



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	101999900777237
Data Deposito	27/07/1999
Data Pubblicazione	27/01/2001

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	23	Q		

Titolo

METODO E DISPOSITIVO PER CORREGGERE GLI ERRORI DI POSIZIONE DELL'UTENSILE IN MACCHINE OPERATRICI.
--

VE 99 A 000033

DESCRIZIONE

dell'invenzione avente per titolo:

" Metodo e dispositivo per correggere gli errori di posizione dell'utensile in macchine operatrici "

della FPT INDUSTRIE S.P.A. a Camposampiero (Padova)

depositata il **27** luglio 1999 presso l'Ufficio Provinciale dell'Industria, del

Commercio e dell'Artigianato di Venezia al numero di domanda **VE 99 A 000033**

La presente invenzione concerne un metodo ed un dispositivo per correggere gli errori di posizione dell'utensile in macchine operatrici.

Nelle macchine operatrici in genere e nelle macchine fresatrici in particolare si manifesta durante il funzionamento un errore consistente tra la posizione teorica dell'utensile rispetto al pezzo da lavorare e la sua posizione reale.

Questo errore, che globalmente può essere definito errore geometrico, è dato da due contributi: l'errore di posizione di un punto di riferimento dell'utensile (ad esempio il centro della sfera dell'utensile di forma sferica, oppure l'estremità assiale dell'utensile di forma cilindrica) e l'errore di orientamento dell'asse dell'utensile rispetto all'orientamento teorico. La presente invenzione è essenzialmente rivolta a ridurre l'errore di posizione dell'utensile, che si manifesta sia staticamente che durante il movimento degli assi. L'invenzione è rivolta altresì a correggere l'orientamento dell'utensile.

La riduzione dell'errore di posizione dell'utensile che si presenta nelle macchine operatrici è fondamentale in quanto permette di migliorare la qualità della lavorazione ed al tempo stesso consente di effettuarla con maggiori velocità ed accelerazioni, riducendo perciò i tempi e conseguentemente i costi della stessa.

In particolare la riduzione dell'errore di posizione nelle fresatrici dedicate alla lavorazione degli stampi è molto importante sia per migliorare la precisione, sia per ridurre le lavorazioni manuali di lucidatura, che comportano tempi e costi elevati ed incertezze di risultato.

Indipendentemente comunque dal tipo di errore, è noto che gli errori di posizione e di orientamento sono presenti sia staticamente, durante le lavorazioni a basse velocità ed a basse accelerazioni, sia dinamicamente

durante lavorazioni ad elevata dinamica, con velocità ed accelerazioni elevate.

Per tutti questi motivi è oltremodo importante ridurre quanto più è possibile l'errore che una macchina operatrice in genere presenta durante il funzionamento, e gli sforzi dei progettisti e dei costruttori di macchine operatrici sono stati costantemente rivolti in questa direzione, intervenendo in fase di progetto sulle caratteristiche dinamiche degli assi e sulla struttura della macchina, sulla riduzione dei parametri di lavorazione e sulla ottimizzazione dei sistemi di controllo degli assi, funzione delle corse degli stessi, della potenza del mandrino e dei pesi del pezzo da lavorare e degli accessori.

Queste note soluzioni pertanto hanno comportato la necessità di movimentare masse considerevoli, le quali limitano le frequenze proprie degli assi e le frequenze proprie strutturali a valori da circa 10 Hz a 30 Hz in relazione alle corse ed ai pesi delle parti mobili. A loro volta le basse frequenze limitano le prestazioni ottenibili con il controllo numerico ed in particolare limitano il guadagno del ciclo di spazio e gli altri parametri connessi, che si traducono poi in limiti sulla precisazione ottenibile, tanto più bassa quanto più aumentano le velocità e le accelerazioni durante la lavorazione.

Recentemente sono state proposte macchine a forma di esapode, che supportano rigidamente il mandrino con masse strutturali inferiori; esse però hanno aumentato le frequenze proprie della macchina, ma al tempo stesso hanno posto notevoli limiti alla lavorazione, a causa della particolare tipologia della macchina stessa.

Scopo principale dell'invenzione è di correggere gli errori di posizione dell'utensile nelle macchine operatrici, allo scopo di raggiungere elevate

velocità ed accelerazioni delle parti mobili ed al tempo stesso elevate precisioni, senza porre sostanziali limiti alle prestazioni della macchina stessa e senza complessità realizzative.

Altro scopo dell'invenzione è di correggere in ciclo aperto l'errore di posizione letto sugli assi della macchina, oltre alla componente centrifuga dell'errore di posizione dell'utensile, dedotto dalle masse dalla rigidità della struttura nelle varie direzioni.

Altro scopo dell'invenzione è di correggere la posizione dell'utensile tenendo conto dell'errore tra la posizione dell'utensile e la posizione degli assi e di ridurre in tal modo ulteriormente l'errore tra la posizione reale e la posizione teorica dell'utensile stesso.

Altro scopo dell'invenzione è di ridurre drasticamente l'errore statico all'inversione del moto, dovuto ai ritardi di risposta all'inversione delle forze d'attrito, e di migliorare sensibilmente i valori statistici della precisazione di posizionamento degli assi.

Altro scopo dell'invenzione è di correggere l'orientamento dell'utensile.

Altro scopo dell'invenzione è di rendere possibile l'effettuazione di un test in ogni momento sul comportamento del mandrino nelle tre direzioni, alle diverse frequenze, in funzione della posizione degli assi.

Altro scopo dell'invenzione è di elevare notevolmente la rigidità dinamica della macchina durante le lavorazioni ad asportazione di potenza, eliminando o riducendo le vibrazioni autoeccitate dalla lavorazione ("chatter"), elevando notevolmente i limiti di asportazione della macchina e consentendo un controllo continuo dell'ampiezza delle vibrazioni presenti sul mandrino, sia per chatter che per sbilanciamento dell'utensile, con eventuale segnalazione del superamento, od intervento automatico sui parametri di lavorazione.

Altro scopo dell'invenzione è di rendere possibile la misurazione dello sforzo utensile in ragione della rigidità del mandrino già acquisita in precedenza mediante misurazioni, con possibilità pertanto di verificare l'integrità dell'utensile ed il suo stato di usura, nonché di correggerne le deformazioni indotte sulla macchina.

Altro scopo dell'invenzione è di rendere possibile una correzione continua della posizione dell'utensile durante la sua rotazione, correggendo in più od in meno in modo molto preciso il diametro e la forma del foro durante la lavorazione di alesatura.

Tutti questi scopi ed altri che risulteranno dalla descrizione che segue, sono raggiunti, secondo l'invenzione, con un metodo di correzione degli errori di posizione dell'utensile in macchine operatrici, caratterizzato dal fatto che:

- si determina lo scostamento almeno parziale tra la posizione teorica dell'utensile, riferita ad almeno un grado di libertà, e la sua posizione reale,
- si trasforma detto scostamento in un segnale di correzione, e
- si comanda con detto segnale di correzione lo spostamento dell'utensile secondo quel grado di libertà rispetto alla struttura che lo supporta.

L'invenzione comprende anche un dispositivo di correzione degli errori di posizione dell'utensile in macchine operatrici caratterizzato dal fatto di comprendere:

- almeno un organo per la regolazione di almeno un grado di libertà dell'utensile, detto organo essendo inserito nella struttura di supporto dell'utensile,
- mezzi di determinazione almeno parziale dello scostamento tra il valore teorico ed il valore reale della coordinata corrispondente a detto grado di libertà, e

- mezzi di trasformazione di detto scostamento in segnale di comando di detto organo di lavorazione.

La presente invenzione viene qui di seguito ulteriormente chiarita in una sua preferita forma di pratica realizzazione, riportata a scopo puramente esemplificativo e non limitativo, con riferimento alle allegate tavole di disegni, in cui:

la figura 1 mostra schematicamente una macchina fresatrice con l'utensile mobile secondo tre gradi di libertà e provvisto di dispositivo di correzione secondo l'invenzione,

la figura 2 mostra schematicamente in vista ingrandita e parzialmente sezionata la piastra di correzione interposta tra la macchina ed il mandrino portautensile,

la figura 3 mostra schematicamente la piastra di correzione in vista frontale,

la figura 4 mostra in sezione particolare ingrandita un attuatore della piastra di correzione,

la figura 5 mostra schematicamente la macchina di figura 1 collegata con un circuito di correzione relativo ad un grado di libertà,

la figura 6 mostra quattro forme d'onda evidenzianti l'intervento del dispositivo di correzione, e

la figura 7 mostra lo schema a blocchi funzionali del dispositivo applicato allo slittone di una macchina fresatrice.

Come si vede dalle figure il trovato secondo l'invenzione trova applicazione a tutte le tipologie di macchine operatrici, anche di tipo tradizionale, e consiste anche nel realizzare, preferibilmente in prossimità dell'utensile (sul pezzo è meno facile, dati i pesi e le dimensioni di questo), un sistema attivo dotato di una prontezza e di una fedeltà di risposta molto più

alte di quelle della macchina, in grado di realizzare movimenti al fine di correggere la posizione ed eventualmente anche l'orientamento dell'utensile rispetto al pezzo.

Ciò che distingue essenzialmente il dispositivo oggetto della presente invenzione dai dispositivi tradizionali è il fatto che esso realizza i movimenti di correzione dell'utensile (assi di correzione) nelle stesse direzioni già presenti sugli assi della macchina (assi principali di movimento), e perciò i gradi di libertà della macchina risultano essere ripetuti nel dispositivo secondo l'invenzione, che realizza i movimenti nella stessa direzione degli assi principali della macchina, che devono essere corretti. Tuttavia, mentre gli assi principali della macchina coprono l'intero campo di lavoro, e sono perciò pesanti e lenti, gli assi di correzione del dispositivo secondo l'invenzione, che realizza i movimenti dell'utensile nelle stesse direzioni, hanno corse limitate all'ampiezza della correzione e, dovendo muovere masse molto contenute, consentono di raggiungere una elevata rapidità di risposta.

In fig. 1 è schematicamente illustrata una macchina fresatrice, alla quale è applicato un dispositivo secondo l'invenzione. La macchina comprende un carro 2, mobile lungo l'asse X lungo un basamento fisso 4 e sostiene un montante 6, lungo il quale è scorrevole lungo l'asse Z una mensola 8.

La mensola 8 sostiene scorrevolmente lungo l'asse Y uno slittone 10, alla cui estremità è montato il supporto del mandrino portautensile 12.

Tra lo slittone 10 ed il supporto del mandrino portautensile 12 è interposta la parte di attuazione del dispositivo secondo l'invenzione, indicata genericamente con il numero 14.

Nella forma di realizzazione esemplificata essa è costituita da una piastra, nella quale sono alloggiati tre cilindri idraulici identici 16 a doppio effetto ed assi paralleli. Due di questi cilindri sono posti ad uno stesso livello inferiore, mentre il terzo è posto ad un livello superiore. Essi sono interfacciati ad una piastra 18 del supporto del mandrino portautensile 12 e tra questi ed il supporto del mandrino sono interposte tre molle a disco assiali 20, aventi la funzione di consentire i soli tre movimenti richiesti, senza consentire movimenti di traslazione laterale e rotazione assiale.

I tre cilindri idraulici sono indipendentemente alimentati da servovalvole 22 ad elevata prontezza di risposta, che consentono alla piastra 18 stessa di muoversi in modo da attuare movimenti di correzione dell'utensile nelle tre direzioni.

In particolare il movimento contrapposto dei due cilindri inferiori e dell'attuatore superiore provoca la rotazione della piastra 18 attorno all'asse X e conseguentemente provoca movimenti dell'utensile in direzione dell'asse Z; il movimento contrapposto dei soli cilindri inferiori provoca la rotazione della piastra 18 attorno all'asse Z e conseguentemente provoca movimenti di correzione dell'utensile in direzione dell'asse X; movimenti simultanei dei tre cilindri provocano la traslazione della piastra 18, e quindi dell'utensile, in direzione dell'asse Y.

La rigidità delle molle e dell'olio presente negli attuatori, la massa del supporto 12 del mandrino e la rapidità di risposta delle servovalvole 22 consentono di raggiungere bande passanti del sistema di movimentazione del supporto del mandrino rispetto alla traversa 10 molto elevate, superiori ai 50 Hz.

Naturalmente sono possibili anche altre realizzazioni, utilizzando differenti tipi di attuatori (servomotori, dispositivi piezoelettrici, ecc.) in grado di realizzare i movimenti con differenti cinematismi (azionamento diretto, viti a sfere, ecc.).

Il principio generale sul quale si basa il funzionamento del dispositivo secondo l'invenzione risulta chiaramente dall'esame della fig. 5. In questa si vede che con riferimento al tipo di correzione effettuata e riguardante, per semplicità di rappresentazione, il solo asse X, in una macchina infinitamente rigida se X_0 è la coordinata della posizione teorica comandata, mentre X_a è la coordinata reale dell'asse X e X_u è la coordinata reale dell'utensile, l'errore di posizione dell'asse e dell'utensile relativamente alla direzione X è data da $X_{a0} = X_0 - X_a = X_0 - X_u = X_{u0}$.

Il segnale X_{a0} viene elaborato dal software del dispositivo e fornisce agli attuatori del dispositivo di correzione gli idonei comandi per far coincidere il valore reale della coordinata X_u con il valore teorico X_0 .

In fig. 6 si può osservare il grafico teorico che esprime l'andamento nel tempo della componente di movimento secondo l'asse X: la fig. 6a illustra l'andamento teorico, la fig. 6b l'andamento reale, che differisce dall'andamento teorico a causa degli errori del sistema di controllo; la fig. 6c illustra l'andamento del segnale correttivo, che viene determinato istantaneamente dal confronto tra la posizione teorica e la posizione reale dell'asse; e la fig. 6d illustra l'andamento corretto della componente di movimento dell'utensile, nella direzione X sensibilmente simile all'andamento teorico, grazie alla elevata rapidità e fedeltà di risposta del dispositivo di correzione.

Quanto ora detto, e limitato alla coordinata X per motivi di chiarezza espositiva, vale evidentemente anche per le altre coordinate, allo scopo di attuare l'azione correttiva nello spazio.

Nell'esempio ora illustrato l'entità della correzione da effettuare, e cioè il dato da introdurre nel sistema di elaborazione del segnale di correzione, è ottenuto per differenza tra il valore della coordinata teorica X_0 ed il valore della coordinata reale X_a . Tuttavia altri criteri di acquisizione delle informazioni necessarie alla correzione possono essere utilizzati. Ad esempio si possono utilizzare:

- correzioni desunte da precedenti misurazioni effettuate sul pezzo,
- correzioni del comportamento degli assi della macchina desunte da misurazioni delle stesse,
- calcolo dell'errore di posizione dell'utensile dato dai cedimenti strutturali dedotti dalla conoscenza della velocità e della accelerazione in tempo reale, desunto dalle caratteristiche di risposta e di cedimento della macchina precedentemente acquisite,
- lettura in tempo reale dell'errore di posizione tra posizione teorica e posizione reale degli assi principali della macchina,
- misura della componente dinamica dell'errore di posizione dell'utensile misurata ad esempio con l'impiego di accelerometri di elevata precisione posti in prossimità del mandrino,
- misura assoluta della posizione reale dell'utensile in relazione alla posizione teorica comandata dal controllo numerico.

Da quanto detto risulta chiaramente che il metodo ed il dispositivo secondo l'invenzione raggiungono pienamente gli scopi enunciati, ed in particolare:

- consentono di correggere gli errori di posizione dell'utensile in macchine operatrici, raggiungendo elevate velocità ed accelerazioni delle parti mobili ed al tempo stesso elevate precisioni, pur senza sostanziali limiti sulle prestazioni della macchina stessa e senza complessità realizzative,
- consentono di correggere in ciclo aperto l'errore di posizione letto sugli assi della macchina, oltre alla componente centrifuga della struttura, dedotta dalla rigidità nelle varie direzioni,
- consentono di correggere la posizione dell'utensile tenendo conto dell'errore tra la posizione dell'utensile e la posizione degli assi, e di ridurre in tal modo ulteriormente l'errore tra la posizione reale e la posizione teorica dell'utensile stesso,
- riducono drasticamente l'errore statico all'inversione del moto, dovuto ai ritardi di risposta all'inversione delle forze d'attrito, e migliora sensibilmente i valori statistici della precisione di posizionamento degli assi,
- consentono di correggere l'orientamento dell'utensile,
- rendono possibile l'effettuazione in ogni momento di un test sul comportamento del mandrino nelle tre direzioni, alle diverse frequenze, in funzione della posizione degli assi,
- elevano notevolmente la rigidità dinamica della macchina durante le lavorazioni ad asportazione di potenza, eliminando o riducendo le vibrazioni autoeccitate della lavorazione ("chatter"), elevando notevolmente i limiti di asportazione della macchina e consentendo un controllo continuo dell'ampiezza delle vibrazioni presenti sul mandrino sia per chatter che per sbilanciamento dell'utensile, con eventuale segnalazione del superamento, od intervento automatico sui parametri di lavorazione,

- rendono possibile la misurazione dello sforzo utensile in ragione della rigidità del mandrino già acquisita in precedenza con gli spettri di risposta, con possibilità pertanto di verificare l'integrità dell'utensile ed il suo stato di usura, nonché di correggerne le deformazioni indotte sulla macchina,
- rendono possibile una correzione continua della posizione dell'utensile durante la sua rotazione correggendo in più od in meno in modo molto preciso il diametro e la forma del foro durante la lavorazione di alesatura.

La presente invenzione è stata illustrata e descritta in una sua preferita forma di pratica realizzazione, ma si intende che varianti esecutive potranno ad essa in pratica apportarsi senza peraltro uscire dall'ambito di protezione del presente brevetto per invenzione industriale.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo di correzione degli errori di posizione dell'utensile in macchine operatrici caratterizzato dal fatto che:
 - si determina lo scostamento almeno parziale tra la posizione teorica dell'utensile, riferita ad almeno un grado di libertà, e la sua posizione reale,
 - si trasforma detto scostamento in un segnale di correzione, e
 - si comanda con detto segnale di correzione lo spostamento dell'utensile secondo quel grado di libertà rispetto alla struttura che lo supporta.
2. Metodo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che si determina lo scostamento per correzioni desunte da precedenti misurazioni effettuate sul pezzo.
3. Metodo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che si determina lo scostamento del comportamento degli assi della macchina dal comportamento teorico, desunto da misurazioni dello stesso.
4. Metodo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che si determina lo scostamento mediante calcolo dell'errore di posizione dell'utensile dato dai cedimenti strutturali dedotti dalla conoscenza della velocità e della accelerazione in tempo reale, detto errore essendo desunto dalle masse e dalle rigidità strutturali e dalle caratteristiche di risposta della macchina in precedenza acquisite.
5. Metodo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che si determina lo scostamento tramite lettura in tempo reale dell'errore di posizione tra posizione teorica e posizione reale dell'asse.
6. Metodo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che si determina lo scostamento tramite misura della componente dinamica

dell'errore di posizione dell'utensile misurata con impiego di accelerometri di elevata precisione posti in prossimità del mandrino dell'utensile stesso.

7. Metodo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che si determina lo scostamento tramite misura assoluta della posizione reale dell'utensile in relazione alla posizione teorica comandata dal controllo numerico della macchina stessa.

8. Dispositivo per attuare il metodo di correzione degli errori di posizione dell'utensile in macchine operatrici secondo le rivendicazioni da 1 a 7 caratterizzato dal fatto di comprendere:

- almeno un organo per la regolazione di almeno un grado di libertà dell'utensile, detto organo essendo inserito nella struttura di supporto dell'utensile ed avendo rapidità di risposta almeno doppia di quella della macchina in detto grado di libertà,
- mezzi di determinazione almeno parziale dello scostamento tra il valore teorico ed il valore reale della coordinata corrispondente a detto grado di libertà, e
- mezzi di trasformazione di detto scostamento in segnale di comando di detto organo di regolazione.

9. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che detto organo per la regolazione di almeno un grado di libertà dell'utensile ha rapidità di risposta superiore almeno del 50% di quella della macchina in detto grado di libertà.

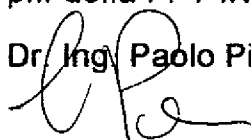
10. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che l'organo per la regolazione di almeno un grado di libertà dell'utensile ha rapidità di risposta almeno doppia di quella della macchina in detto grado di libertà.

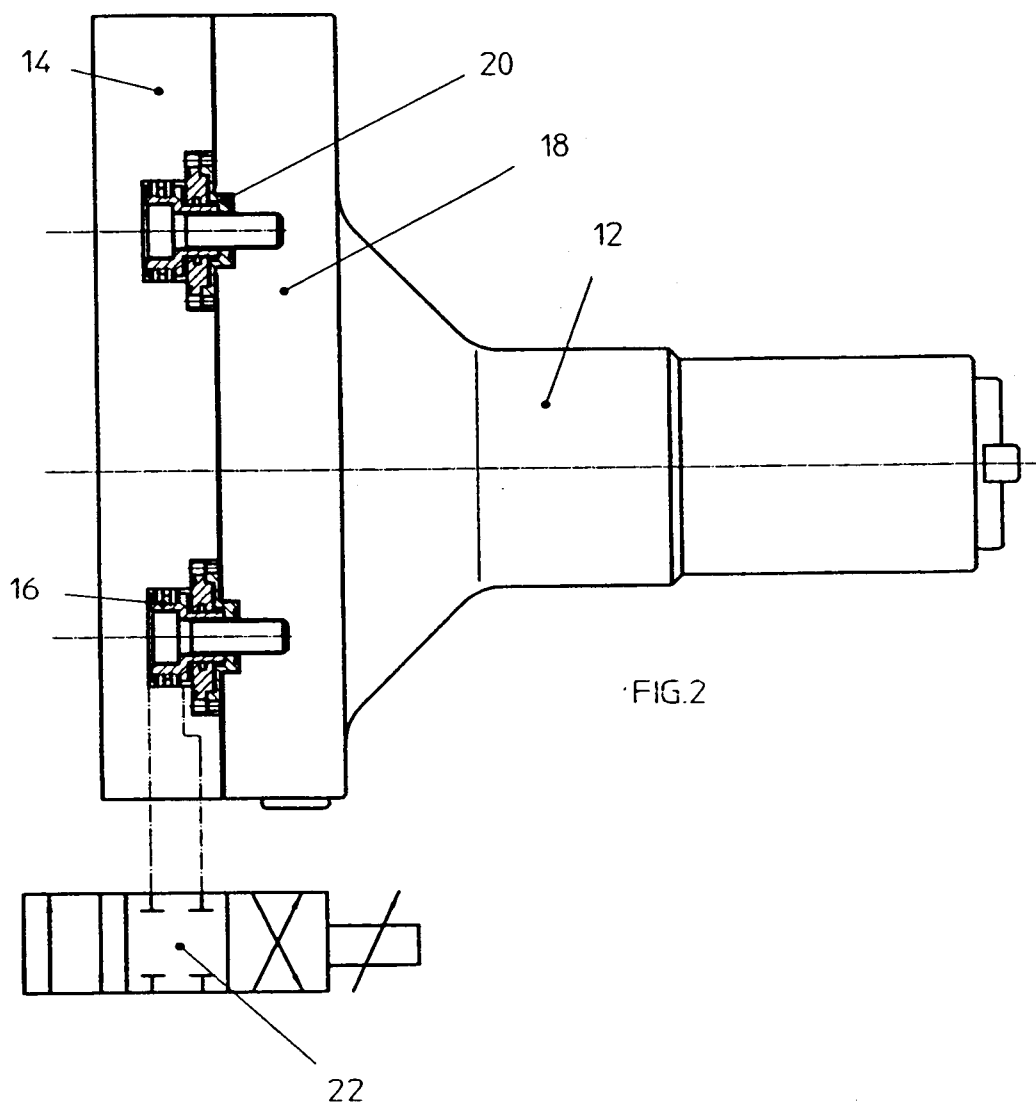
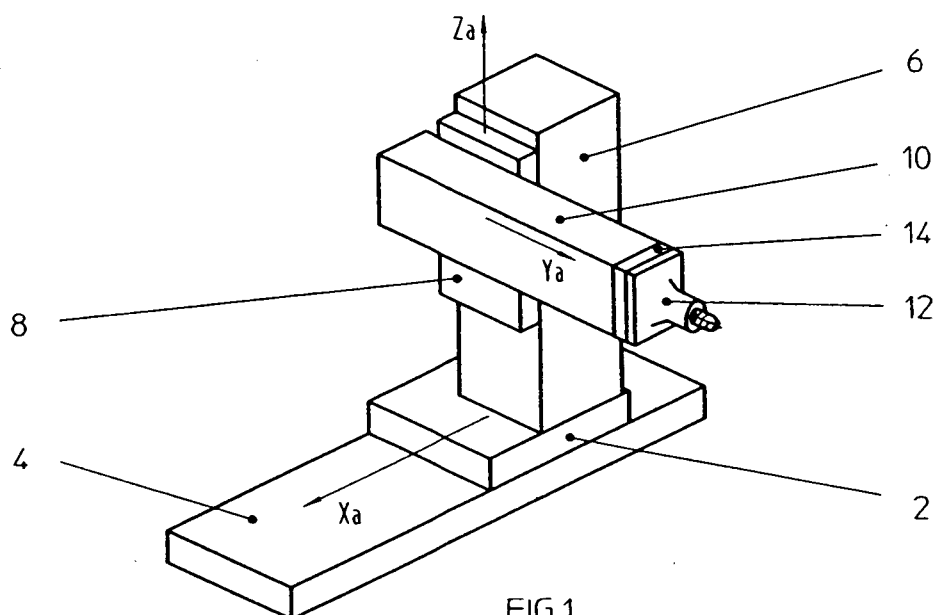
11. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che nella struttura di supporto dell'utensile è inserito almeno un attuatore agente con una componente secondo detto grado di libertà.
12. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che nella struttura di supporto dell'utensile sono inseriti tre attuatori non allineati, azionabili indipendentemente fra loro.
13. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che tra lo slittone della macchina e la struttura di supporto del mandrino sono inseriti tre attuatori agenti parallelamente tra loro.
14. Dispositivo secondo la rivendicazione 11 caratterizzato dal fatto che detto attuatore è costituito da un cilindro idraulico a doppio effetto, inserito nella struttura di supporto dell'utensile, la quale è realizzata in due parti tra le quali sono anche interposte molle a disco assiali.
15. Dispositivo secondo la rivendicazione 11 caratterizzato dal fatto che ciascun attuatore è collegato per la sua alimentazione ad una servovalvola idraulica.
16. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che detto attuatore è di tipo piezoelettrico.
17. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che detti mezzi di determinazione dello scostamento sono costituiti da segnali disponibili dal controllo numerico della macchina.
18. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che detti mezzi di determinazione dello scostamento sono costituiti da sensori delle rotazioni dinamiche, cui sono soggette le strutture che compongono la macchina durante la lavorazione.

19. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un accelerometro di rilevamento dell'errore tra la posizione reale del supporto del mandrino e la sua posizione teorica.
20. Dispositivo secondo la rivendicazione 8 caratterizzato dal fatto che l'accelerometro è posto a valle del corrispondente attuatore.
21. Dispositivo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto di comprendere mezzi di retroazione per la misura della correzione.
22. Metodo di correzione degli errori di posizione dell'utensile in macchine operatrici secondo le rivendicazioni da 1 a 7 e dispositivo per attuare il metodo secondo le rivendicazioni da 8 a 21 e sostanzialmente come descritti e illustrati.

p.i. della FPT INDUSTRIE S.P.A.

Dr. Ing. Paolo Piovesana





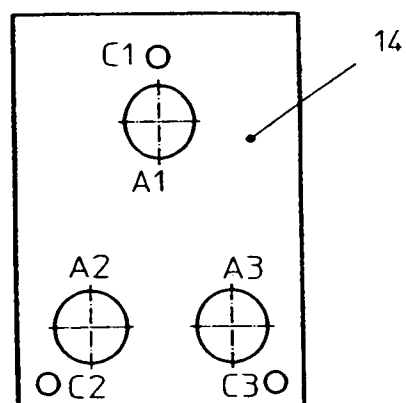


FIG.3

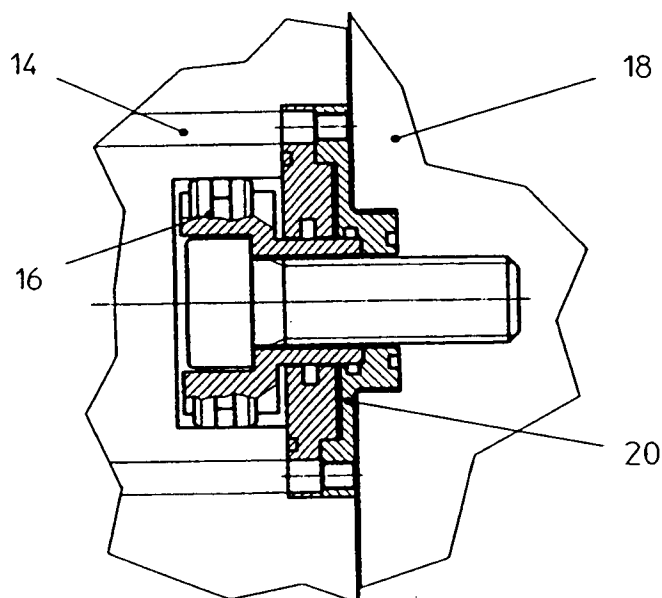


FIG.4

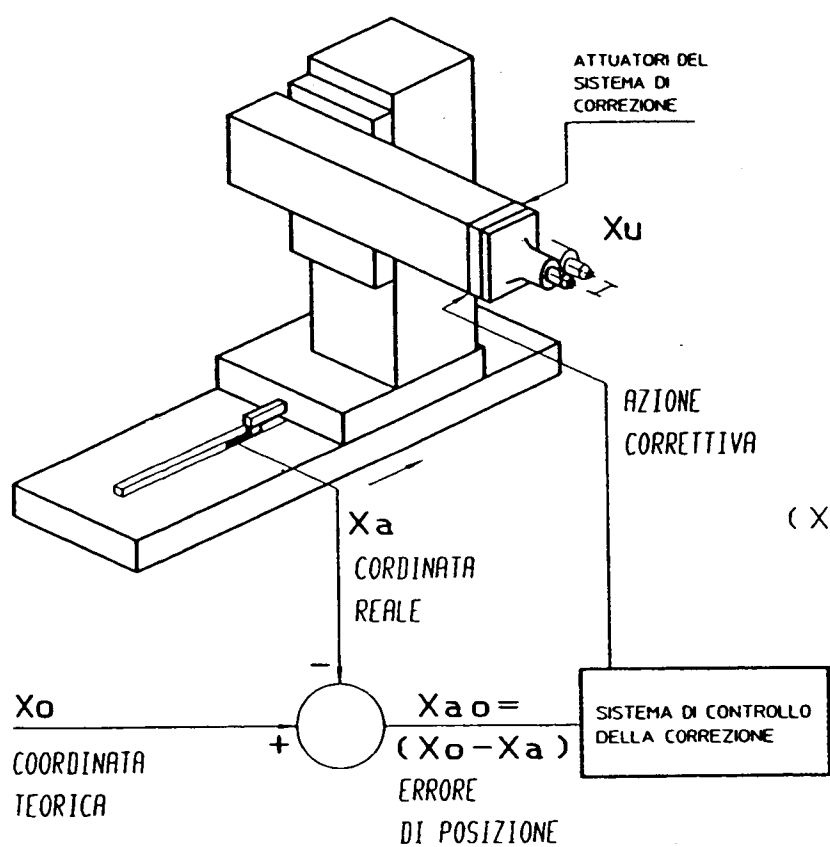


FIG.5

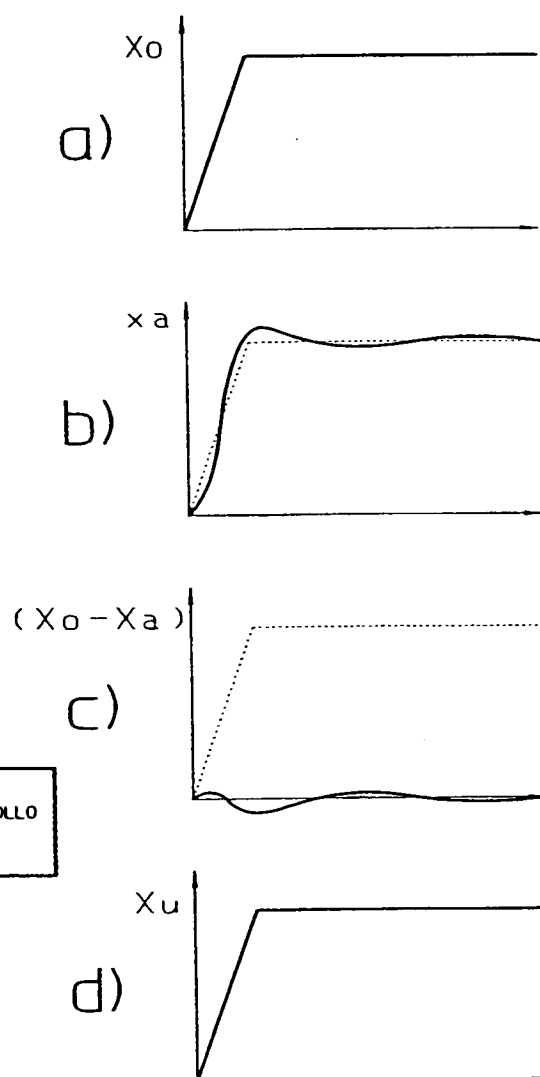


FIG.6

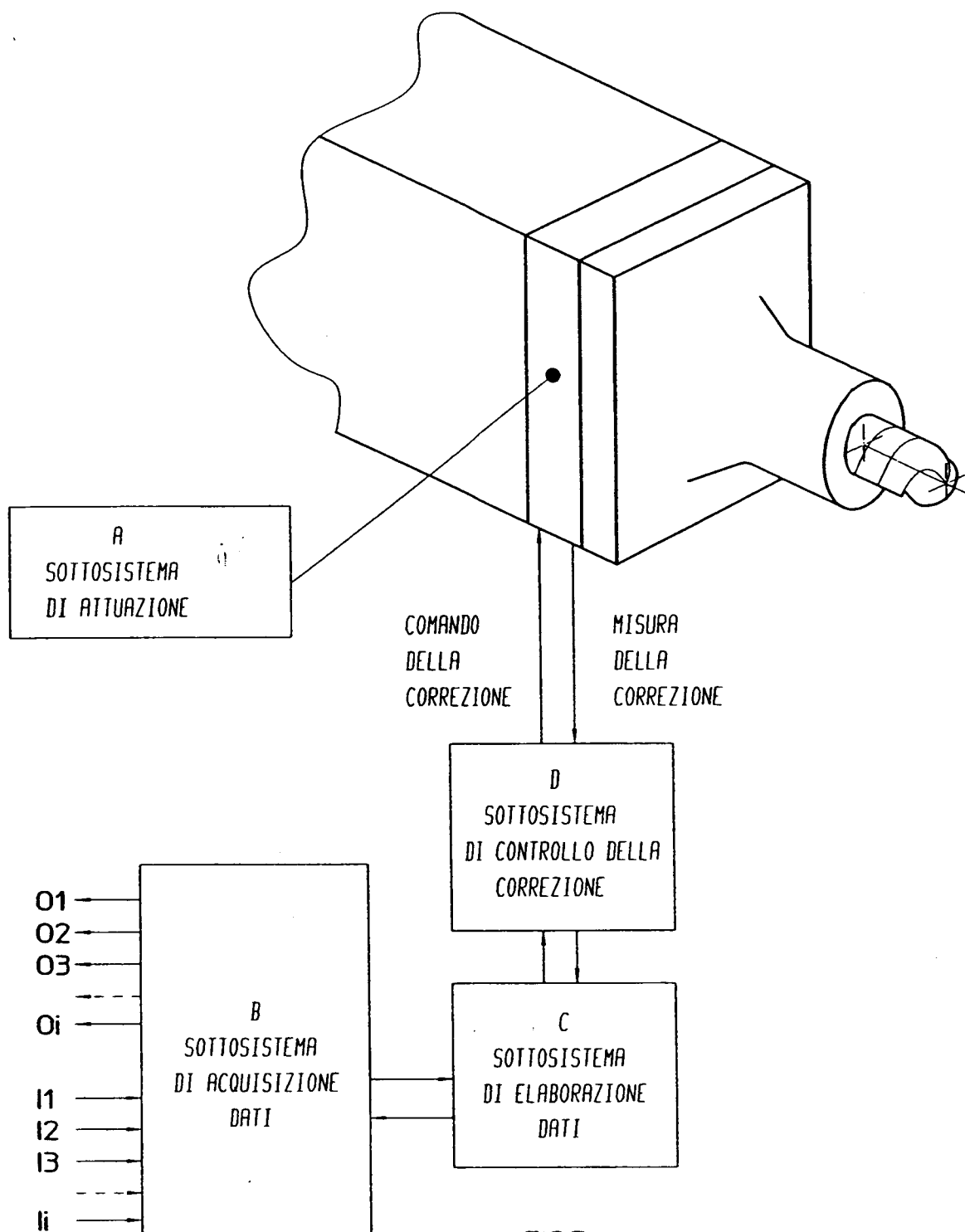


FIG. 7