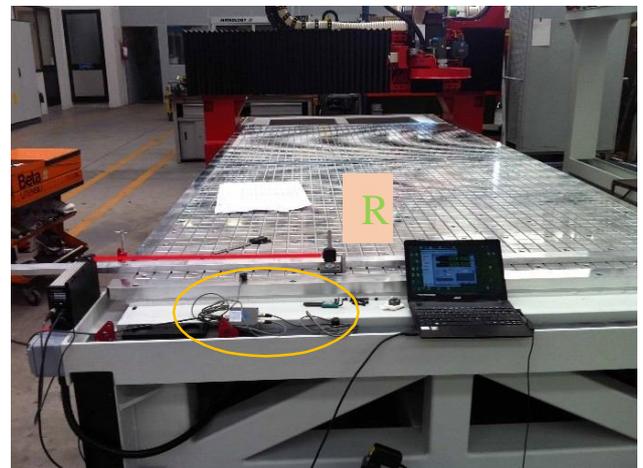


Fig.7 Verifica laser di una piastra forata in alluminio, i fori sono fuori tolleranza perché è in inverno e la lavorazione effettuata in estate. I sensori, evidenziati in giallo, sono sulla piastra in alluminio, il retroreflettore R si muove tra due spine, il coefficiente di espansione termica è fissato in 0,024 mm/m/°C.



Un caso in cui mi sono imbattuto è quello di una piastra di alluminio nella quale sono stati praticati fori per spine di accoppiamento. La piastra è stata costruita in estate senza particolari precauzioni, poi in inverno quando è stata utilizzata le sue dimensioni l'anno resa inservibile. Vedi l'impianto di misura in fig.7.

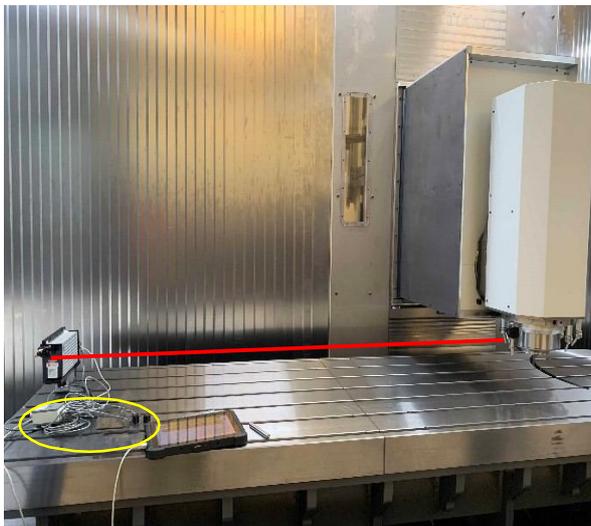


Fig.8 Misura precisione di posizionamento e ripetibilità asse X, i sensori di temperatura sono sulla tavola evidenziati in giallo.

Tornando alle nostre misure fatte con l'interferometro laser, ci troviamo con uno strumento di misura estremamente preciso, ma nel vuoto. Perché sia preciso anche nell'aria bisogna compensarlo; per fortuna tutti i software forniti con lo strumento lo compensano automaticamente misurando temperatura dell'aria e pressione atmosferica e applicando la formula di Edlén per la correzione dell'indice di rifrazione dell'aria. La formula è stata pubblicata nel 1966 ma è ancora ampiamente usata anche se con alcuni aggiustamenti.



Fig.9 Misura di precisione di posizionamento di una macchina gantry effettuata con due laser contemporaneamente. I sensori di temperatura, evidenziati in giallo, sono su piano di lavoro.

L'influenza della temperatura dell'aria è $-1 \mu\text{m}/\text{m}$ per ogni grado Celsius, mentre l'influenza della pressione è molto più elevata: bastano $3,3 \text{ mbar}$ per la stessa variazione di $1 \mu\text{m}/\text{m}$ ma di segno opposto.

La pressione varia col bello e cattivo tempo e con l'altezza. Circa 12 mbar ogni 100m di altitudine e tra 1000 e 1030 mbar tra il brutto e il bel tempo

Mettiamo il caso di misure effettuate col bel tempo a Roma (21m slm) o con brutto tempo a Bergamo (250m slm), per cui ho una variazione di 30mbar per l'altezza e 30 mbar per il tempo totale 60mbar cioè $18 \mu\text{m}/\text{m}$, valore che non è trascurabile se non compensato.

Torniamo alle nostre misure con il laser interferometro, se la macchina non è a 20°C devo misurare la temperatura della macchina per l'opportuna compensazione dovuta alla variazione di lunghezza dei materiali.

Due sono i punti di discussione, dove posiziono i sensori per la misura della temperatura e quale coefficiente adoperare.

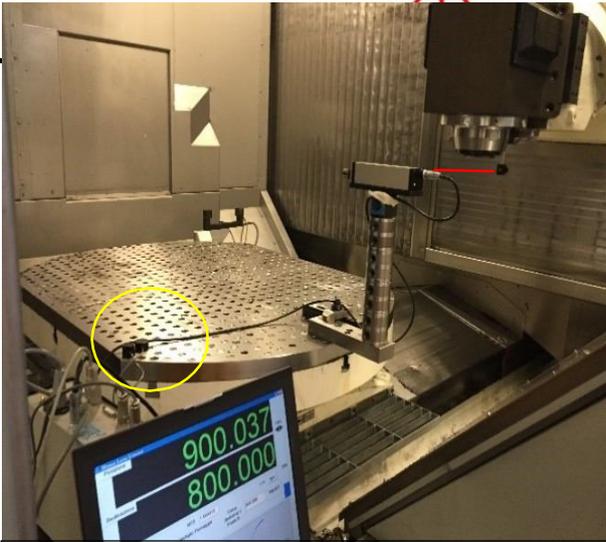


Fig. 10 Misura di precisione di posizionamento, i sensori di temperatura sono sul piano di lavoro.

I sensori dell'aria non c'è dubbio vanno collocati il più possibile vicino al percorso del raggio laser per compensare la misura del laser. Il dubbio è dove posizionare i sensori di temperatura del materiale per compensare la macchina.

Qui abbiamo almeno due scuole di pensiero: misurare la macchina nelle condizioni attuali per sapere se farà un pezzo delle dimensioni giuste o misurare la macchina come se fosse a 20 °C e avere misure accomodanti per quanto riguarda la macchina.

La scuola americana, il primo caso, si basa sul fatto che il pezzo da lavorare e il materiale di cui è composto è la cosa da compensare per produrre una parte di dimensioni esatte immediatamente dopo aver effettuato le misure.

Per cui la temperatura viene misurata sul piano di lavoro e il coefficiente di temperatura è quello del materiale in lavorazione.

Questo garantisce lo stato di fatto e la produzione di una parte delle dimensioni esatte se le condizioni ambientali non cambiano.



Fig. 11 Calibrazione laser di una macchina di misura a due dimensioni, utilizzata per le turbine, in officina. Il trasduttore di temperatura evidenziato in giallo sul corpo macchina che coincide con il trasduttore.

La seconda soluzione, in genere consigliata dai costruttori di trasduttori, per poter avere una macchina sempre uguale a se stessa, anche con cambiamenti di temperatura ambiente ed è quella di adottare il coefficiente di temperatura proprio del trasduttore e misurare la temperatura in prossimità dei trasduttori.

In questo caso una macchina misurata a temperature diverse darà sempre gli stessi valori, quelli di una macchina ipoteticamente a 20°C.

Utilizzando questa tecnica rimane a carico dell'utilizzatore l'onere di cambiare le quote del "programma pezzo" per adattare i coefficienti di dilatazione lineare.



Ovviamente questa differenza è sensibile nel caso di utilizzo di trasduttori basati sulla tecnologia del vetro o quando si lavorano materiali diversi dall'acciaio. Detto in altre parole, se non siamo a 20°C e soprattutto se la macchina è dotata di trasduttori in vetro, le parti lavorate non saranno delle dimensioni aspettate, se non vengono adottati provvedimenti di correzione.

A questo scopo molte officine che lavorano parti di grandi dimensioni, adottano la tecnica di tenere le macchine di misura lineari per la taratura dei calibri e delle dime di misura e controllo in officina e non in ambienti a temperatura controllata come avveniva in passato (vedi fig11).

Anche in questo caso, come nella scelta di trasduttori nominalmente meno precisi, si riesce a minimizzare gli effetti negativi dei cambiamenti di temperatura con una adatta strategia basata sulla conoscenza dei fenomeni fisici e delle normative.

Gianmarco Liotto

STANIMUC News

STANIMUC News

STANIMUC News

STANIMUC News

VISITATE

www.stanimuc.it



... per mantenersi
costantemente
aggiornati
sulle attività pre-
normative
e normative per la
macchina utensile...

...