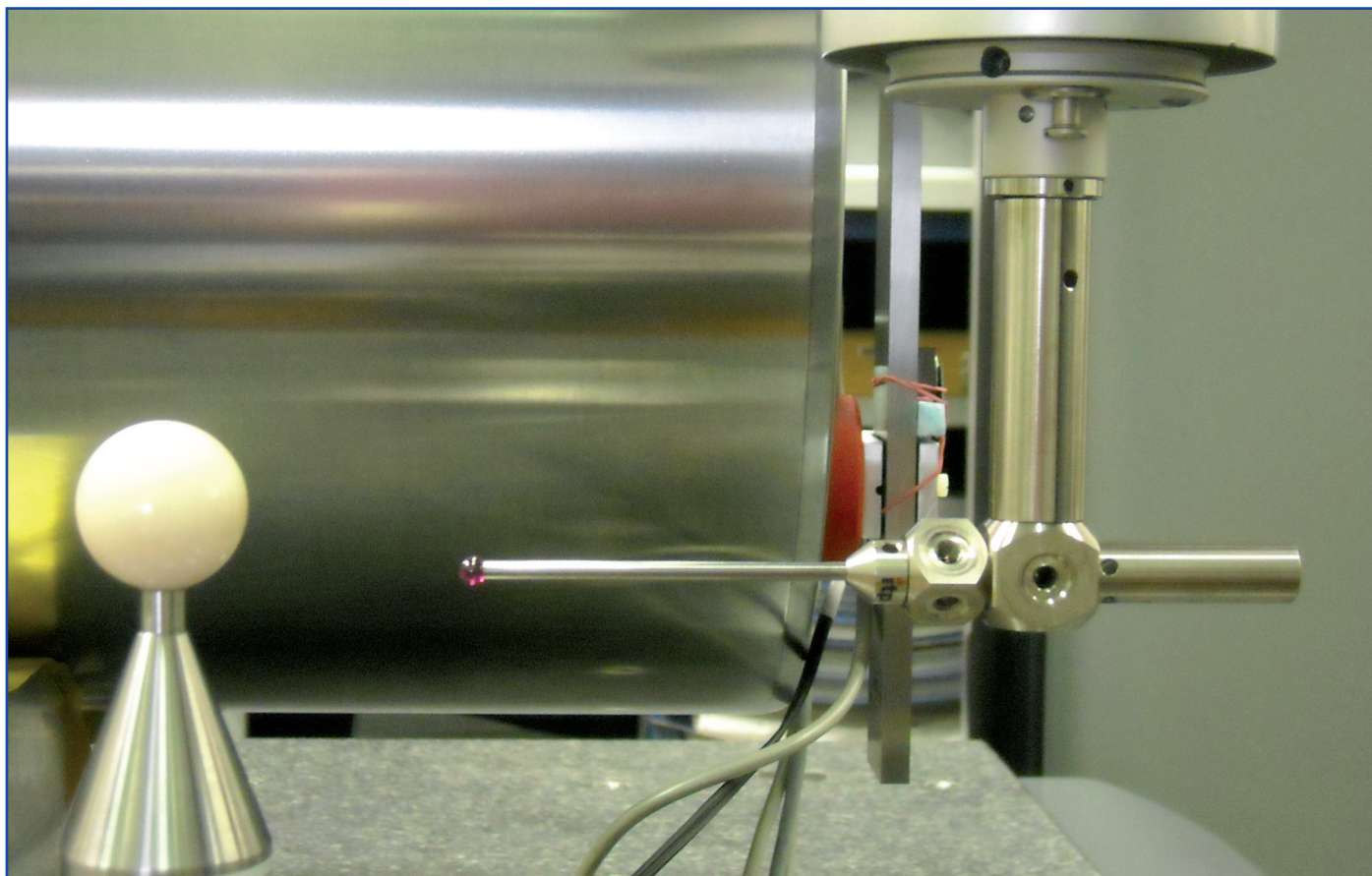


IL SISTEMA TASTATORE A CONTATTO: ERRORI, CAUSE, CONSIGLI

di Alessandro Balsamo (*)



Archivio INRiM

Sommario

Le cause d'errore principali di cui sono affetti i sistemi tastatori a contatto sono l'anisotropia, cioè la risposta non uniforme in tutte le direzioni, e la deriva termica. Questo articolo esamina tali cause, e fornisce suggerimenti sul come minimizzarne e stimarne gli effetti.

Introduzione

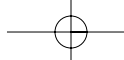
Il sistema tastatore gioca un ruolo essenziale ed importantissimo nelle misurazioni con CMM. Essenzialmente, esso permette d'individuare un singolo punto sulla superficie del pezzo in misura, le cui coordinate vengono restituite dalla lettura della CMM. Consideriamo la sequenza cinematica della CMM (vedi Figura 1). La macchina si compone di quattro corpi (a, b, c, d), tre carrelli e un basamento, vincolati in sequenza l'uno all'altro lungo direzioni mutuamente ortogonali, a generare tre assi cartesiani x, y, z ¹. Al corpo a , solitamente la *tavola portapezzo* o il *basamento*, è solidale il pezzo in misura (staffato o semplicemente appoggiato), mentre

il corpo d , chiamato *cannotto* o *supporto* (vedi [1] § 2.23²), porta il sistema tastatore. Ad esempio, in una tipica CMM a portale mobile, a è il basamento, b il portale, c il carrello lungo la traversa, e d il cannotto. Le letture delle scale x, y, z definiscono la posizione mutua dei quattro corpi della macchina, cioè la sua disposizione. Per attribuirle a coordinate di un punto specifico, è necessario individuarlo sulla superficie del pezzo; di ciò s'incarica il sistema tastatore, toccandolo³.

Note:

- 1- Talvolta gli assi sono marcati con nomi diversi da quelli della sequenza cinematica rappresentata in Figura 1.
- 2- In quest'articolo si adotterà la nomenclatura ufficiale [1]; quando ritenuto opportuno, si riporterà fra parentesi il corrispondente termine gergale.
- 3- Un sistema tastatore può essere a contatto o non a contatto, ad esempio ottico. Nel seguito si considererà soltanto il caso a contatto. Alcune conclusioni possono essere estese anche ai sistemi tastatori non a contatto.

(*) INRiM - Istituto Nazionale Ricerca Metrologica - Divisione di Meccanica - Responsabile Programma d'Ingegneria di Precisione



Ciò chiude la sequenza cinematica, altrimenti aperta ed inservibile.

È evidente che l'accuratezza nell'individuazione del punto sul pezzo operata dal sistema tastatore contribuisce a quella della lettura finale al pari di ogni altro elemento lungo la sequenza cinematica, ad esempio le scale o i giochi o le isteresi negli scorrimenti fra i corpi. Ciò rende il sistema tastatore un elemento critico per la misurazione, spesso sottovalutato nella sua importanza.

Presa punto

Esaminiamo ora nel dettaglio come avviene la presa punto. Di ogni punto da tastare, il controllore della CMM conosce la posizione nominale (punto di contatto obiettivo) e l'orientazione locale della superficie⁴. Esso guida la CMM di fronte al punto obiettivo, ad una distanza predeterminata da questo⁵, tenendo conto anche dell'ingombro dell'elemento di contatto dello stilo (sferetta). Quindi muove la CMM verso il punto obiettivo, a cercare il contatto. Quando questo avviene (Figura 2 (a)), il tastatore non è ancora in grado di percepirlo: quale che sia il meccanismo di rilevazione (*touch trigger* o proporzionale), è necessaria una forza, generata nel contatto, piccola ma non nulla. Dunque la CMM prosegue la sua corsa finché la forza è sufficiente (Figura 2 (b)): il tratto di corsa dal primo contatto alla rilevazione del punto determina una penetrazione apparente del pezzo.

- La penetrazione apparente è dominata da tre cause:
1. La forza di contatto minima necessaria per la rilevazione. Normalmente, i tastatori *touch trigger* necessitano di forze piccole (poche decine di millinewton), mentre quelli proporzionali, spesso usati in scansione, sono più lenti e pesanti (fino a parecchie centinaia di millinewton).
 2. La rigidità del sistema stilo. Più lungo ed esile e di geometria

complessa è il sistema stilo, più cedevole alla forza di contatto. Quando possibile, utilizzare stili corti e rigidi, con pochi snodi e prolunghe.

3. L'effettiva penetrazione elastica nella superficie. Essa dipende dalla forza e dal diametro dell'elemento di contatto: più grande la forza e più piccolo il diametro, maggiore la penetrazione elastica. Il fenomeno è spesso trascurabile, con valori inferiori a 0,1 µm; a meno di diametri molto piccoli su superfici morbide, ad esempio polimeri.

La penetrazione apparente è per la CMM indistinguibile da una riduzione apparente del diametro dell'elemento di contatto (Figura 2 (c)): tutto accade come se il sistema tastatore fosse in grado di rilevare il primo contatto senza deformazione, ma con un elemento di contatto più piccolo. Tale riduzione comporta il ricupero automatico della penetrazione apparente, mediante la qualificazione del tastatore.

Prima dell'uso, il sistema tastatore dev'essere qualificato, cioè utilizzato per misurare un elemento noto, tipicamente la sfera di qualifica.

La CMM determina il diametro dell'elemento di contatto per differenza tra il valore del diametro ottenuto dalla lettura delle scale e quello di taratura della sfera di qualifica; questo valore viene registrato per quello stelo, ed utilizzato successivamente in modo automatico per compensare la dimensione dell'elemento di contatto. La penetrazione apparente (Figura 3 (a)) viene recuperata mediante una riduzione automatica del diametro dell'elemento di contatto (Figura 3 (b)); il valore così determinato e registrato viene chiamato *diametro efficace*, per distinguerlo da quello fisico.

L'entità della penetrazione apparente, e quindi della riduzione apparente del diametro dell'elemento di contatto, dipendono dalla rigidità del particolare stilo utilizzato; per ottenerne una compensazione efficace è necessario ripetere la qualificazione ad ogni

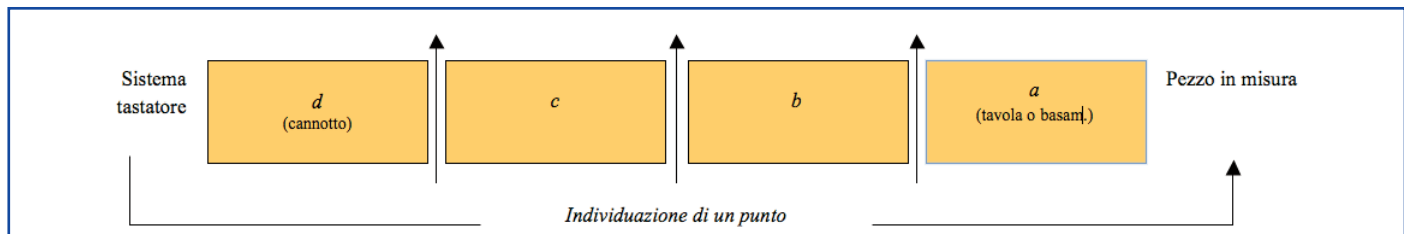


Fig. 1 - Sequenza cinematica di una CMM cartesiana

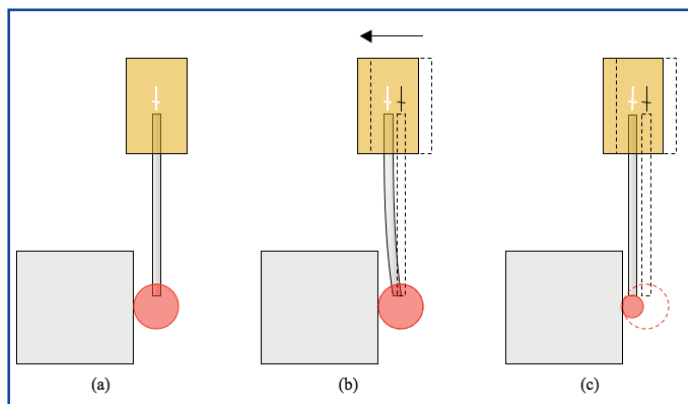


Fig. 2 - Riduzione apparente del diametro dell'elemento di contatto dello stilo (sferetta): (a) contatto; (b) penetrazione apparente; (c) conseguente riduzione apparente del diametro

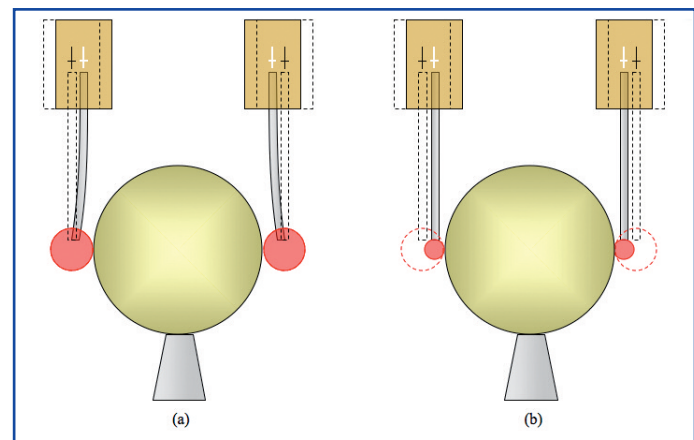
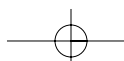


Fig. 3 - Ricupero della penetrazione apparente mediante qualificazione del tastatore

Note:

- 4- Tipicamente espressa tramite un versore, cioè un vettore unitario adimensionale, uscente dalla superficie.
- 5- Tale distanza è uguale a quella di disimpegno dopo la presa punto, detta *distanza d'allontanamento*.



Argomenti

Il sistema tastatore a contatto: errori, cause, consigli

misurazione, o quantomeno ogni volta che si cambi configurazione del sistema stilo.

Anisotropia

Durante la qualificazione, la riduzione apparente del diametro dell'elemento di contatto costituisce un grado di libertà che viene sfruttato per compensare la penetrazione apparente. La compensazione è esatta⁶ solo quando la penetrazione apparente è uguale in tutte le direzioni di presa punto: infatti, il medesimo valore verrà utilizzato per ogni punto preso successivamente, in qualsiasi direzione imposta dalla geometria del pezzo. Quando la risposta del sistema tastatore varia a seconda della direzione, sarà affetta da anisotropia.

Nella qualificazione, vengono presi molti punti, variamente disposti angularmente sulla superficie della sfera di qualifica; in questo modo, il sistema tastatore viene sollecitato in altrettante direzioni. Risposte differenti per i vari punti concorrono ad un errore di forma complessivo (apparente)⁷. Il diametro calcolato della sfera di qualifica, utilizzato come minuendo del valore di taratura, risulta la media delle distanze radiali: alcune direzioni saranno affette da errore positivo, ed altre negativo.

Ma quali sono le ragioni del comportamento anisotropo del sistema tastatore?

1. **Meccanismo di rilevazione.** È una sfida tecnologica costruire un sistema che sia sensibile al contatto (alla *forza* di contatto) identicamente in tutte le direzioni spaziali. Nel caso di tastatori *touch trigger*, la rilevazione avviene di solito per apertura di un contatto elettrico, costituito da un equipaggio che porta il sistema stilo, tenuto da una molla in sede su una base solida con il corpo del tastatore (e quindi con il cannotto, Figura 4). Si ha apertura del contatto elettrico quando il momento della forza di contatto supera quello della molla di contrasto, $aF \geq bC$, dove a è la distanza verticale dell'elemento di contatto dal fulcro di apertura, b quella orizzontale della forza elastica di contrasto C , ed F è la forza di contatto. Quando l'appoggio sia costituito da tre sfere equispaziate angularmente a 120° , il braccio di leva b_1 per aprire il contatto sotto la spinta F_1 non è lo stesso che il braccio b_2 sotto la spinta F_2 ; F_1 ed F_2 non sono uguali. Nelle direzioni intermedie fra quelle di simmetria del triangolo degli appoggi, le forze necessarie alla rilevazione sono intermedie: ne risulta un andamento trilobato nel piano xy , tipico di questo diffuso tipo di tastatore. Lo stilo, sollecitato da forze diverse nelle diverse direzioni, fletterà diversamente, generando anisotropia della risposta.

Nel caso di tastatori proporzionali, la rilevazione è tipicamente effettuata misurando le deformazioni individuali di una serie di tre parallelogrammi montati in direzioni fra loro ortogonali. Piccole differenze nelle costanti elastiche dei tre parallelogrammi, ed errori di ortogonalità nel loro montaggio determinano anisotropia di risposta.

Note:

- 6- Entro i limiti sperimentali: in primo luogo, entro la ripetibilità della forza di contatto necessaria per la rilevazione.
- 7- Su questa linea opera la UNI EN ISO 10360 5 [2], che basa tutte le sue prove PFTx relative all'anisotropia del sistema tastatore proprio sull'osservazione dell'errore apparente di forma.
- 8- Un flessione di dice *traversa* quando la freccia non è parallela alla forza che la genera, ma nasce una componente di deformazione laterale; nel caso di trave rettilinea a sezione uniforme, ciò avviene quando la forza non è parallela ad un asse principale d'inerzia della sezione.

2. **Rigidezza non isotropa del sistema stilo.** Un semplice stilo rettilineo verticale a sezione circolare avrà rigidezza ragionevolmente isotropa nel piano xy , mentre sarà molto più rigido in direzione z , dove lavora di punta. Quando poi il sistema stilo abbia una configurazione complessa, con molti stili con prolunghe, snodi, ecc., è assai improbabile che la rigidezza sia uguale in tutte le direzioni. In dipendenza dalla configurazione, possono anche generarsi sforzi di torsione, e fenomeni di flessione traversa⁸.
3. **Errore di forma dell'elemento di contatto.** Se la sferetta del tastatore non è perfettamente sferica, il contatto avverrà a distanze diverse dal centro a seconda della direzione. Questa causa è probabilmente la più dimenticata nella pratica: istintivamente si assume che l'elemento di contatto sia perfetto, quando invece è soggetto ad errori di forma originari di produzione, ad usura (particolarmente rapida nelle applicazioni a scansione con contatto strisciante) e a danneggiamenti per urto (scheggiature).

I tastatori proporzionali solitamente effettuano una correzione più sofisticata dell'anisotropia: il valore utilizzato per il raggio dell'elemento di contatto non è uguale in tutte le direzioni, ma è corretto dal prodotto della forza di contatto (misurata dalle deformazioni dei tre parallelogrammi) per un'opportuna matrice determinata nella qualificazione. Così facendo, vengono corrette anisotropie della risposta a forma di ellissoide (come una palla da rugby, tipicamente disposta lungo la direzione dello stilo). Si ottengono prestazioni generalmente migliori, più uniformi, spesso però al costo di una forza di contatto sensibilmente maggiore. In ogni caso, anche questa correzione più raffinata non è sufficiente ad eliminare completamente il problema: ad esempio, l'errore di forma dell'elemento di contatto può avere andamento qualunque, e non necessariamente ad ellissoide.

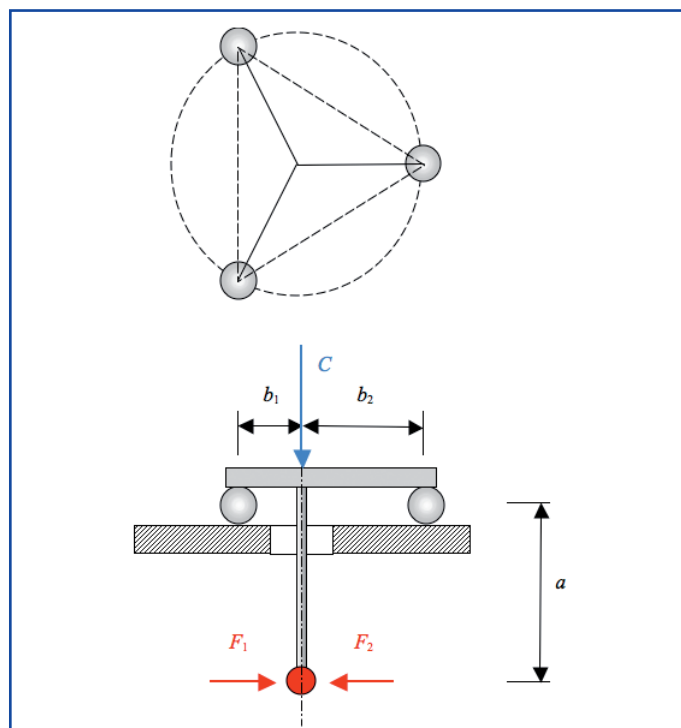


Fig. 4 - Schema di un tipico tastatore *touch trigger*

Effetti termici

La qualificazione del sistema tastatore serve a determinare, oltre che il diametro efficace, anche l'offset di ciascun elemento di contatto: l'offset è lo spiazzamento, nelle sue componenti (x, y, z), fra il centro dell'elemento di contatto e un punto di riferimento comune solidale al cannotto. L'offset non rileva quando si operi con un singolo stilo⁹: infatti, esso opera una traslazione del sistema di riferimento macchina, poi fissata comunque con la definizione del sistema di riferimento pezzo.

L'offset rileva invece molto quando il sistema sia multi stilo. Le coordinate di ciascun punto preso dall'elemento di contatto sono date dalla lettura delle scale, che rappresentano le coordinate del punto di riferimento sul cannotto, sommate (vettorialmente) all'offset dell'elemento di contatto: l'offset interviene direttamente nelle coordinate misurate. In generale, in un sistema con n stili, gli n offset sono d'interesse metrologico, a meno di uno spiazzamento comune, corrispondente alla scelta (arbitraria) del punto di riferimento sul cannotto¹⁰.

Gli offset corrispondono alle dimensioni fisiche del sistema stilo; esse sono rilevate alla temperatura presente durante la qualificazione, mentre manifestano il loro effetto alla temperatura durante la misurazione. Quando la temperatura sia stabile nel tempo, anche se diversa da quella normale di riferimento (20 °C [3]), le dimensioni si mantengono pari agli offset, e il sistema tastatore non è affetto da errori termici. Quando invece ci sia variazione nel tempo, le dimensioni cambiano mentre gli offset registrati rimangono gli stessi: ne consegue un errore di misura. Si prenda ad esempio la misurazione illustrata in Figura 5: quando la distanza fra i centri

degli elementi di contatto, a , determinata e registrata in fase di qualificazione, subisca in seguito espansione termica, tale espansione costituirebbe altrettanto errore di misura dello spessore dello spallamento interno, d .

Qualunque ambiente è affetto da variazioni termiche, in particolare cicliche: lentissime (stagionali estate/inverno), lente (giornaliere di/notte) e veloci (indotte dal condizionatore). Le CMM sono composte di moltissime parti, di differente massa e capacità termica, caratterizzate da differenti costanti di tempo termiche: i componenti più leggeri sono più pronti nella reazione termica, e quindi sensibili a cicli termici anche veloci. Fra tutti i componenti di una CMM, probabilmente quello con costante di tempo più breve è proprio il sistema stilo, composto di strutture esili, spesso di metallo conduttore, con buona superficie di scambio. La sua reazione è abbastanza pronta da inseguire anche le variazioni ambientali più veloci; innanzi tutto quelle indotte dal condizionatore. È opportuno immaginare il sistema stilo non come immutabile nel tempo, ma come pulsante; se la durata della misurazione non è trascurabile rispetto al periodo di pulsazione, si manifesta l'errore termico. Poiché il periodo tipico di un condizionatore è dell'ordine di una decina di minuti, il caso non è ipotetico, ma assai probabile.

Che fare?

L'anisotropia del sistema tastatore a la sua deriva termica sono fatti con i quali è necessario convivere; conoscendo il fenomeno, se ne possono minimizzare gli effetti, e quindi stimare gli errori residui. Ecco alcuni consigli al riguardo.

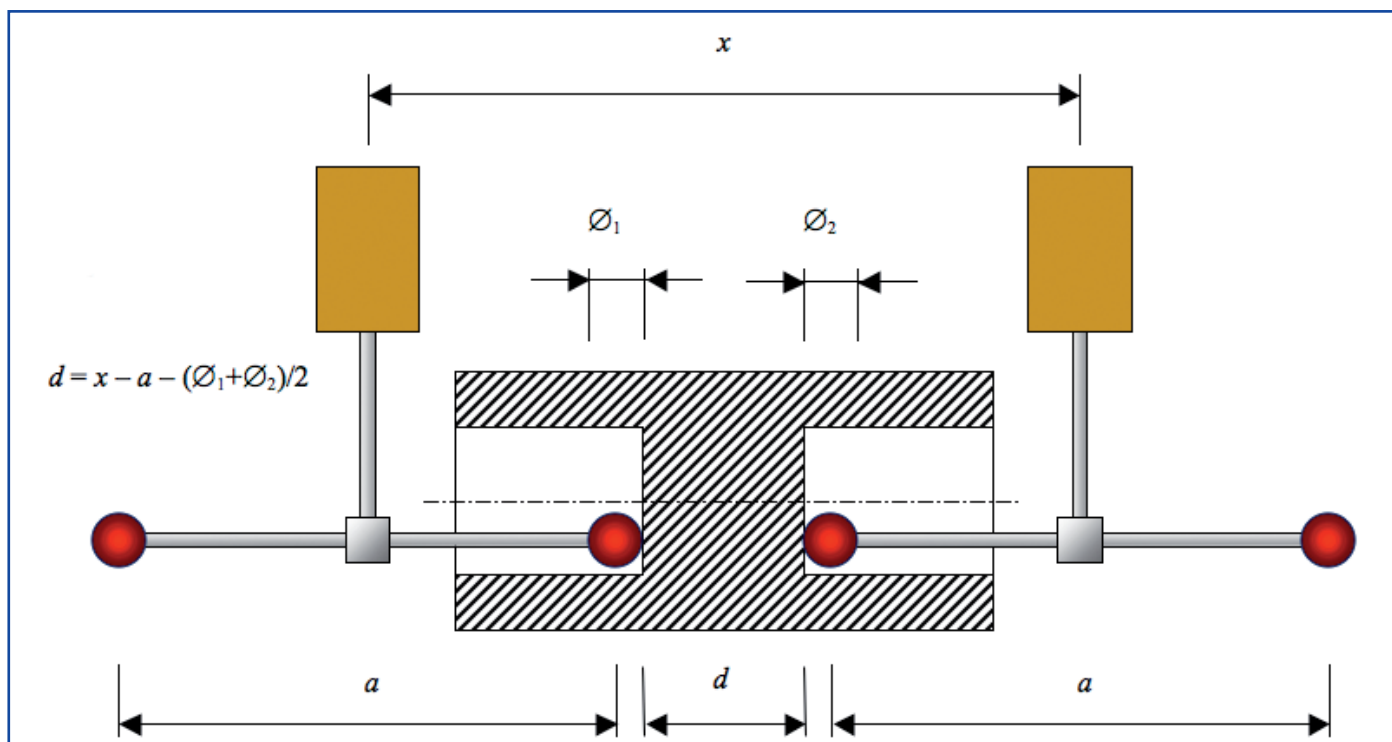


Fig. 5 - Esempio di misurazione con sistema multi stilo: l'offset mutuo, a , interviene direttamente nella determinazione dello spessore dello spallamento interno, d

Note:

9- In realtà, tale offset contribuisce a determinare la correzione degli errori di geometria, in particolare costituisce il braccio di rotazione parassita intorno al punto di riferimento solidale al cannotto. Essendo tale rotazione piccola, la conoscenza dell'offset può non essere accurata, perché piccoli errori portano a trascurabili effetti del secondo ordine. Questo punto è appena accennato in questa nota perché al di fuori dall'argomento principale.

10- Sfruttando quest'arbitrarietà, alcuni costruttori di CMM impongono che uno stilo sia preso a riferimento con offset nullo, e che gli altri ($n-1$) abbiano offset pari allo spiazzamento da questo.

Argomenti

Il sistema tastatore a contatto: errori, cause, consigli

1- Analizzare gli effetti dell'anisotropia sul misurando

Consideriamo ad esempio il caso della misura dell'interasse fra due fori cilindrici: se la strategia di campionamento (distribuzione dei punti di misura) è la medesima per i due fori, l'effetto di spostamento apparente dell'asse dovuto alle anisotropie del sistema tastatore, quale che sia, è uguale per entrambi i fori, e l'interasse non ne è affetto. Allo stesso modo, non è affetta la distanza fra due spallamenti paralleli ed equiversi (ad esempio le facce pari di un calibro a passi), perché per entrambi il tastatore è sollecitato nella stessa direzione e commette lo stesso errore per anisotropia. Al contrario, nell'esempio precedente la misura dei diametri dei due fori è affetta, in quanto il sistema tastatore è sollecitato in direzioni tutte nel piano ortogonale agli assi dei fori, mentre in qualificazione intervennero pure quelle in direzione ortogonale (verso il polo). Oppure, è affetta la misurazione delle distanze fra facce pari e dispari di un calibro a passi, perché non equiverse.

Considerare attentamente la geometria da misurare, per valutare se e quanto il misurando è sensibile all'anisotropia del sistema tastatore¹¹; quando possibile, progettare strategie di campionamento che minimizzino, o eliminino completamente, gli effetti dell'anisotropia.

2- Similarità di qualificazione

L'effetto di compensazione della penetrazione apparente è tanto più efficace quanto più le geometrie in qualificazione sono simili a quelle in misurazione. Quando la misurazione d'interesse si svolge tutta con direzioni di contatto contenute in un piano, ad esempio per un foro, sarebbe opportuno qualificare il sistema tastatore mediante un campione di riferimento cilindrico (tampone o anello), piuttosto che sferico: infatti, con la sfera la risposta sarebbe mediata anche in direzioni esterne al piano d'interesse. Quando la misurazione avvenga tutta in linea, ad esempio per un calibro a passi, sarebbe opportuno qualificare su un blocchetto pianparallelo allineato.

Purtroppo non sempre si riesce a seguire questo approccio, per due ragioni principali:

- Quando la geometria del pezzo in misura è complessa, il sistema tastatore è effettivamente sollecitato in tutte le direzioni: in questo caso la sfera è il miglior campione per la qualifica. In taluni casi, si può suddividere l'intera misurazione in brani corrispondenti a misurandi diversi, di cui alcuni consentono una qualificazione in similarità; ad esempio, di un pezzo complesso potrebbero essere richiesti il diametro di un foro e la larghezza di un'asola. In questi casi, si può qualificare ripetutamente il medesimo stilo come se fossero stili diversi, ciascuno con un campione di qualifica simile ad uno specifico misurando sul pezzo. Nell'esempio di prima, oltre alla qualificazione standard sulla sfera, si potrebbe qualificare su un anello e su un blocchetto pianparallelo, ed utilizzare la prima qualificazione per il foro e la seconda per l'asola¹².

Note:

11- Questo effetto è riconosciuto nella [4], in particolare nell'Appendice B, che tratta separatamente i casi di misurazioni *bidirezionali* e *monodirezionali*.

12- Questo metodo potrebbe avere controindicazioni quando degli elementi considerati (foro e asola nell'esempio) si misuri anche la posizione mutua, perché interviene l'offset dei singoli elementi di contatto. Nel caso, è necessario avere cura che gli stili registrati dalla CMM come immagine del medesimo qualificato con campioni diversi, mutuino lo stesso offset. Laddove il linguaggio di programmazione non consenta di imporre all'uno il valore ottenuto per l'altro, accertarsi almeno che i due valori ottenuti siano sufficientemente prossimi.

13- Questo metodo di simulazione è riconosciuto ed ammesso nella [4] § B.3.2.

- Alcuni linguaggi di programmazione impongono che la qualificazione avvenga su una sfera. In questi casi, si può ricorrere ad una correzione da programma: dopo la qualificazione standard, si misuri un campione tarato di geometria simile a quella del pezzo, si ricavi l'errore d'indicazione, e lo si sottragga durante le misurazioni successive.

Non sempre si hanno a disposizione molti campioni tarati di forme differenti per qualificare o correggere il tastatore a seconda delle circostanze. Si può allora ricorrere al trucco di simularli con la medesima sfera di qualificazione: dopo tutto, la sfera rende disponibili tutte le direzioni, e basta scegliere quelle desiderate, mediante un campionamento che separi la caratteristica d'interesse dalle altre (Figura 6).

- Simulazione di un tampone: si campioni la sfera lungo l'equatore nel piano ortogonale alla direzione dell'asse del tampone. Per evitare faticosi allineamenti, ed errori dovuti alla non perfetta centratura dell'equatore, si aggiunga un singolo punto sul polo: data l'ortogonalità, i punti sull'equatore determinano il diametro e la posizione del centro sul piano equatoriale, mentre quello sul polo solo la posizione del centro in direzione polare. Il punto sul polo rende stabile il calcolo della sfera senza necessità d'allineamento, e non ha effetto sul diametro, che incorpora quindi gli effetti di anisotropia soltanto nel piano equatoriale: proprio come avverrebbe con un tampone.
- Simulazione di un blocchetto pianparallelo: si prendano i due punti diametralmente opposti nella direzione di misura del blocchetto (poli). Per stabilizzare il calcolo ed evitare allineamenti ed errori, si prendano altri due punti, sull'equatore, separati angularmente di 90°. Poiché i punti sono quattro in tutto, la sfera misurata passa esattamente per ognuno di essi; data l'ortogonalità, soltanto la coppia polare determina il diametro (e la posizione del centro lungo l'asse), mentre gli altri due determinano la posizione del centro nel piano equatoriale. L'anisotropia sentita dal diametro è uguale a quella che si avrebbe con un blocchetto allineato lungo l'asse polare¹³.

3- Non lesinare nelle qualificazioni

Molti percepiscono la qualificazione del sistema tastatore come un'inevitabile fardello, da effettuare il meno possibile per perdere il minimo tempo. Essi però non considerano che ogni errore che si generi durante la qualificazione viene incorporato *permanentemente* nel diametro efficace dell'elemento di contatto, e degraderà

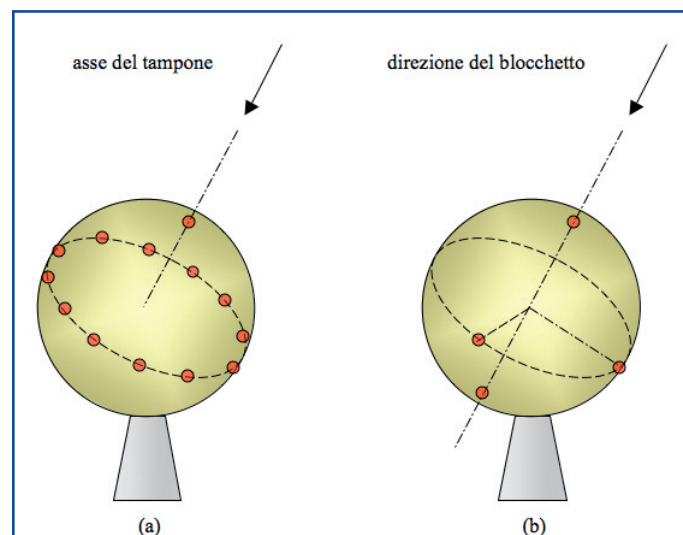


Fig. 6 - Simulazione di differenti geometrie con un'unica sfera (di qualifica)

ogni misura successiva (fino alla prossima qualificazione). Inoltre, l'effetto termico è nullo immediatamente a valle della qualificazione, ma cresce progressivamente, od oscilla, in seguito; ripetere spesso la qualificazione minimizza la separazione temporale, la deriva e quindi l'errore. È necessario avere particolare cura quando il sistema sia composto di stili molto lunghi e sbracciati, quando la misurazione sia lunga e dia tempo alla deriva, e quando i misurandi più critici siano effettivamente ottenuti mediante multi stilo.

Lesinare sulle qualificazioni è miope; piuttosto, abbondare e ripetere, per accertarsi che tutto sia andato a buon fine, e per mediare il miglior risultato.

4- Stimare l'effetto

Quando s'effettua la qualificazione, l'errore di forma apparente è interamente dovuto all'anisotropia del tastatore, perché quello della sfera o di altro campione di riferimento è trascurabile.

Non dimenticarsi mai di controllare tale errore di forma: oltreché permettere la stima dell'incertezza, è anche ottimo strumento diagnostico per intercettare eventuali altri guai (stili non ben serrati, elemento di contatto scheggiato, presenza di polvere, ...), segnalati da errori di forma d'entità abnorme.

Per stimare invece gli effetti termici, può giovare far precedere e seguire la misurazione effettiva da una ausiliaria della sfera di qualifica: la deriva apparente del centro segnala quella del sistema stilo.

tanti e delicate dell'intera misurazione: ahimè, spesso sottovalutata nella sua importanza. Il sistema tastatore è affetto da errori, dovuti alla differente risposta a seconda della direzione di contatto (anisotropia) e alle derive termiche. Tali errori, se da un lato non si possono eliminare, dall'altro si possono *ridurre e stimare*: consapevolezza e buona pratica permettono di porsi al riparo da guai in moltissimi casi; e negli altri, perlomeno di aver coscienza del pericolo.

Riferimenti

- [1] UNI EN ISO 10360 1:2005 Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) – Prove di accettazione e prove di riverifica per macchine per misurazione a coordinate (CMM) – Parte 1: Vocabolario.
- [2] UNI EN ISO 10360 5:2010 Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) – Prove di accettazione e prove di riverifica per macchine per misurazione a coordinate (CMM) – Parte 5: CMM dotate di sistemi tastatori a contatto a stilo singolo e multiplo.
- [3] UNI EN ISO 1:2003 Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) – Temperatura normale di riferimento per la specifica e verifica geometrica dei prodotti.
- [4] UNI EN ISO 10360 2:2010 Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) – Prove di accettazione e prove di verifica periodica per macchine di misura a coordinate (CMM) – Parte 2: CMM utilizzate per misurazioni dimensionali lineari.

Conclusioni

Il sistema tastatore è di vitale importanza nelle misurazioni con una CMM; la sua qualificazione è una delle operazioni più impor-

SPECIFICAZIONE E VERIFICA DIMENSIONALE E GEOMETRICA DEI PRODOTTI

di Alberto Zaffagnini

Prossimamente su Probing una rassegna di alcune norme di notevole rilevanza per l'attribuzione e l'interpretazione delle specifiche geometriche e dimensionali dei prodotti

La normativa di riferimento per la specificazione e la verifica delle caratteristiche geometriche e dimensionali dei prodotti è in continua evoluzione ed è organizzata, come ben sanno i soci del CMM Club, in un sistema integrato di norme denominato GPS (*Geometrical Product Specification*) diretta emanazione dei lavori del comitato tecnico ISO TC213.

Le norme che compongono l'edificio del GPS sono tante ma alcune rivestono particolare interesse per chi è chiamato quotidianamente ad operare nella specificazione e nella verifica dimensionale e geometrica dei prodotti, e tra questi ci sono certamente molti lettori di Probing.

A questo proposito, crediamo non ci siano dubbi nel citare quattro norme uscite negli ultimi anni, la cui conoscenza è imprescindibile per progettisti, produttori e verificatori di prodotti e dovrebbe quindi far parte del bagaglio tecnico-culturale. Stiamo parlando di:

- UNI EN ISO 8015:2011 "Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) - Principi fondamentali - Concetti, principi e regole"
- UNI EN ISO 14405-1:2011 "Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) - Tolleranze dimensionali - Parte 1: Dimensioni lineari"



Portsmouth, 29 settembre 1943 - Personale del Women's Royal Naval Service (WRNS) sposta un siluro per caricarlo su di un sottomarino. La costruzione dei siluri presso la Royal Torpedo Factory fu semplificata e resa più economica dall'introduzione delle tolleranze di posizione cilindriche da parte di Stanley Parker nel 1940.