

PROPOSTA DI UN PROTOCOLLO INNOVATIVO DI COLLAUDO PER MACCHINE UTENSILI SPECIALI

Giacomo Gelmi, Enzo Gentili, Raffaele Lefemine, Giovanni Moroni
Laboratorio MUSP, Università di Brescia, Politecnico di Milano

1 INTRODUZIONE

L'industria della macchina utensile italiana offre al mercato una vasta tipologia di macchine in termini di dimensioni e configurazioni. Questo nasce dall'esigenza del cliente di affrontare problemi di lavorazione così variabili in impegno e livello di difficoltà che la macchina deve essere pensata e realizzata quasi su misura per lo scopo al quale la macchina deve essere destinata, senza tuttavia togliere alla macchina di cui stiamo parlando le generiche caratteristiche di capacità di lavorazione che sono peculiari la tipologia di macchina a cui appartiene.

Ad esempio, un cliente potrebbe avere bisogno di una macchina che si rifà al Tornio Verticale, ma presenta due montanti con traversa mobile, un carro di tornitura sulla traversa, ma dotata anche di un mandrino di fresatura ad asse verticale mobile sulla traversa ed uno ad asse orizzontale mobile sul montante, di un carro a rettificare sulla traversa e di una tavola porta pezzo adatta ad operazioni di tornitura e contemporaneamente capace di posizionarsi con la precisione di una tavola di posizionamento angolare. Questa sicuramente è da considerarsi una macchina non convenzionale anche se si può dire che conserva le caratteristiche tipiche di un Tornio Verticale.

E' chiaramente impensabile che si possa costruire un Sistema Normativo capace di definire norme di collaudo per ciascuna tipologia di macchine speciale, in quanto le configurazioni che una macchina può assumere sono di una variabilità praticamente illimitata.

E' necessario, quindi, porsi il problema della definizione di un Sistema Normativo che si possa rivolgere al collaudo delle macchine utensili rendendolo indipendente dalla configurazione che la macchina può assumere. Lo scopo del presente lavoro è proprio questo ed è determinato dal fatto che molto spesso, sul campo, ci si trova di fronte a situazioni di questo genere che possono generare discussioni e contenziosi a volte molto spiacevoli.

E' nata così una proposta di approccio modulare alla definizione di un protocollo di collaudo che sia indipendente dalla configurazione che la macchina utensile assume pur mantenendo tutte le caratteristiche di rigore tecnico che un protocollo di collaudo esige.

2 LA STATO DELL'ARTE

Quando, trenta anni fa, si parlava di una macchina utensile e, per esempio, si parlava di un tornio parallelo non c'erano dubbi sulla struttura fondamentale della macchina considerata. Essa, infatti, era costituita sempre da un bancale sul quale si allocavano: una testa motrice, un corpo contropunta, un carro porta utensile. La testa motrice costituiva l'elemento fondamentale porta pezzo e serviva a mettere in movimento rotatorio il particolare che doveva essere lavorato. Il corpo contropunta era l'elemento che, allineato con l'asse mandrino della testa motrice, costituiva il naturale supporto del pezzo da lavorare quando questo aveva dimensioni tali da non permettere una lavorazione a sbalzo dalla testa motrice. Il carro porta utensile costituiva il componente meccanico più complesso della macchina ed aveva la funzione di poter muovere l'utensile nel volume di lavoro della macchina secondo due direzioni fondamentali che dovevano essere orientate con giaciture parallele ed ortogonali all'asse macchina e che veniva individuato come l'asse definito dalla testa motrice e della contropunta. In più questo carro porta utensile doveva essere capace di fare lavorare i suoi assi in interpolazione fra di loro per l'esecuzione di torniture coniche o profilature di varia tipologia e

far lavorare l'asse con giacitura parallela all'asse macchina in interpolazione con l'asse di rotazione della testa motrice per l'esecuzione di filettature.

Questo si intendeva allora per tornio parallelo ed in questa definizione si identificavano tutte le tipologie di torni paralleli che venivano prodotti dal mercato. Si potevano anche rilevare delle varianti a questa schematizzazione strutturale quali ad esempio le attrezzature di fissaggio del pezzo potevano essere piattforme con autocentrante o a griffe indipendenti, si poteva avere la presenza o meno di lunette di supporto del pezzo per lavorazione di particolari di elevata snellezza, la struttura del corpo contropunta poteva essere o monoblocco o strutturato in due corpi sovrapposti con o senza canotto porta punta, fissa o girevole, ma tutte queste possibili varianti erano da riguardarsi più come complementi che come varianti effettive, ciò a dire che la struttura concettuale della macchina rimaneva sempre la stessa.

Il tornio parallelo era una macchina capace di effettuare lavorazioni meccaniche con asportazione di truciolo caratterizzate da una sostanziale simmetria cilindrica e con livelli di finitura superficiale tipiche delle lavorazioni di tornitura, con un campo di rugosità Ra compreso tra 0,8 e 12,5 μm . I torni paralleli erano, in particolare, caratterizzati da certe condizioni contrattuali standard che definivano:

- le caratteristiche dimensionali/funzionali generali della macchina;
- le condizioni di allineamento geometrico dei suoi organi fondamentali;
- le capacità di lavorazioni di finitura di semplici particolari meccanici tipici delle operazioni di tornitura.

In generale, quando si parlava di macchine utensili si faceva riferimento a macchine con caratteristiche strutturali e funzionali ben definite, generalmente dedicate ad una ed una sola lavorazione meccanica per asportazione di truciolo fra quelle classicamente definite, quali:

- | | | |
|--------------|--------------|---------------|
| ○ Tornitura | ○ Alesatura | ○ Brocciatura |
| ○ Piallatura | ○ Fresatura | ○ Rettifica |
| ○ Foratura | ○ Stozzatura | ○ Dentatura |

Non si vuole rifare qui la storia della evoluzione della macchina utensile, che è storia complessa ed articolata, ma si vuole solamente constatare che inizialmente definire nei suoi elementi fondamentali la struttura ed l'operatività di una macchina utensile era discorso abbastanza facile o meglio era un discorso dai contorni ben delimitati: un tornio era solo un tornio, un trapano era solo un trapano, una alesatrice era solo una alesatrice e così via.

In quelle condizioni anche il problema della definizione delle caratteristiche qualitative della macchina era un problema che permetteva di essere affrontato per categorie e, pertanto, permetteva di costruire un blocco di documenti che garantivano la copertura di tutti gli aspetti che caratterizzavano quel mondo. Dal documento redatto dal prof. Gorge Schlesinger nel lontano 1927 [1] discendono a livello internazionale (ISO) e nazionale (UNI) una serie di norme che definiscono in modo sempre più completo ed efficace il mondo della qualità delle macchine utensili.

Nello spirito della Normativa ISO, la qualità di una macchina utensile in sostanza è la capacità che la macchina ha di soddisfare le esigenze per le quali la macchina è stata acquistata; se queste esigenze sono state soddisfatte la macchina è una macchina di qualità, se queste esigenze sono state disattese la qualità della macchina sarà considerata scadente.

E' proprio questo il problema della qualità di una macchina utensile "Definire le esigenze cui la macchina deve soddisfare" ed è proprio questo il tentativo che il Corpo Normativo ISO relativo al collaudo delle macchine utensili cerca di offrire, con ottimi supporti tecnici, ai produttori ed agli utilizzatori di macchine utensili.

Facendo riferimento alla pubblicazione UNI-UCIMU “Le Norme per le macchine utensili”, che vide la luce nel 2002, possiamo dire che il Corpo Normativo UNI-ISO si articola in due grandi ambiti fondamentali:

- le norme pubblicate in ambito volontario;
- le norme pubblicate in ambito obbligatorio.

Il primo gruppo di norme si riferisce ad aspetti tecnici non regolamentati da leggi nazionali o direttive europee, il secondo gruppo si riferisce ad aspetti regolamentati da leggi nazionali o direttive europee. L’interesse, nell’ambito del presente lavoro, si rivolge al primo gruppo di norme che possono essere considerate come appartenenti ai seguenti sottogruppi:

- norme di collaudo;
- norme per la costruzione meccanica;
- altre norme di interesse per le macchine utensili.

Le “norme di collaudo” interessano in modo particolare le operazioni di collaudo finale di accettazione di una macchina utensile e dovrebbero costituire il riferimento contrattuale fondamentale per la definizione delle caratteristiche di precisione della realizzazione sotto collaudo. Le “norme per la costruzione meccanica” sono destinate a definire tipologie normalizzate di accessori e parti meccaniche da utilizzare nella realizzazione di macchine utensili. Le “altre norme di interesse per le macchine utensili” sono costituite da norme di nomenclatura, di designazione, di programmazione, di segnalazione, di controllo numerico.

Si tralasceranno, in questo mio lavoro, considerazioni sulle norme appartenenti ai sottogruppi secondo e terzo e si effettuerà sostanzialmente l’esame delle “norme di collaudo”. Queste sono articolate in due grandi gruppi che si possono definire:

- Norme di Procedura;
- Norme Specifiche di Tipo.

Le Norme di Procedura sono raccolte come serie ISO 230 [2-13], che nella versione UNI ha come titolo generale “Codice di collaudo delle macchine utensili” e saranno strutturate, quando completate, come segue:

- UNI ISO 230-1 Precisione geometrica delle macchine a vuoto o in condizioni di finitura
- UNI ISO 230-2 Determinazione della precisione e ripetibilità di posizionamento degli assi delle macchine utensili a controllo numerico
- UNI ISO 230-3 Valutazione degli effetti termici
- UNI ISO 230-4 Prove di interpolazione circolare per macchine utensili a controllo numerico
- UNI ISO 230-5 Determinazione della emissione sonora
- UNI ISO 230-6 Determinazione della accuratezza di posizionamento sulle diagonali del corpo e delle facce del volume di lavoro
- UNI ISO 230-7 Precisione geometrica degli assi di rotazione
- UNI ISO 230-8 Determinazione del livello di vibrazione
- UNI ISO 230-9 Stima della incertezza di misura per le prove delle macchine utensili secondo ISO 230
- UNI ISO 230-10 Determinazione delle capacità di misura delle macchine utensili

Senza entrare nel dettaglio dell'esame delle singole norme, che sono documenti di elevato contenuto tecnico, è importante sottolineare che tali documenti raccolgono una serie di indicazioni operative riguardanti la conduzione dei collaudi delle macchine utensili e l'importanza e delicatezza di tale area di intervento, sottolineando come molto spesso una non adeguata procedura operativa può trarre in errore sulla interpretazione dei risultati ottenuti con le conseguenti problematiche di intervento tecnico ed economico.

Tale serie di norme costituisce un vero e proprio "Manuale del Collaudatore" ed ogni operazione di collaudo dovrebbe attenersi ai principi ed ai metodi da esse espresse. Ogni Norma Specifica di Tipo per il collaudo delle varie tipologie di macchine si riferirà esplicitamente a tali norme per evitare che insorgano dubbi interpretativi sulle modalità operative con le quali una qualsivoglia verifica debba essere condotta. Un'ultima considerazione sulle ISO 230 riguarda il fatto che tale Corpo Normativo non si fa carico di indicare i limiti degli errori che vengono individuati attraverso le verifiche, ma indica solamente, con estrema accuratezza e definizione, come effettuare le misure.

Le Norme Specifiche di Tipo sono, di contro, documenti caratteristici per classiche tipologie di macchine utensili specificamente indicanti le verifiche cui le macchine dovranno essere sottoposte e gli errori limite ammessi per poter essere dichiarate conformi alle prescrizioni della norma. Naturalmente queste norme fanno sistematicamente riferimento alle Norme di Procedura di cui abbiamo parlato precedentemente. Si può, quindi, affermare che un Sistema Normativo come quello appena descritto sia un Sistema assolutamente valido, ben articolato, aperto a miglioramenti e completo, se ci si riferisce a macchine di tipologia tradizionale.

3 IL PROBLEMA DELLE MACCHINE SPECIALI

L'obiettivo di questo lavoro è quello di individuare quali sono, oggi, i problemi che si pongono in sede di definizione contrattuale quando si ha a che fare con una macchina utensile che per la particolarità delle soluzioni proposte non può essere inquadrata in un riferimento di tipo tradizionale.

Oggi una macchina utensile, specie se di grandi dimensioni, costituisce un impegno finanziario molto considerevole ed è chiamata molto spesso a lavorare particolari meccanismi pesanti ed ingombranti situazioni queste ultime che comportano, quasi sempre, notevoli problemi di movimentazione e posizionamento che, come è ben noto, aumentano sensibilmente i tempi di attraversamento con le ovvie conseguenze sulla produttività aziendale. E' anche alla luce di queste considerazioni che negli ultimi trent'anni si è assistito alla realizzazione sempre più spinta di macchine che chiameremo speciali proprio perché tendono a perdere quella che era la loro connotazione più tipica: la specificità e l'unicità della tipologia di lavorazione possibile.

Si sono visti in questi anni svilupparsi torni paralleli dotati di unità di fresatura, di teste a rettificare, di mandrini di foratura e, conseguentemente a ciò, le teste porta pezzo di queste macchine, che erano teste dedicate solo alle operazioni di tornitura, sono diventate anche teste di posizionamento. Analogo ragionamento si può fare per i torni verticali che hanno visto le loro strutture dotarsi di unità di fresatura, di rettifica, di foratura e di maschiatura, e le loro tavole porta pezzi assumere la possibilità di diventare delle precisissime tavole di posizionamento angolare. Si sono viste in questi anni macchine nate come fresatrici a portale dotarsi di piattaforme di tornitura e di barre porta utensili per poter effettuare anche operazioni di tornitura verticale.

Anche nel campo degli accessori, specie nel settore delle macchine di grandi dimensioni, oggi si tende a far diventare l'accessorio medesimo una macchina sempre più complessa e sempre più sofisticata. Questa è la realtà e non ci vuole molta fantasia per pensare che presto o tardi le macchine utensili saranno dotate di assi specificamente dedicati alla misurazione dei pezzi lavorati,

cosicché il particolare lavorato dalla macchina possa essere da una sezione della macchina stessa verificato in termini di conformità alle specifiche di disegno.

Appare, quindi, in modo molto evidente il problema del collaudo di queste tipologie di macchine, la cui strutture si collegano direttamente alle esigenze, sempre più articolate, del mercato e alla fantasia, sempre più stimolata, dei progettisti e, quindi, sono macchine che sfuggono da uno schema predefinito di collaudo e che con grande difficoltà e rischi di incomprensione si possono adattare a schemi di collaudo predefiniti, ma riferenti a tipologie di macchine diverse.

E' proprio sull'onda di queste considerazioni che ci si può chiedere quali siano gli elementi essenziali che oggi, alla luce dello sviluppo delle attuali tecnologie, debbano essere considerati gli elementi costitutivi fondamentali di una qualsivoglia macchina utensile, vale a dire quali siano quegli elementi che presi nella loro struttura fondamentale e debitamente assemblati possano permettere la realizzazione di una qualsiasi configurazione di macchina utensile che sia capace di soddisfare sia il mercato sia le fantasie del progettista.

Che cosa è, nella sua sostanza, una macchina utensile? Si può affermare che una macchina utensile può essere vista come uno spazio fisico in cui si collocano, sostenuti da adeguate strutture ed in posizioni geometricamente definite, assi lineari ed assi rotativi che potranno essere sia assi porta pezzi che assi porta utensili.

Se questo è vero allora una macchina utensile, nella sua accezione più generale, può essere vista come una struttura che porta assi lineari ed assi rotativi posti in posizioni e con giaciture geometricamente definite e capace di eseguire le operazioni di lavorazione cui è destinata.

Una macchina sarà pertanto correttamente definita e descritta quando saranno indicate con adeguato dettaglio e precisione le caratteristiche che definiscono gli elementi precedentemente individuati ed esattamente:

- La struttura
- Gli assi lineari
 - Assi lineari porta strutture
 - Assi lineari porta pezzi
 - Assi lineari porta utensili
- Gli assi rotativi
 - Assi rotativi porta strutture
 - Assi rotativi porta pezzi
 - Assi rotativi porta utensili
- Gli accessori

Ora lo sforzo che deve essere fatto è quello di andare ad individuare, per ciascuno di questi elementi, quali sono le caratteristiche tecniche necessarie a definirli in modo qualitativamente corretto e completo.

4 LA STRUTTURA

La struttura della macchina utensile viene qui intesa come quel complesso di elementi meccanici strutturali sui quali o nei quali vengono montati gli assi di cui la macchina è composta. Allo scopo di esemplificare se prendiamo in considerazione un tornio parallelo tradizionale la sua struttura potrebbe essere costituita da:

- banco completo di guide longitudinali;
- corpo testa;
- carro base completo di guide trasversali;
- carro superiore;
- corpo contropunta.

Sul banco saranno montati:

- corpo testa;
- carro base;
- corpo contropunta.

Sul carro base sarà montato il carro superiore.

Questi elementi strutturali dovranno essere caratterizzati in termini qualitativi definendo:

- materiali con i quali sono stati realizzati:
 - acciaio saldato,
 - fusione di acciaio,
 - fusione di ghisa;
- trattamenti termici subiti dalle strutture;
- caratteristiche chimico fisiche dei materiali utilizzati;
- caratteristiche microstrutturali dei materiali utilizzati;
- caratteristiche limite di difettosità.

Precisate e documentate con chiarezza le caratteristiche più sopra citate, si può affermare che la struttura della macchina è qualitativamente individuata ed adeguatamente definita.

E' importante rilevare come questa caratterizzazione è assolutamente indipendente dalle possibili configurazioni che la macchina potrà assumere in tutte le sue versioni che la possano rendere una macchina speciale. Infatti, se al tornio tradizionale di cui all'esempio si volesse sostituire un tornio speciale dotato di un carro di foratura e fresatura la definizione della struttura dovrebbe solamente essere completata con la descrizione delle caratteristiche strutturali del carro di foratura-fresatura.

5 ASSI LINEARI

Sempre con riferimento al tornio parallelo tradizionale di cui al paragrafo precedente, si inizia l'esame degli assi lineari della macchina. Essi saranno costituiti nella sostanza da:

1. un banco con le sue guide longitudinali ed il carro base con le sue motorizzazioni che costituiranno l'asse lineare longitudinale porta struttura carro;
2. un banco con le sue guide longitudinali ed il corpo contropunta con le sue motorizzazioni che costituiranno l'asse lineare longitudinale porta struttura corpo contropunta;
3. il carro base con le sue guide, il carro superiore con le sue motorizzazioni che costituiranno l'asse lineare trasversale porta utensili;
4. il canotto porta punta della contropunta con la sua guida ricavata nel corpo contropunta e le sue eventuali motorizzazioni che costituiranno l'asse lineare longitudinale canotto contropunta.

Tale macchina sarà costituita da quattro assi lineari dei quali due saranno assi lineari porta strutture (1-2), uno sarà un asse lineare porta utensili (3) ed uno sarà un asse di posizionamento di un elemento di supporto (punta della contropunta) (4). Gli assi 1-2-3 sono assi che dovranno permettere la traslazione longitudinale del carro base e del corpo contropunta, e la traslazione trasversale del carro superiore. L'asse 4 è un asse che dovrà permettere il posizionamento della punta della contropunta, elemento fondamentale per garantire la corretta definizione dell'asse di tornitura. Sono assi che saranno costituiti da un sistema guide che nel nostro caso è integrale con il banco per gli assi 1-2, con il carro base per l'asse 3, con il corpo contropunta per l'asse 4, da sistemi di accoppiamento fra carro base e guide carro base, tra corpo contropunta e guide contropunta, tra carro superiore e guide carro base, tra corpo contropunta e corpo canotto porta punta, infine da sistemi di comando della traslazione del carro base, del corpo contropunta, del carro superiore e del corpo canotto. Questi sistemi meccanici saranno tali da consentire al carro base, al corpo contropunta, al carro superiore ed al corpo canotto di muoversi nello spazio macchina con un movimento quanto più possibile prossimo ad una traslazione pura.

Per caratterizzare ciascuno degli assi lineari della macchina sarà necessario, prima di tutto, definirne l'orientamento in riferimento ad un sistema cartesiano che definisce lo spazio macchina (X,Y,Z). Per comodità si considera che l'asse di traslazione lineare longitudinale porta struttura carro dovrà giacere in un piano parallelo al piano XY e definire l'orientamento dell'asse X; l'asse di traslazione lineare longitudinale porta struttura corpo contropunta dovrà essere collocato con giacitura parallela all'asse X ed analoga collocazione dovrà avere l'asse lineare di traslazione lineare del canotto contropunta; in fine l'asse di traslazione lineare trasversale del carro porta utensili dovrà giacere in un piano parallelo al piano XY ed essere parallelo all'asse Y.

Rimane da definire quali saranno o meglio quali potranno essere le deviazioni delle traslazioni delle strutture portate dagli assi individuati dalla pura traslazione rettilinea che, come è ovvio, rimane una astrazione geometrica. Si è allora costretti a definire la rettilineità della traslazione che dovrà essere valutata con due errori in due piani ortogonali contenenti l'asse in esame e con tre errori di rotazione intorno alle direzioni parallele agli assi X,Y,Z errori che vanno normalmente sotto il nome di rollio, beccheggio ed imbardata.

Per quanto attiene gli aspetti puramente geometrici la caratterizzazione degli assi lineari della macchina può, a questo punto essere considerata completa. Nello spirito del presente lavoro l'asse non deve essere definito solamente dalle sue caratteristiche geometriche, ma deve essere considerato come un blocco autonomo costituente la macchina e pertanto deve essere definito in una serie estesa di caratteristiche fra le quali si ritengono fondamentali le seguenti:

- lunghezza dell'asse;
- gamme di velocità;
- rigidità statica;
- stabilità termica;
- interpolazioni con altri assi;
- livelli di vibrazione;
- assorbimento di potenza;
- rumorosità;
- precisione di posizionamento.

Al termine di queste considerazioni ed allo scopo di racchiudere in una visione sintetica il problema della definizione qualitativa di un asse lineare si può pensare ad uno schema del tipo di quello riportato Tabella 1, nel quale sono riprese nella prima colonna tutte le verifiche più sopra individuate, nella seconda saranno individuate le verifiche cui l'asse in oggetto dovrà essere sottoposto, nella terza i valori contrattuali concordati, nella quarta il metodo che verrà adottato per la verifica, nella quinta il risultato della verifica e nella sesta, infine, eventuali annotazioni in margine alla verifica. Questo schema sarà caratteristico di ciascun asse lineare costituente la macchina e sarà preceduta da uno schema di massima atto ad individuare gli assi da cui la macchina è costituita (Figura 1).

Tabella 1: Protocollo di Collaudo di Asse Lineare

Asse Lineare		Asse longitudinale porta struttura carro base				
	Caratteristiche Asse	Verifica	Amnesso	Metodo	Rilevato	Osservazioni
1	Lunghezza utile asse					
2	Gamme velocità					
	1 Gamma					
	2 Gamma					
	3 Gamma					
3	Geometria Asse					
	Orientamento					
	Rettilinearità Traslazione					
	Nel piano XY					
	Nel piano XZ					
	Errore beccheggio					
	Errore rollio					
	Errore imbardata					
4	Interpolazioni					
	Nel piano					
	Nello spazio					
5	Rigidità statica					
6	Stabilità termica					
7	Livelli vibrazione					
8	Assorbimenti potenza					
9	Rumorosità					
10	Precisione Posizionamento					
Osservazioni:						
Luogo		Data		Fornitore		Cliente

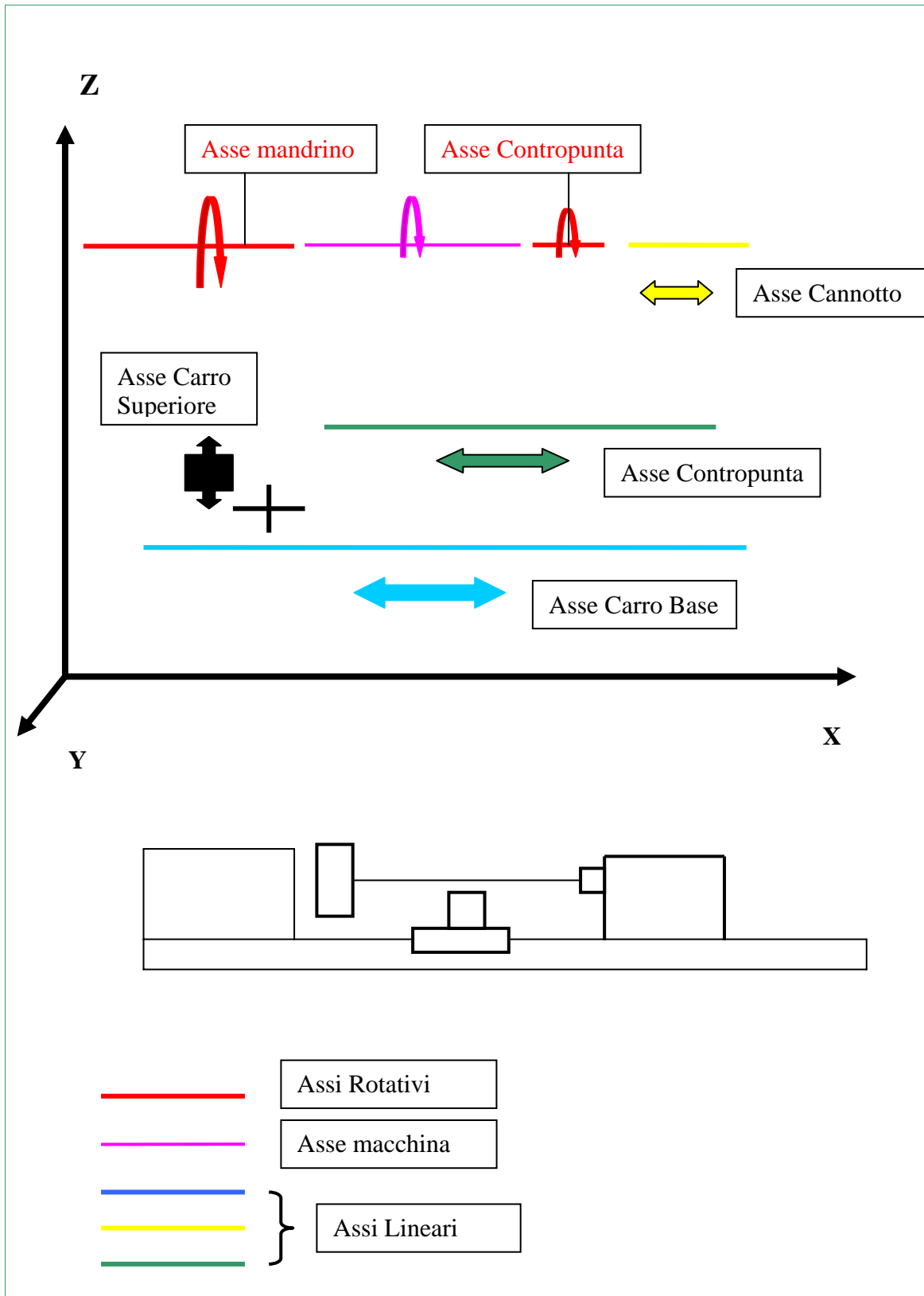


Figura 1: Protocollo di Collaudo di Asse Lineare

Questo schema, che potrà essere modificato e/o completato, applicato a ciascun asse lineare della macchina costituirà il Protocollo di Collaudo completo, relativamente agli assi lineari, della macchina medesima.

6 ASSI ROTATIVI

Sempre con riferimento al tornio parallelo gli assi rotativi che potremo prendere in considerazione sono solo assi rotativi del tipo porta pezzo, ma le considerazioni che seguiranno devono essere viste come applicabili sia ad assi rotativi porta pezzo, che ad assi rotativi porta utensili sempre nei limiti specifici delle loro caratteristiche (le precisioni di posizionamento di un asse rotativo saranno ovviamente più utilizzate per un asse porta pezzo che per un asse porta utensili). Quindi, pur considerando le differenze fra le due tipologie di assi, si cercherà di individuare quelle caratteristiche qualitative che sono fondamentali per la corretta e completa valutazione dell'asse rotativo, sia che appartenga alla prima che alla seconda categoria.

Il primo asse individuato è sicuramente l'asse del mandrino allocato nella testa con la caratteristica fondamentale di essere l'asse motore principale della macchina, il secondo asse è quello del mandrino della contropunta che serve da supporto del pezzo in lavorazione quando questo ha caratteristiche geometriche che ne consiglino l'utilizzo, il terzo asse (virtuale) è quello che si può individuare come asse congiungente i centri delle punte inserite nei mandrini testa e contropunta. Questi tre assi sono da riguardare come assi porta pezzi.

L'orientamento di questi assi rispetto al sistema di riferimento macchina (X,Y,Z) può essere così definito: l'asse mandrino testa e l'asse mandrino contropunta dovranno avere giacitura parallela all'asse X e dovranno essere tra di loro coassiali, l'asse virtuale congiungente i centri delle punte dovrà essere parallelo all'asse X.

Il problema è, quindi, quello di definire le caratteristiche geometriche della rotazione di questi assi che dovrà approssimare quanto più possibile una rotazione pura, individuata, per quanto ci riguarda, dagli errori di:

- oscillazione radiale;
- oscillazione assiale;
- ondeggiamento frontale.

Anche in questo caso, come per gli assi lineari, definite le caratteristiche di cui sopra sarà necessario definire le posizioni degli assi rotativi nello spazio macchina rispetto al riferimento cartesiano adottato, dopo di che le caratteristiche geometriche dell'asse potranno considerarsi correttamente precisate. Naturalmente anche per gli assi rotativi sarà necessario, come per gli assi lineari, per essere chiaramente individuati da un punto di vista qualitativo, definire anche le seguenti caratteristiche:

- gamme di velocità;
- rigidità statica;
- stabilità termica;
- interpolazioni;
- livelli di sbilanciatura;
- livelli di vibrazione;
- assorbimenti di potenza;
- rumorosità;
- precisione di posizionamento.

Tabella 2: Protocollo di Collaudo di Asse Lineare

Asse Rotativo		Asse rotativo mandrino porta pezzo				
	Caratteristiche Asse	Verifica	Amnesso	Metodo	Rilevato	Osservazioni
1	Gamme velocità					
	1 Gamma					
	2 Gamma					
	3 Gamma					
2	Geometria Asse					
	Orientamento					
	Nel piano XY					
	Nel piano XZ					
	Precisione rotazione					
	Oscillazione radiale					
	Oscillazione assiale					
	Ondeggiamento frontale					
3	Interpolazioni					
4	Rigidità statica					
5	Stabilità termica					
6	Livelli vibrazione					
7	Assorbimenti potenza					
8	Rumorosità					
9	Precisione Posizionamento					
Osservazioni:						
Luogo		Data		Fornitore		Cliente

Definite tutte queste caratteristiche si potrà costruire, come già fatto per gli assi lineari una tabella sintetica come quella riportata in Tabella 2.

Si è così giunti ad avere definito la struttura del protocollo di collaudo della macchina utensile di riferimento che, per quanto attiene gli assi fondamentali, sarà costituito da :

1. uno schema che rappresenti gli assi;
2. n. 4 tabelle relative agli assi lineari della macchina ed esattamente:
 - asse longitudinale porta struttura carro base,
 - asse longitudinale porta struttura Contropunta,
 - asse trasversale porta utensile,
 - asse longitudinale porta canotto;
3. n. 3 tabelle relative agli assi rotativi della macchina ed esattamente:
 - asse mandrino porta pezzo,
 - asse mandrino contropunta,
 - asse virtuale macchina.

Risulta opportuno, a questo punto, fare una considerazione sulla struttura dei documenti fin qui considerati: essi sono solo una prima proposta e non hanno assolutamente la presunzione di essere documenti definitivi, anzi è auspicabile che ad essi vengano apportate tutte le modifiche ed i completamenti da parte di tutti coloro che a questo problema sono interessati e che saranno sempre bene accettati da parte degli autori.

Pare altresì che si possa cominciare a capire come una impostazione di questo tipo si propone di affrontare il problema della variabilità delle configurazioni delle macchine speciali. La macchina infatti è definita sostanzialmente dal suo spazio operativo, dal suo sistema di riferimento, dalla sua struttura e dai suoi assi. Il protocollo di collaudo definisce qualitativamente la struttura della macchina e la caratterizzazione degli assi, indipendentemente dalla loro numerosità, ma solo in funzione delle loro due tipologie fondamentali:

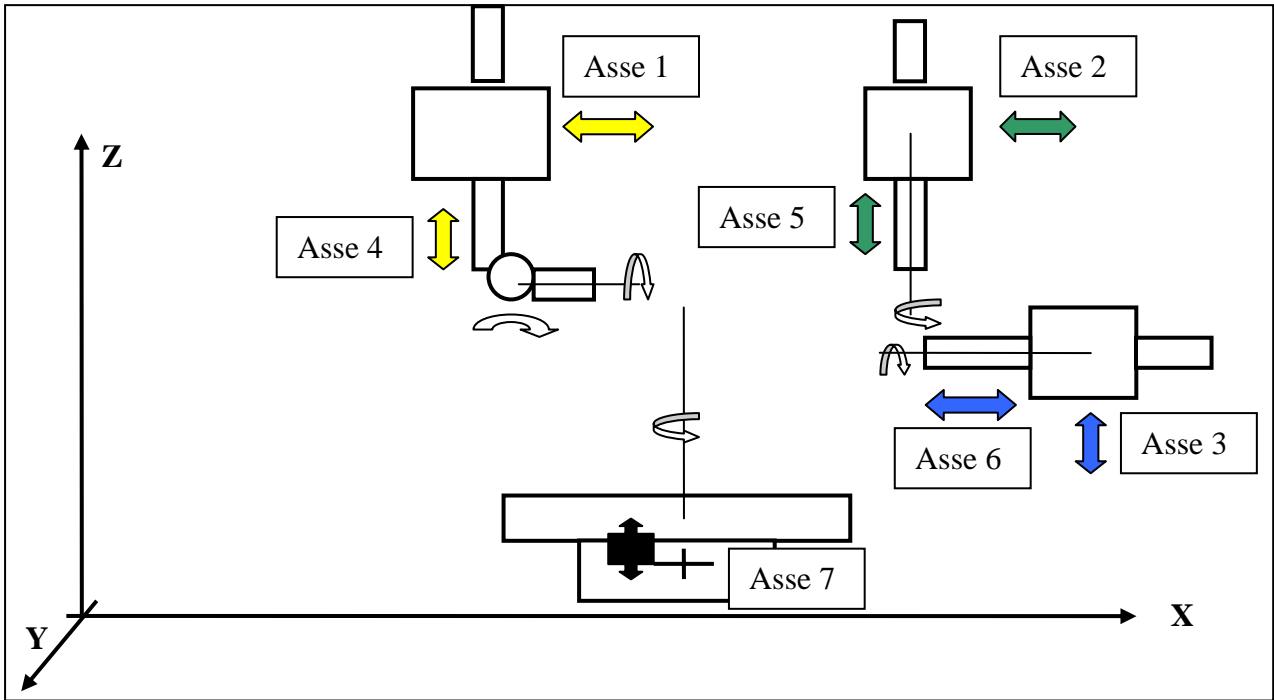
	Porta strutture
Assi lineari	Porta pezzo
	Porta utensili
	Porta strutture
Assi rotativi	Porta pezzi
	Porta utensili

Questo approccio al problema del collaudo delle macchine speciali permetterà, per esempio, di definire con assoluta semplicità il protocollo di collaudo del solito tornio parallelo anche qualora questo fosse da realizzare configurato con un carro a fresare dotato di due assi lineari ed un asse rotativo: basterà aggiungere i tre assi nello schema della struttura, due tabelle per la definizione degli assi lineari ed una tabella per la definizione dell'asse rotativo.

E' ovvio che questo metodo è applicabile a qualsiasi tipologia di macchina ed a qualsiasi configurazione si voglia assegnare ad essa. Un asse verrà allora definito non tanto dallo schema che lo supporterà, che rimarrà costante per tutti gli assi (lineari e/o rotativi), ma dalle caratteristiche tipiche dell'asse medesimo che dovranno essere verificate e dai limiti degli errori ammessi.

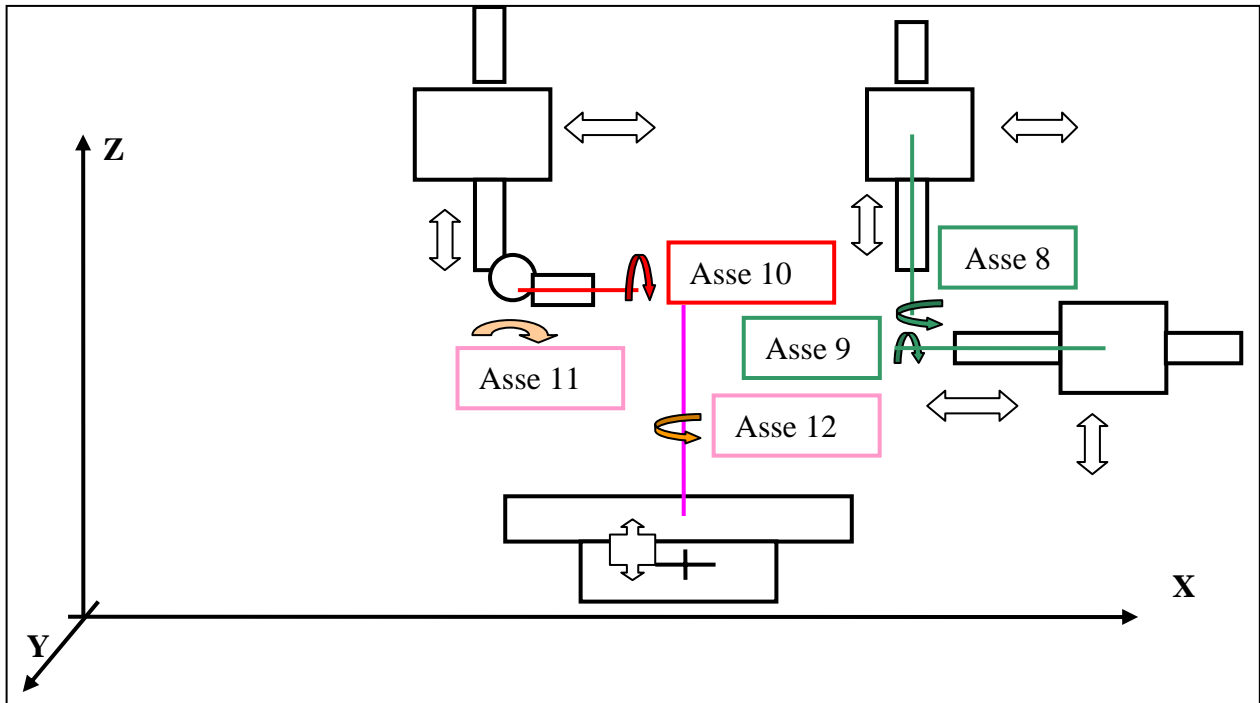
Se si ipotizzasse ad esempio, con uno sforzo di pura immaginazione, una macchina speciale che sia costituita da un tradizionale tornio verticale a due montanti dotato di un carro a tornire sulla traversa (asse lineare) ed un carro a tornire sul montante destro (asse lineare), ciascuno di questi carri dotato di barra porta utensili (asse lineare) sull'asse della quale è montato un mandrino di fresatura (asse rotativo), e se si pensasse di posizionare sulla traversa di questa macchina anche un carro a rettificare (dotato di due assi lineari uno orizzontale ed uno verticale) e capace di rettificare con mandrino mola adatto a lavorare ad asse orizzontale e ad asse verticale, e se, infine, questa macchina fosse dotata di una tavola porta pezzo montata su una slitta mobile su un asse perpendicolare al piano frontale della traversa, si avrebbe una macchina speciale del tutto particolare e configurata in un modo così lontano dal convenzionale che non è pensabile possa esistere, già normalizzato, un protocollo di collaudo che la qualifichi.

E' proprio per questi casi che nasce l'approccio qui definito e che non presenta alcuna difficoltà a definire il protocollo di collaudo adeguato alla macchina di cui stiamo parlando. Sarà sufficiente, infatti, costruire lo schema degli assi della macchina e definire per ciascun asse, secondo le tabelle già individuate, le verifiche da effettuare ed i valori degli errori tollerati.



- | | |
|--------|--|
| Asse 1 | Traslazione sulla traversa del carro a rettificare |
| Asse 1 | Traslazione sulla traversa del carro a tornire e fresare |
| Asse 3 | Traslazione sul montante del carro a tornire e fresare |
| Asse 4 | Traslazione verticale della testa a rettificare |
| Asse 5 | Traslazione verticale dell'utensile a tornire/fresare del carro sulla traversa |
| Asse 6 | Traslazione orizzontale dell'utensile a tornire/fresare del carro sul montante |
| Asse 7 | Traslazione orizzontale della slitta porta tavola |

Figura 2: Schema Assi Lineari



- | | |
|---------|---|
| Asse 8 | Asse rotativo fresatura carro sulla traversa |
| Asse 9 | Asse rotativo fresatura carro sul montante |
| Asse 10 | Asse mandrino mola del carro a rettificare |
| Asse 11 | Asse posizionamento mandrino porta mola (orizzontale-verticale) |
| Asse 12 | Asse tavola porta pezzo |

Figura 3: Schema Assi Rotativi

Sette tabelle relative agli assi lineari e cinque tabelle relative agli assi rotativi permetterebbero di definire in modo chiaro e completo le caratteristiche geometriche e funzionali della macchina utensile considerata. Infine è opportuno sottolineare che l'approccio proposto può anche lasciare lo spazio al rapporto contrattuale di definire le voci che saranno sottoposte a verifica e le ampiezze degli errori garantiti dalla realizzazione, si potrebbe così togliere spazio a quella cattiva abitudine di modificare, molto spesso senza le necessarie prudenze, le indicazioni delle tolleranze espresse dalle norme.

7 GLI ACCESSORI

Costituiscono, come è ben noto, elementi che caratterizzano sempre più pesantemente le macchine utensili specie quelle di grandi dimensioni e che si possono considerare, senza dubbio alcuno, come macchine che, sfruttando le sorgenti di energia della macchina principale o utilizzandone delle proprie ne possono modificare le prestazioni o meglio le capacità operative.

Il parco accessori è così esteso e variabile che non è possibile, in questa sede farne un esame completo ed esaustivo. Risulta sufficiente poter affermare che anche gli accessori possono essere considerati come insiemi di assi e come tali possono essere sottoposti a collaudo secondo gli schemi già utilizzati per la macchina principale.

Nel protocollo di collaudo dovrà dunque essere previsto un documento che elencherà le tipologie di accessori di cui la macchina principale è dotata e ciascuno di questi accessori sarà dotato di uno schema dei suoi assi sempre riferiti al volume di lavoro della macchina ed al sistema di riferimento cartesiano adottato e di una serie di tabelle assi di quelle utilizzate per la macchina principale e adeguate a caratterizzarlo.

8 CONCLUSIONI

In questo lavoro si è cercato di affrontare il problema del collaudo delle macchine utensili speciali. La proposta emersa risulta schematizzabile nel tentare di vedere il collaudo della macchina speciale composto da moduli che definiscano qualitativamente:

- la struttura della macchina;
- gli assi lineari;
- gli assi rotativi;
- gli accessori.

Questo approccio rende questi moduli indipendenti dalla configurazione della macchina sottoposta a collaudo e permette, di conseguenza, di applicare il collaudo a qualsiasi configurazione si voglia utilizzare.

Il presente lavoro vuole essere lo spunto per una discussione sul protocollo di collaudo di una attuale macchina utensile: non vuole essere il punto di arrivo, ma solo il punto di partenza.

9 BIBLIOGRAFIA

- [1] Georg Schlesinger 1927 “Die Arbeitsgenauigkeit der Werkzeugmaschinen“, Berlin, Springer.
- [2] ISO 230-1:1996 Test Code for Machine Tools - Part 1: Geometric Accuracy of Machines Operating under No-Load or Finishing Conditions-Second Edition.
- [3] ISO/CD 230-1 Ed. 3 Test code for machine tools - Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions.
- [4] ISO 230-2:2006 Test code for machine tools - Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning numerically controlled axes-Third Edition.
- [5] ISO 230-3:2001 Test Code for Machine Tools - Part 3: Determination of Thermal Effects-First Edition.
- [6] ISO/FDIS 230-3 Ed. 2 Test code for machine tools - Part 3: Determination of thermal effects.
- [7] ISO 230-4:2005 Test code for machine tools Part 4: Circular tests for numerically controlled machine tools-Second Edition.
- [8] ISO 230-5:2000 Test Code for Machine Tools - Part 5: Determination of the Noise Emission-First Edition.
- [9] ISO 230-6:2002 Test code for machine tools Part 6: Determination of positioning accuracy on body and face diagonals (Diagonal displacement tests)-First edition.
- [10] ISO/FDIS 230-7.2 Ed. 1 Test code for machine tools - Part 7: Geometric accuracy of axes of rotation.
- [11] ISO/CD TR 230-8 Ed. 1 Test code for machine tools - Part 8: Determination of vibration levels.
- [12] ISO TR 230-9:2005 Test code for machine tools Part 9: Estimation of measurement uncertainty for machine tool tests according to series ISO 230, basic equations-First Edition.
- [13] ISO/WD 230-10 Ed. 1 Test code for machine tools - Part 10: Determination of the measuring performance of a machine tool.