

Fresa CNC DECI4040



Tesina di Cini Lorenzo

Classe 5[^]B

Indirizzo Elettronica ed Elettrotecnica

Articolazione Automazioni

A.S.2017/2018

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE.....	4
Tipologie CNC.....	5
Tipologie di lavorazioni.....	6
2. MECCANICA DELLE CNC.....	7
Struttura.....	7
Guide.....	7
Trasmissione.....	8
3. HARDWARE DELLE CNC.....	11
Microcontrollore.....	11
Motori.....	11
Mandrino.....	12
Finecorsa.....	13
Trasduttori di posizione.....	14
4. SOFTWARE E CONTROLLO DELLE CNC.....	16
Controllo ad anello aperto o chiuso.....	16
Cad.....	17
Cam.....	18
G-Code.....	19
5. CNC DECI4040: SPECIFICHE TECNICHE.....	20
Caratteristiche.....	20
Componenti elettronici.....	20
Organi di controllo.....	20
6. CNC DECI4040: PROGETTAZIONE MECCANICA.....	21
7. CNC DECI4040: PROGETTAZIONE ELETTRONICA DI MOVIMENTO.....	23
8. CNC DECI4040: PROGETTAZIONE ELETTRONICA DI CONTROLLO.....	25
8. CNC DECI4040: PROGETTAZIONE SOFTWARE DI CONTROLLO.....	27
9. SVILUPPI FUTURI.....	29
10. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	30

1.INTRODUZIONE



Fig. 1

Le macchine utensili sono da decenni presenti in ogni officina meccanica, sotto forma di torni (fig.1) o frese, per eseguire lavorazioni su ogni tipo di materiale, dal metallo al legno, fino alla plastica.

Anch'esse, com'è logico che sia, si sono sviluppate nel tempo, infatti agli inizi erano costituite da assi mossi manualmente dall'operatore e l'unico dispositivo elettrico presente era il mandrino.

Con il passare degli anni, nel primo dopoguerra (1947), nacquero le macchine CN (Numerical Control), nelle quali gli assi erano mossi da motori controllati in base

alle istruzioni numeriche inserite manualmente dall'operatore. Con l'evoluzione della tecnologia, e in particolare dei computer e dei microprocessori, si è arrivati ad avere le macchine CNC odierne.

CNC è l'acronimo inglese di "Computer Numerical Control", quindi si tratta di una macchina utensile controllata, attraverso l'utilizzo dei numeri, da un computer.

In particolare una macchina a controllo numerico è costituita da 2 o più assi che vengono mossi da motori (generalmente stepper), controllati a loro volta da un microcontrollore che decide i loro movimenti in base al set di istruzioni ricevuto da un computer tramite collegamento seriale o parallelo.

Queste tipologie di macchine sono ampiamente utilizzate ormai da decenni in tutte le aziende per la produzioni di pezzi meccanici perché presentano numerosi vantaggi:

- maggior precisione nella produzione
- lavorazioni più veloci
- costanza della qualità delle precisioni
- ripetibilità dei pezzi
- riduzione delle possibilità di errore dovute ad un posizionamento errato del pezzo
- recupero dei tempi morti durante le lavorazioni (cambio utensile)
- riduzione del materiale di scarto
- maggiore sicurezza per l'operatore.

Naturalmente sono presenti anche degli svantaggi nel loro utilizzo, ma sono poco rilevanti rispetto agli aspetti positivi. Gli svantaggi sono:

- costo iniziale molto alto (le macchine CNC industriali hanno prezzi che partono dai 30.000€)
- manutenzione frequente
- ricollocazione del personale (il vero lavoro del metalmeccanico ora è il disegno del pezzo, infatti durante la lavorazione si necessita solo di una supervisione).

Negli ultimi anni grazie alla diffusione di molte piattaforme open-source per lo sviluppo elettronico, le CNC hanno trovato applicazione anche a livello hobbistico come macchine per la prototipazione di piccoli oggetti per progetti fai-da-te.

La scelta dell'argomento della tesina è caduto sulla costruzione di una macchina CNC per rispondere all'esigenza di creare PCB mediante incisione di basette di vetronite e di realizzare oggettistica in legno per i progetti fai-da-te. Inoltre essendo da sempre un appassionato di meccanica ma non avendola mai studiata, questo argomento mi ha dato la possibilità di approfondire le mie conoscenze in questo ambito e nelle macchine a controllo numerico in particolare.

Tipologie CNC

Esistono diverse tipologie di macchine CNC e possono essere divise in due grandi categorie.

- Macchine a fabbricazione sottrattiva

Il pezzo finale è ricavato tramite un processo di sottrazione dal pieno, si parte quindi da un “blocco” di materiale il quale attraverso un utensile viene modellato, eliminando le parti in eccesso, per ottenere il pezzo finito (fresa).

- Macchine a fabbricazione additiva (FMD)



Questo è il caso delle stampanti 3D, in cui il prototipo viene realizzato da zero, infatti il materiale viene aggiunto su un piano, strato dopo strato, per creare il prodotto finale. Questa tecnica ha il vantaggio di non avere scarti di lavorazione, ma lo svantaggio che non tutti i materiali si possono impiegare in questa lavorazione, ad esempio possiamo estrarre la plastica, un derivato del legno, ma non l'alluminio e il ferro, quindi generalmente il prototipo sarà meno robusto.

Concentrandosi sulle macchine a fabbricazione sottrattiva, sulle quali si basa la tesina, queste possono a loro volta essere suddivise in diverse categorie a seconda della lavorazione che eseguono e del loro materiale:

- Tornio CNC

Macchina utensile che viene utilizzata dove il pezzo da lavorare è di forma cilindrica, quindi difficilmente serrabile sulle frese tradizionali e nella quale l'asportazione del materiale avviene fornendo al pezzo un moto rotatorio e incidendolo mediante un utensile cuneiforme che si muove generalmente secondo un moto rettilineo ad una velocità di taglio predefinita. Sia il movimento dell'asse rotativo che quelli dell'utensile sono controllati da un dispositivo elettronico.

- Fresa CNC

La fresa CNC è probabilmente la tipologia più conosciuta, infatti si tratta di una macchina che esegue lavorazioni su un pezzo posto su un piano attraverso movimenti su 2 o più assi mossi da motori comandati dal computer.

- Foratrici CNC

Sono macchine molto più semplici di tutte le altre CNC perché non incidono o tagliano, ma si limitano a forare il pezzo.

Queste ultime tre tipologie si occupano solo del taglio di un prodotto iniziale in pezzi più piccoli, si tratta di tecniche innovative che si stanno diffondendo in questi ultimi anni.

- Taglio Laser CNC

Le lavorazioni con fascio laser (anche indicate con l'acronimo LBM, *Laser Beam Machining*) sono processi che usano un raggio laser come fonte di calore, poiché esso può essere facilmente concentrato raggiungendo densità di potenza superiore a 1 MW/mm^2 .

Nel momento in cui il laser interagisce con il materiale, l'energia dei fotoni viene assorbita dal materiale in lavorazione provocando localmente un rapido aumento di temperatura, che porta a fusione o ebollizione asportando il materiale senza contatto meccanico. A differenza dei processi convenzionali non si ha usura e la rimozione del materiale non dipende dalla sua durezza, ma dalle proprietà ottiche del laser e dalle proprietà ottiche e termofisiche del materiale.

- Taglio plasma CNC

Il taglio al plasma è un procedimento utilizzato per tagliare l'acciaio ed altri metalli utilizzando una torcia al plasma. Un gas viene soffiato ad alta pressione da un ugello, contemporaneamente attraverso questo gas si instaura un arco elettrico tra un elettrodo e la superficie da tagliare, che trasforma il gas in plasma. Il plasma trasferisce calore al materiale metallico fino a portarlo alla temperatura di fusione e rompere così la continuità del metallo.



- Taglio getto d'acqua CNC

La lavorazione avviene attraverso un getto d'acqua ad altissima pressione (fino a 7.000 bar), che è in grado di tagliare diversi materiali anche fino a 150mm di spessore, mantenendo una precisione media di 1/10 di mm.

Tipologie di lavorazioni

Le macchine CNC possono eseguire diverse tipologie di lavorazioni, tuttavia la struttura meccanica della macchina può limitare le sue possibilità, infatti nelle macchine con più di 3 assi si può modellare un oggetto in tutti i suoi lati, utilizzando il 4 asse rotativo e la capacità di orientare la testa dell'utensile con il 5 e 6 asse.

Questo fa capire come in fase di progettazione sia necessario scegliere la struttura in base alle lavorazioni che vogliamo ottenere dalla CNC. In particolare a livello hobbistico, le tipologie di modellazione più conosciute sono:

- 2D: le macchine CNC a 2 assi consentono movimenti solo su X e Y e le lavorazioni non avranno alcuna variazione di profondità. Ne sono un esempio le CNC laser, in cui il fascio di luce si muove sugli assi x e y ma non sull'asse z, in quanto il laser non deve essere a contatto o ad una distanza precisa dal materiale, ma è sufficiente accenderlo e spegnerlo.
- 2,5D: le macchine CNC a 2.5 assi consentono di lavorare in 3 dimensioni, ma sono limitate ad un'interpolazione solamente sugli assi X e Y. L'asse Z generalmente ha una movimentazione parziale e può variare la sua quota, ma non può essere interpolato con gli altri due, quindi viene utilizzato solo per aumentare la profondità della lavorazione.
- 3D: le macchine CNC a 3 assi consentono di lavorare simultaneamente in altezza, larghezza e profondità, sono ottime per lavorazioni su superfici a forma libera. In questa categoria rientrano la maggior parte delle fresatrici a controllo numerico.
- 4D: le macchine CNC a 4 assi aggiungono il movimento di rotazione applicato all'utensile o al pezzo da lavorare.
- 5D: le macchine a 5 assi uniscono sia la rotazione della testa porta utensile che del pezzo in lavorazione agli altri 3 assi.

2. MECCANICA DELLE CNC

Struttura

Le macchine a controllo numerico possono avere diverse strutture, da quelle più contenute fino a quelle di grandi dimensioni, ovviamente tutto ciò è frutto di scelte effettuate dai progettisti in base alle lavorazioni che la macchina dovrà eseguire, alla potenza richiesta, alla necessità di liquidi refrigeranti, alla necessità di prevedere un magazzino utensili per il cambio automatizzato...

Anche in ambito amatoriale le CNC possono avere dimensioni variabili, ma esse sono influenzate solamente dalle necessità in termini di area di lavoro. Infatti generalmente le frese hobbystiche non presentano la possibilità di cambiare l'utensile in modo automatico per contenere i costi e l'eventuale refrigerante è posto in un serbatoio separato.

Fatta questa premessa, possiamo suddividere le strutture delle CNC in due categorie:

- Ponte fisso: in questo caso l'asse X (con il relativo asse Z) è posto su un ponte fisso, quindi per spostamenti sull'asse Y sarà il piano di lavoro a muoversi. Questa conformazione permette di ottenere una maggiore stabilità durante le lavorazioni perché l'asse, essendo fermo, riduce le eventuali oscillazioni generate dalla lavorazione che potrebbero portare ad una minor precisione o ad errori nella lavorazione.



comporta che l'area massima occupata dalla fresa sarà pari al doppio della lunghezza del piano di lavoro.

- Ponte mobile (pantografo): è una soluzione che presenta lo svantaggio della maggiore sensibilità alle oscillazioni, come visto in precedenza, tuttavia se la struttura viene adeguatamente dimensionata e progettata questa configurazione può essere utilizzata senza problemi, anzi può risolvere una problematica che hanno le macchine a ponte fisso. Esse, infatti, avendo l'asse Y mobile, devono poter portare il piano totalmente dietro e dinanzi l'asse X; ciò

Guide

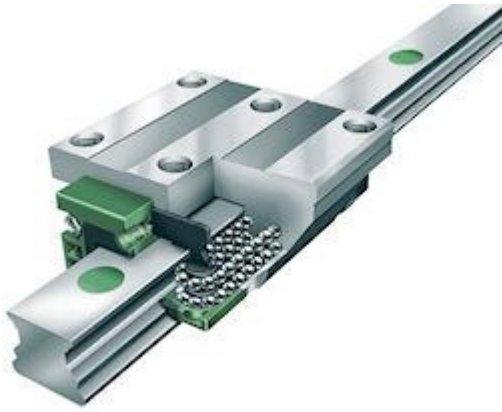
Le guide delle macchine utensili sono elementi che vincolano un asse in tutte le direzioni tranne una, lungo la quale si dovrà muovere grazie alla rotazione del motore; in questo modo si otterrà un movimento lineare e preciso nella sola direzione dell'asse mosso.

Le caratteristiche principale che una guida deve soddisfare sono:

- elevata rigidità al variare del carico
- attrito basso e costante a tutte le velocità
- lunga durata all'usura, massima efficienza anche in caso di presenza di corpi estranei quali trucioli di lavorazione o liquido refrigerante.

Le guide migliori sono quelle a ricircolazione di corpi volventi, nelle quali vi sono delle sfere o dei rulli che si muovono attraverso percorsi ricavati all'interno dei carrelli, diminuendo la superficie di contatto che permette di ottenere coefficienti d'attrito minimi con la giusta robustezza e capacità di carico.

Questo tipo di guide è composto da tre elementi principali: le rotaie, i carrelli e i corpi volventi.



Le rotaie sono barre di acciaio che vengono indurite fino a raggiungere i 60 HRC. Le loro lunghezze possono arrivare fino ai 3000mm, tuttavia è possibile giuntare più rotaie per ottenere corse più lunghe. La larghezza di una rotaia è la taglia delle guide. Esse sono standardizzate in valori che vanno dai 15 ai 65 mm.

I carrelli sono elementi di forma rettangolare composti da un corpo di acciaio che presenta nella parte superiore dei fori che possono essere filettati o passanti, per fissarli agli assi; mentre nella parte inferiore è costituito da piste di ricircolazione delle sfere, corrispondenti a quelle delle rotaie su cui andranno a lavorare.

I corpi volenti (sfere o rulli) sono della tipologia usata per i cuscinetti a sfregamento, quindi costituiti da acciaio estremamente resistente.

Trasmissione

Un elemento fondamentale per ogni applicazione meccanica è quella della distribuzione del moto; è infatti necessario, nel caso delle macchine utensili, trasformare il moto rotatorio dei motori in un moto lineare degli assi.

Esistono diverse tipologie di trasmissione, dalle più semplici ed economiche alle soluzioni più professionali e costose.

- Barre filettate: la più economica in assoluto è la classica barra filettata di ferro M10, M12.



Presenta però degli inconvenienti da valutare con attenzione. In primo luogo trovare una barra filettata dritta è veramente difficile, il che presenta un problema perché, girando velocemente, genera forti vibrazioni dannose sia per la macchina che per la lavorazione. Un altro problema è che hanno un passo di circa 1,25

mm, il che significa che per ogni giro della barra l'asse si sposta di soli 1,25 mm. Quindi se montiamo una barra con passo 1,25mm e dobbiamo far percorrere all'asse la distanza di 1 metro (1000 mm), la barra dovrà fare 800 rivoluzioni, considerando che i motori passo-passo hanno più coppia ad un basso numero di giri, non possiamo farli girare troppo velocemente per cui, ipotizzando di mandarli a non più di 200 giri/min, significherebbe che per fare 800 giri (1m) ci vorrebbero 4 minuti il che è una follia. Questa tipologia presenta un solo punto positivo, che è quello dell'estrema precisione, perché se 1,25 corrispondono ad una rotazione (200 step) significa che con un passo si muove di 6µm.

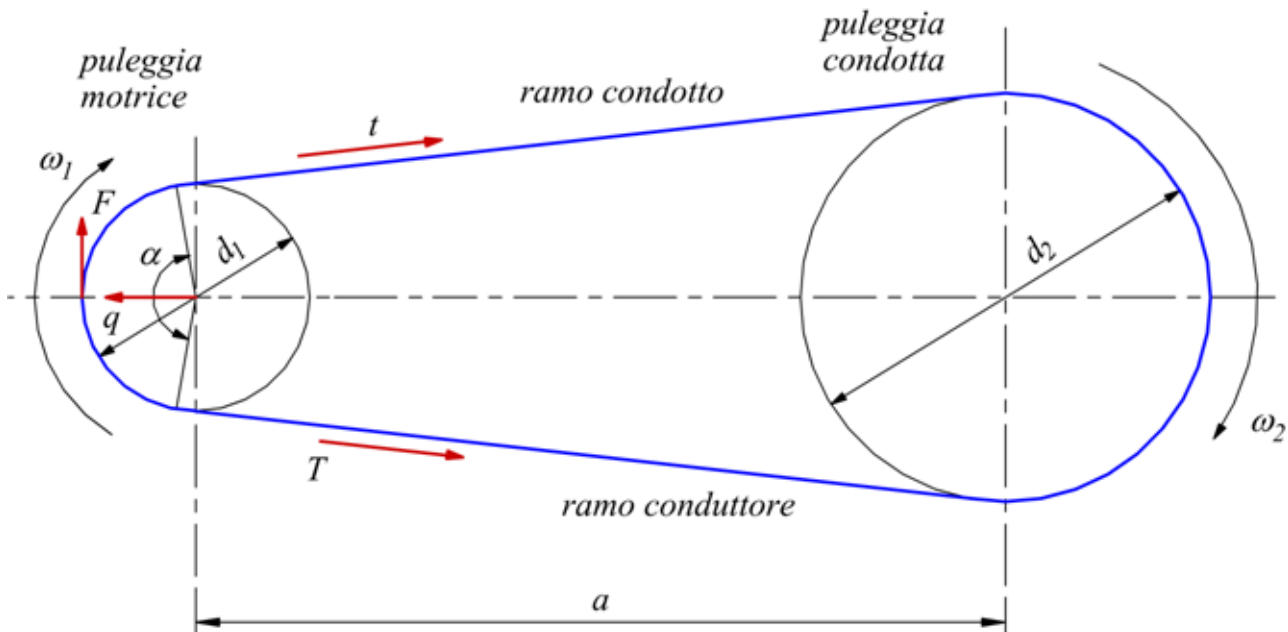
- Barre trapezoidali: meno economiche delle classiche barre filettate ma con un passo più grande di circa 4mm che dà più "respiro" ai motori e permette di ottenere movimenti più veloci.

- Cinghie e pulegge: è la soluzione più professionale, è costituita da due pulegge, una posta sull'albero motore e l'altra alla massima estensione dell'asse, sulle quali si muove una cinghia che trasmette il moto imposto dalla puleggia motrice. L'asse è collegato alla cinghia mediante un giunto che permette quindi il movimento del piano. La trasmissione a cinghia permette di modificare il rapporto di trasmissione, quindi vi è la possibilità, modificando il diametro delle pulegge, di favorire la velocità di movimento o la coppia fornita agli assi.



Di seguito un approfondimento sulla trasmissione a cinghie, in quanto si tratta di un metodo molto versatile ma che richiede diversi accorgimenti per l'applicazione.

La trasmissione a cinghie è utilizzata per trasmettere il moto rotatorio tra due alberi paralleli, perpendicolari o sghembi. La trasmissione del moto avviene per attrito della cinghia sulle pulegge. La puleggia motrice trascina per attrito la cinghia e questa, sempre per attrito, fa girare la puleggia condotta. Come si può notare in figura le due pulegge ruotano nello stesso senso e i due tratti di cinghia vengono denominati ramo conduttore e ramo condotto.



Il rapporto di trasmissione è legato al diametro delle pulegge infatti $D1:D2=n1:n2$, quindi il valore teorico di trasmissione $T = \frac{n2}{n1} = \frac{D1}{D2}$. Il valore reale, che invece tiene anche conto dello spessore s della cinghia, che contribuisce al diametro della puleggia, è pari a $T = \frac{n2}{n1} = \frac{D1+s}{D2+s}$.

Teoricamente le velocità periferiche delle due pulegge e della cinghia dovrebbero essere uguali. In pratica la velocità periferica della condotta risulta inferiore a quella della motrice da 0,8÷2% a causa dell'elasticità della cinghia.

Solitamente la velocità viene fissata, per poter calcolare il diametro delle pulegge, utilizzando i giri al minuto n secondo la relazione $D1 = \frac{V \cdot 60}{\pi \cdot n1}$ e $D2 = \frac{V \cdot 60}{\pi \cdot n2}$

Nella maggior parte delle applicazioni sono usate le cinghie trapezoidali, così chiamate perché hanno una sezione trapezia. Sono cinghie costruite in gomma vulcanizzata, contenenti internamente

fili di cotone gommato, quindi presentano una grande flessibilità, un alto coefficiente d'attrito e una grande resistenza alla trazione.

Questa tipologia di trasmissione presenta numerosi vantaggi:

- possibilità di elevati rapporti di trasmissione fino a 1:20
- interassi anche minimi
- nessuna perdita di velocità grazie sia all'elevato potere aderente delle cinghie, sia al fatto che esse sono incuneate nelle apposite gole delle pulegge portacinghie
- silenziosità e dolcezza nella trasmissione del moto.

Le cinghie trapezoidali sono classificate in base alla loro sezione e lunghezza; la sezione è stata unificata secondo la tabella sottostante.

Sezione	a	s
Z	10 mm	6 mm
A	13 mm	8 mm
B	17 mm	11 mm
C	22 mm	14 mm
D	32 mm	20 mm
SPZ	9,7 mm	8 mm
SPA	12,7 mm	10 mm
SPB	16,3 mm	13 mm
SPC	22 mm	18 mm



La lunghezza delle cinghie può variare fino al 3%, quindi per permettere il tensionamento delle stesse è necessario predisporre lo spostamento di un albero di qualche cm.

3. HARDWARE DELLE CNC

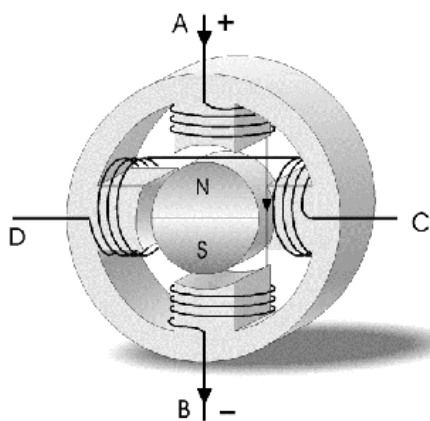
Microcontrollore

Le macchine a controllo numerico essendo dispositivi complessi e che richiedono una precisione massima devono essere controllate da un'elettronica in logica programmata di un certo livello.

In particolare la CPU del sistema deve leggere le stringhe di G-Code inviate dal pc dell'operatore tramite collegamento seriale e muovere la macchina di conseguenza. Dopo aver ricevuto le istruzioni effettua uno switch tra le varie funzioni contenute nel codice, per poter attuare ciò che è stato richiesto dal computer come ad esempio l'accensione del mandrino (M3).

Il microcontrollore deve essere inoltre in grado di controllare in modo preciso il posizionamento dei motori; accade spesso infatti che nelle CNC di fascia bassa non ci sia un controllo ad anello chiuso, quindi è necessario effettuare lo spostamento dei motori controllando in modo particolare l'accelerazione e la decelerazione, per far in modo che non ci sia una perdita di passi.

Motori



Il motore passo-passo (chiamato anche step o stepper) è un motore elettrico sincrono in corrente continua senza spazzole che può suddividere la propria rotazione in un grande numero di step.

La principale differenza con le altre tipologie di motori è che è possibile mantenere l'albero in una posizione di equilibrio, se infatti le fasi che compongono lo statore vengono alimentate contemporaneamente è possibile bloccare il motore nella posizione corrente.

Per creare invece un movimento rotatorio è necessario alimentare le fasi con una corretta sequenza di impulsi di corrente, in modo tale da far compiere al motore i passi desiderati. È così possibile far ruotare l'albero nella

posizione e alla velocità voluta semplicemente contando gli impulsi ed impostando la loro frequenza, visto che le posizioni di equilibrio dell'albero sono determinate meccanicamente con estrema precisione.

I motori passo-passo si dividono in tre grandi gruppi:

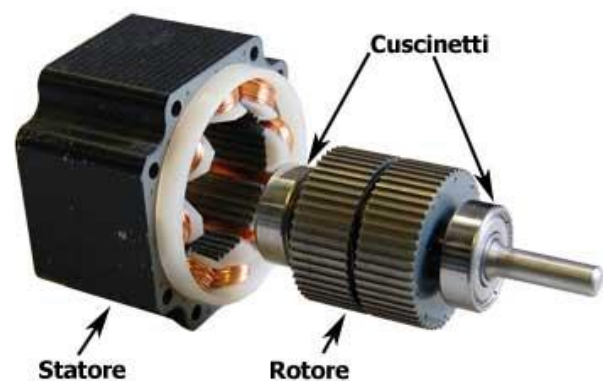
- motori a magnete permanente
- motori a riluttanza variabile
- motori ibridi

La categoria più utilizzata sono i motori ibridi perché presentano caratteristiche superiori.

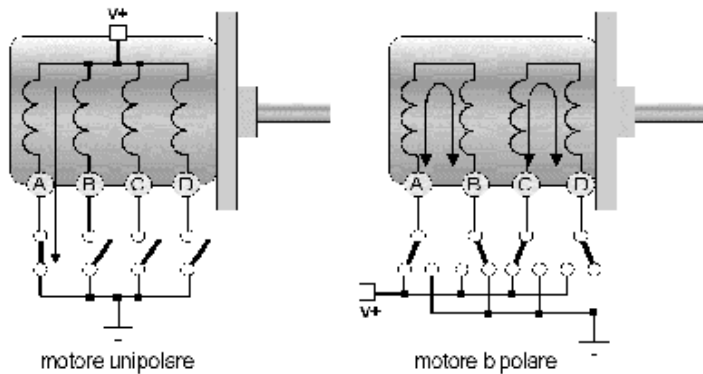
Il motore è costituito da un ROTORE e da uno STATORE.

Il rotore appare come una coppia di ruote dentate affiancate e solidali all'albero costituite da un nucleo magnetico (le due ruote sono permanentemente magnetizzate, una come NORD, l'altra come SUD) e i denti in materiale ferromagnetico. Tra le due ruote è presente uno sfasamento esattamente pari ad $1/2$ del passo dei denti.

In genere il rotore è montato su cuscinetti a sfera, anche nei modelli economici.



Lo statore appare come un insieme di avvolgimenti ed il circuito magnetico è costituito da 4 o, più frequentemente, 8 "espansioni polari". All'interno dello statore sono presenti piccoli denti che si affacciano esattamente a quelli del rotore o meglio, sono esattamente affacciati al rotore solo il gruppo di denti appartenenti ad una espansione polare e a quella opposta; le altre coppie sono sfalsate rispettivamente di $1/4$, $1/2$ e $3/4$ del passo dei denti. Avvolti intorno ai poli magnetici dello statore ci sono i fili che, opportunamente percorsi da corrente, generano il campo magnetico. All'esterno sono presenti le alimentazioni delle fasi che possono essere avvolte secondo due schemi:



Se sono presenti due soli avvolgimenti (avvolti su più espansioni polari) e quindi all'esterno arrivano due sole coppie di fili si parla di motori bipolari in quanto la corrente dovrà percorrere le fasi nei due versi al fine di creare gli opportuni campi magnetici.

Se invece sono presenti quattro avvolgimenti avvolti a coppie, in antiparallelo, sulle espansioni polari; all'esterno arrivano almeno cinque fili (spesso sono infatti presenti delle

connessioni interne al motore tra le varie fasi) e si parla in questo caso di motori unipolari in quanto la corrente nella singola fase ha sempre lo stesso verso. È possibile creare due campi magnetici opposti semplicemente scegliendo in quale dei fili debba passare la corrente.

Una tipologia particolare di motore passo-passo è utilizzabile sia in configurazione unipolare che bipolare: si tratta di quelli a 6 o 8 fili.

Il numero di differenti posizioni di equilibrio presenti in una rotazione completa dell'albero è in genere indicato come passi per giro e dipende del numero dei denti del rotore e dai poli dello statore, non dal numero di fili uscenti o dal numero delle fasi, questo numero è spesso stampato sul contenitore ed espresso in gradi.

Mandrino

Il mandrino in una macchina CNC è un dispositivo che ha la funzione di mettere in rotazione l'utensile; ciò deve essere realizzato in modo da assicurare al sistema la minima deformazione possibile con la massima produzione e asportazione di truciolo possibile.

Questo componente è di fondamentale importanza per una buona riuscita della lavorazione, in quanto costituisce l'elemento che attraverso l'utensile è in contatto con il pezzo da lavorare e che quindi condiziona direttamente precisione e capacità di lavorazione di una macchina utensile.

Principalmente esistono due tipologie di mandrino:

- mandrino con motore separato e trasmissione a cinghia o ingranaggi

Il movimento rotatorio è generato da un motore esterno montato vicino al mandrino stesso. La coppia è trasmessa da una cinghia o da un riduttore ad ingranaggi, di conseguenza coppia, velocità e potenza dipenderanno dalla scelta dei rapporti di trasmissione.

- mandrino con motore integrato:

Il motore in questo caso è calettato direttamente sull'albero del mandrino.

La scelta va effettuata tenendo conto della velocità di rotazione, della potenza e della rigidità richiesta.

La velocità di rotazione deve essere compresa in un ampio range di valori, perché può variare in base al materiale e al tipo di lavorazione. In passato questo veniva ottenuto utilizzando motori asincroni a regime costante e un cambio di velocità; oggi invece si impiegano motori elettrici con azionamenti a frequenza variabile (PWM).

	MOTORE SEPARATO	MOTORE INTEGRATO
VANTAGGI	Flessibilità nelle applicazioni: è sufficiente variare i rapporti di trasmissione per ottenere impieghi diversi	Velocità regolabile tramite segnale elettrico (PWM)
	Alti valori di potenza e coppia: il motore, essendo esterno, può essere di grandi dimensioni	Velocità elevate limitate solamente dai cuscinetti e dalla velocità massima del rotore
SVANTAGGI	Velocità massima limitata: la trasmissione a cinghia presenta problemi di rumorosità o di slittamento; mentre nella trasmissione a ingranaggi i problemi riguardano la vibrazione e il calore prodotto dallo strisciamento dei denti.	Coppia e potenza minore
	Carichi aggiuntivi sui cuscinetti: il tensionamento delle cinghie utilizzate per la trasmissione introduce di carichi radiali sull'albero del mandrino che influenzano il dimensionamento dei cuscinetti e in alcuni casi costringono a introdurre cuscinetti aggiuntivi.	Difficoltà a smaltire il calore prodotto

Finecorsa

I fine-corsa sono dispositivi che segnalano al microcontrollore se gli assi, ai quali si riferiscono, hanno raggiunto il loro fine-corsa, quindi la loro massima estensione.

Sono posti agli estremi dei 3 assi e permettono di evitare che il piano di lavoro o la testa della fresa oltrepassi il limite meccanico delle guide, danneggiando così la struttura; per ottenere ciò, quando il finecorsa rileva la presenza del mandrino, per esempio, nel finecorsa Z, invia un segnale digitale al microcontrollore, passando da 0 a 1 o viceversa, a seconda della logica di controllo, che genera un interrupt software, il cui segmento di programma prevede il blocco del motore che comanda l'asse che è mosso oltre il limite e provvede a riportarlo in una posizione di sicurezza.

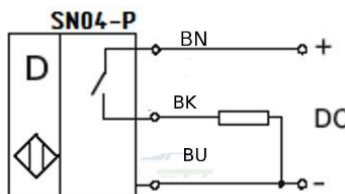
I finecorsa sono, inoltre, usati per fornire informazioni alla macchina sulla posizione dei tre assi, infatti capita che essi si spostino a causa di forze esterne mentre la macchina è spenta o in pausa, facendole perdere così le coordinate della posizione, il che potrebbe causare gravi conseguenze durante una lavorazione, dal momento che la posizione reale e quella memorizzata dal software non combaciano. Quindi all'avvio della macchina o prima di ogni nuova lavorazione viene inviato il comando che le fa raggiungere la posizione di HOMING. Si tratta di una posizione che per la CNC ha coordinate X0, Y0, Z0 ed è collocata alla massima estensione negativa degli assi X e Y e quella positiva dell'asse Z; per raggiungere questa posizione gli assi vengono fatti muovere fino a quando il loro finecorsa non indica la presenza del piano o della testa della fresa, a quel punto il software può essere sicuro della posizione della macchina.

Esistono vari tipi di sensori che possono svolgere il ruolo di finecorsa, i più diffusi grazie alla loro semplicità di funzionamento e al loro basso costo sono sicuramente gli switch meccanici, che



presentano un contatto NO e uno NC; tuttavia essendo appunto “meccanici” tutte le volte che vengono utilizzati vi è uno sfregamento tra l’asse e l’interruttore, che a lungo andare può portare al logoramento e quindi al malfunzionamento dello stesso.

In ambito industriale, vengono quindi utilizzati altri tipi di sensori, uno fra questi è il trasduttore a induzione.

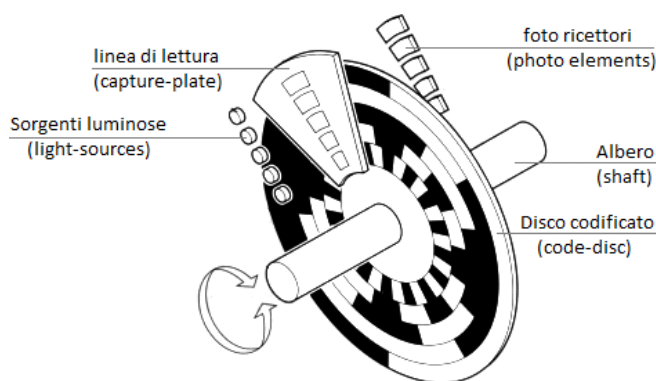


I sensori di prossimità induttivi vengono usati per rilevare oggetti metallici. Internamente sono costituiti da un oscillatore ad alta frequenza in grado di produrre un campo elettromagnetico nelle immediate vicinanze. La presenza di un metallo, che rappresenta un azionatore, determina una diminuzione dell’ampiezza dell’oscillazione, in quanto parte dell’energia elettromagnetica viene trasferita dal sensore all’azionatore e su questo si dissipa per effetto delle correnti parassite di Foucault. Il trasduttore utilizzato, lavorando

con la corrente DC, partendo dalla variazione dell’onda, tramite un trigger di Smith, pilota un transistor PNP che porta la differenza di potenziale sui morsetti d’uscita a 0 o 24V a seconda della presenza o meno dell’asse metallico.

Trasduttori di posizione

Le macchine a controllo numerico di fascia medio-alta presentano su tutti gli assi dei trasduttori di posizione che vengono utilizzati per verificare che la posizione effettiva raggiunta dalla macchina sia quella impostata dal software, mediante un controllo ad anello chiuso (trattato nel capitolo dedicato).



Il trasduttore di posizione è formato da un organo meccanico accoppiato direttamente all’organo di movimento della macchina utensile, questo elemento costituisce il segnale meccanico che deve essere trasdotto in un equivalente segnale elettrico, il segnale d’uscita del dispositivo.

Il sensore più utilizzato in questo ambito è l’encoder ottico, perché può essere montato direttamente sul motore che governa la macchina e, non presentando attriti meccanici,

è più longevo e mantiene la precisione nel tempo.

L’encoder è un trasduttore di posizione angolare, infatti può convertire la posizione angolare del proprio asse in un segnale elettrico analogico o digitale a seconda della presenza o meno di una unità di elaborazione.

Il funzionamento si basa sul principio di lettura fotoelettrica di specifici reticoli, infatti un fascio di luce illumina due reticoli radiali, i quali differenziano per essere uno fisso (diaframma) e l’altro mobile (disco).

La luce che riesce a oltrepassare i due reticoli colpisce un gruppo di fototransistor, posti dietro al diaframma, i quali la trasformano in impulsi di tensione.

Esistono due tipi di encoder, incrementali e assoluti.

Negli incrementali i segnali di uscita sono proporzionali in modo incrementale allo spostamento effettuato, mentre in quelli assoluti si ha un valore ben definito per ogni posizione dell’albero.

Questo secondo tipo di trasduttori possiede un disco codificato con più piste, le quali lette simultaneamente, permettono ai fototransistor di generare dei segnali paralleli in codice per ogni posizione angolare. Nel caso degli encoder assoluti multigiuro vi è la presenza di una pista aggiuntiva in grado di rilevare il senso di rotazione dell'albero. Dato che si tratta di dispositivi ottici, l'uscita di un singolo transistor può essere solamente "0" o "1", quindi il dato in uscita può essere fornito sottoforma di codice binario puro, BCD o Gray.

4. SOFTWARE E CONTROLLO DELLE CNC

Controllo ad anello aperto o chiuso

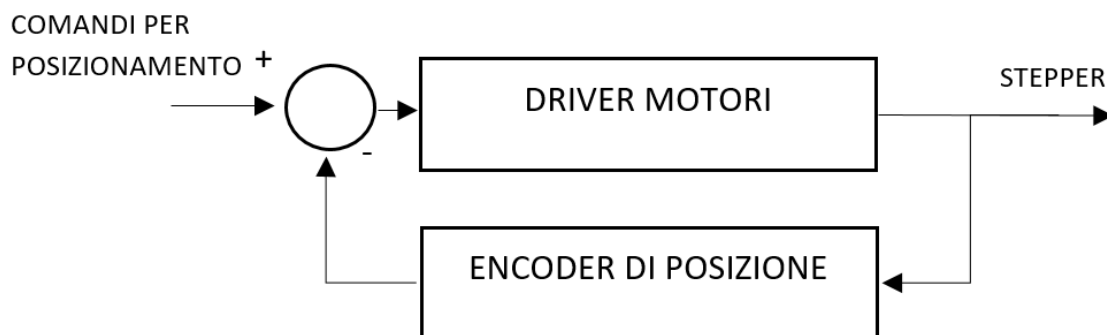
Una macchina a controllo numerico, come qualsiasi altro sistema, può essere controllato ad anello aperto o ad anello chiuso.

Nel controllo ad anello chiuso, c'è un confronto diretto tra la posizione reale della macchina e quella desiderata, infatti vi è un confronto tra le coordinate impostate e i segnali di retroazione provenienti da un trasduttore che ha il compito di fornire, sotto forma di segnale elettrico, il valore attuale della posizione.

Se vi è una differenza tra queste due grandezze, se quindi la posizione assunta dalla macchina non è quella corretta, il dispositivo di confronto genera un segnale chiamato "segnale differenza" o "segnale errore" che, opportunamente amplificato viene inviato a comandare l'azionamento del motore capace di riportare l'asse nell'assetto corretto.

Quando l'organo da posizionare si avvicina alla quota comandata, il segnale differenza diminuisce fino ad annullarsi nel punto in cui la macchina ha raggiunto la posizione voluta, quindi il motore, che aveva progressivamente diminuito la sua velocità, si arresta.

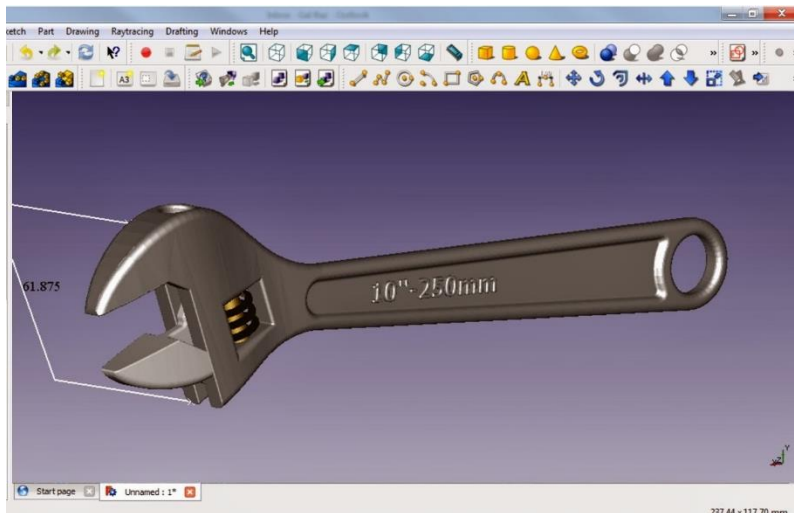
Nel dispositivo comparatore, i segnali di ingresso che sono messi a confronto devono essere omogenei tra loro; il segnale contenente la posizione che si deve raggiungere è digitale, mentre quello proveniente dal trasduttore può essere di natura digitale o analogica a seconda del dispositivo. Quindi con i sensori analogici è necessario l'introduzione di un ADC per la conversione analogico-digitale.



Nel controllo ad anello aperto, invece, non vi è una verifica della posizione finale della macchina, infatti vi è l'imposizione di una variabile di controllo in ingresso, che poi viene adeguatamente trasformata da una grandezza in grado di controllare l'attuatore, senza nessun tipo di retroazione, quindi non c'è la possibilità di sapere se la macchina ha raggiunto la posizione voluta.

In questo tipo di CNC è necessario far in modo di progettare la fresa e i parametri di lavorazione in modo tale che i carichi sostenuti durante la lavorazioni non vadano a far perdere i passi ai motori, con la possibilità quindi di avere lavorazioni non ottimali.





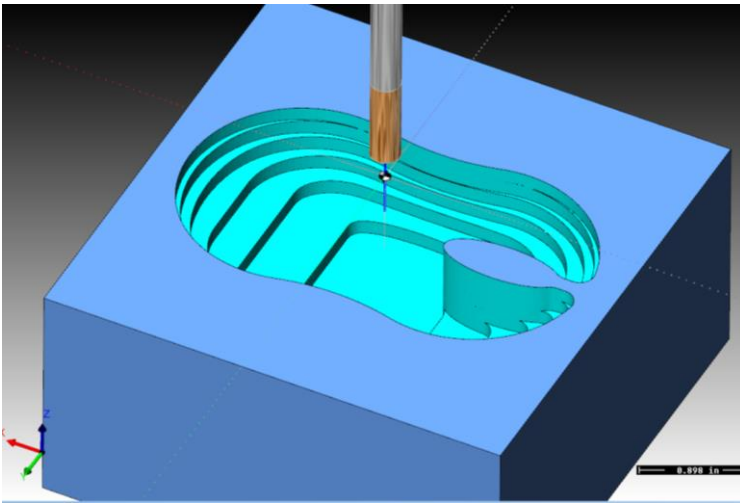
I CAD (computer aided design) sono una categoria di software utilizzati per la rappresentazione grafica su computer 2D e 3D.

Il CAD viene utilizzato per applicazioni specifiche, ad esempio nei film viene ampiamente utilizzato per generare effetti speciali; è applicato anche lungo tutto il processo di ingegnerizzazione, dal progetto concettuale e dall'impostazione dei prodotti, passando per l'analisi dinamica e di resistenza degli assiemi, fino alla

definizione dei metodi di produzione. In questo modo l'operatore può analizzare varianti di progetto in maniera interattiva e automatica, per individuare la soluzione ottimale da mandare in produzione, riducendo al minimo il ricorso a prototipi fisici. Nel caso della prototipazione il CAD viene utilizzato per creare un modello virtuale dell'oggetto da realizzare, per poter creare un file che contenga le informazioni utili al software CAM per poter impostare le lavorazioni in base alle forme del pezzo.

Durante i primi anni di diffusione delle macchine CNC, esse erano definite come macchine CN, perché si trattava di macchine controllate numericamente senza utilizzare un computer, infatti era l'operatore, che leggendo il disegno del prototipo su carta, impostava la macchina per farle eseguire i movimenti necessari per la lavorazione del prototipo; con l'avvento di questi programmi di disegno, si è arrivati ad avere una serie di vantaggi dovuti alle caratteristiche di precisione e velocità di calcolo dei computer, in particolare:

- minor lavoro da parte dell'operatore, che può concentrarsi su altri passaggi della produzione
- drastica riduzione della possibilità di errore nel calcolo delle traiettorie utensili, in quanto esse sono basate sulla lettura da parte di un computer di un modello virtuale preciso
- possibilità di visualizzare in modo virtuale il prototipo virtuale da tutti i punti di vista
- riduzione dei tempi di lavoro, in quanto il CAM calcola autonomamente il percorso
- un oggetto è più facilmente e velocemente riproducibile, infatti una volta disegnato al PC è possibile utilizzare questo modello per lavorare l'oggetto in modi diversi, in quanto tutti i programmi CAM partono dal disegno 3D del pezzo che è indipendente dal tipo di lavorazione da eseguire. Infatti uno stesso file .stl (estensione 3D) può essere utilizzato per ottenere un prototipo attraverso una fresa oppure attraverso un processo totalmente diverso come la stampa 3D.



Il CAM (Computer Addit Manufacturing) è una tipologia di software che rappresenta l'anello di congiunzione tra il disegno del modello e il codice macchina per realizzarlo.

In particolare il CAM è un programma che, partendo dal disegno 2D o 3D del pezzo da realizzare, crea il G-Code, o codice macchina che contiene le istruzioni per il firmware della CNC sui movimenti che deve eseguire.

Esistono diverse tipologie di questi programmi che si differenziano in base alla lavorazione voluta, ad esempio

esistono software specifici per la creazione dei percorsi utensili per la realizzazione di PCB, in quanto richiedono tecniche particolari per la fresatura dei diversi footprint e per le diverse tipologie di isolamento delle varie tracce.

I CAM più comuni sono, invece, in grado di generare codici macchina per fresatura su legno, alluminio o altri materiali, per lavorazioni 2D, 2, 5D o 3D, mentre i software industriali o più avanzati sono in grado di produrre percorsi utensili anche per lavorazioni a 4, 5, 6 assi.

Nel caso di lavorazioni con il laser vengono utilizzati software totalmente diversi, in quanto in questo tipo di lavorazioni non occorre controllare l'elettromandrino e l'asse z, dato che il laser necessita di un solo pin per l'accensione e, una volta impostata l'altezza iniziale, essa non necessita di cambiamenti, sarà infatti solo necessario spegnere e poi riaccendere il fascio luminoso durante gli spostamenti.

La generazione del file macchina è uno dei passaggi più delicati, perché vengono impostati tutti i parametri di lavorazione. In particolare, dopo aver importato il modello, i contorni del disegno o dei suoi componenti geometrici, come i fori, vengono identificati e per ognuno sarà possibile assegnare una lavorazione.

Quelle più frequenti sono:

- Contorno: operazione di lavorazione versatile, in genere utilizzata per tagliare attorno, all'interno all'esterno, di una forma
- Tasca: usata per asportare materiale all'interno del perimetro della forma selezionata. L'operazione tasca rileva le isole selezionate o le forme chiuse all'interno di altre forme per creare forme più complesse.
- Foratura: tipicamente utilizzata per forare liste di punti selezionati o centri di cerchio utilizzando gli utensili da trapano. Anche le frese possono essere utilizzate per praticare fori a spirale più grandi del diametro dell'utensile e operazioni complicate di foratura possono essere ottenute utilizzando script personalizzati
- Incisione: impiegata per lavorare sulle linee selezionate. Così come per la geometria 2D nel piano XY, l'incisione può essere utilizzata per seguire linee 3D con diverse altezze Z.
- profilo 3D: operazione per la lavorazione di forme 3D di oggetti con trame superficiali come quelli importati da file STL e 3DS.

G-Code

Le CNC si muovono attraverso una serie di istruzioni generate, come visto in precedenza, da un CAM, istruzioni che prendono il nome di G-Code. Questa tipologia di linguaggio di programmazione, è stato sviluppato attorno al 1950 nei laboratori del Mit. In quegli anni i codici erano scritti su schede perforate ed erano complessi da interpretare, soprattutto perché ogni casa produttrice utilizzava un linguaggio diverso. Negli anni sessanta si definirono i primi standard e poi nacquero numerose varianti dei GCode, utilizzati in vari tipi di macchine automatizzate. I GCode, infatti, si usano per comporre una lunga sequenza di comandi per descrivere il lavoro di una macchina utensile in modo preciso e ripetibile. Questo linguaggio semplice è tutt'ora in uso perché può essere trattato anche da piccole unità di elaborazione, come una scheda Arduino.

Questo codice viene utilizzato per controllare tutte le macchine CNC, da quelle amatoriali a quelle industriali, dalle frese alle laser cutter, alle stampanti 3D, naturalmente con i dovuti accorgimenti.

I GCode non sono un vero e proprio linguaggio di programmazione, perché non è possibile creare variabili, cicli per ripetere delle operazioni, introdurre delle logiche. Alcune moderne "revisioni" dello standard o delle varianti del linguaggio originale hanno incluso queste possibilità che ovviamente complicano il linguaggio. Per interpretare costrutti ed espressioni più complesse è però necessaria una maggior complessità nel software e nell'hardware a bordo delle macchine. Questo è il motivo per cui lo standard "semplificato" sopravvive senza problemi.

I GCode sono formati da gruppi di lettere e numeri.

Alcuni codici sono "istantanei" e una volta impartiti corrispondono a una precisa azione (per esempio uno spostamento dell'asse x di dieci millimetri); altri codici sono "modali", cioè attivano un comportamento che persiste fino a che non è modificato (per esempio l'impostazione della temperatura dell'estrusore).

Un file GCode può includere dei numeri di linea, anche se non è obbligatorio. Di solito sono esclusi perché non sono strettamente necessari e perché aumentano inutilmente le dimensioni del file.

ESEMPIO:

M3 S1000

G0 X23 Y7

M3: accensione mandrino (senso orario di rotazione)

S1000: velocità del mandrino

G0: posizionamento rapido

X23,Y7: raggiungi le coordinate X23 e Y7

G21 G90 X10

G21: misure in millimetri

G90: posizioni assolute

5. CNC DECI4040: SPECIFICHE TECNICHE

La prima fase di progettazione della macchina è stata la definizione delle specifiche tecniche che il progetto avrebbe dovuto soddisfare una volta terminato, specifiche di tipo meccanico, elettronico ed economico.

Caratteristiche

- Lavorazioni su ogni tipologia di legno
- Lavorazioni su vetronite per PCB
- Lavorazioni plexiglas
- Piccole lavorazioni su alluminio
- Lavorazioni in 2D 2,5D e 3D
- Precisione di almeno 0.01mm per l'asse Z
- Precisione di almeno 0.1mm gli assi X e Y
- Possibilità di ancoraggio del pezzo in diversi modi
- Struttura in alluminio per assicurare la massima robustezza
- Area di lavoro sufficiente per le lavorazioni fai da te (400x400mm)
- Dimensioni totali contenute

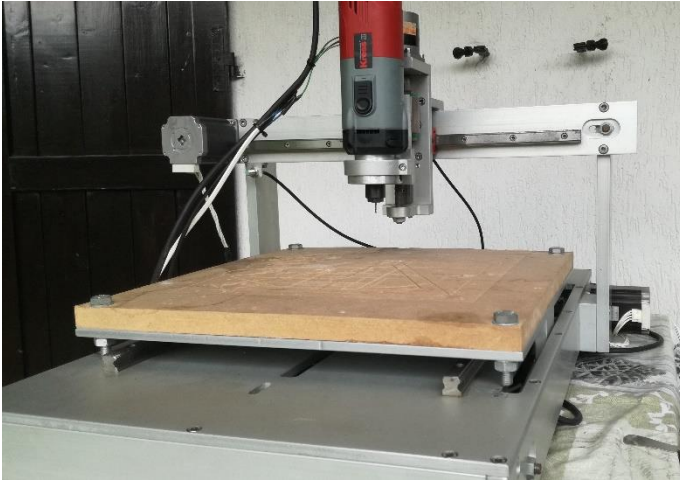
Componenti elettronici

- Motori stepper bipolari su tutti gli assi con almeno 1,8° di risoluzione di base
- Finecorsa su tutti gli assi
- Driver controllo motori con la possibilità di microstepping
- Microcontrollore open-source

Organi di controllo

- Pulsantiera fisica sul dispositivo per le principali funzioni e arresto d'emergenza
- Display per monitoraggio consumo istantaneo
- Software sviluppato appositamente per la macchina, attraverso comunicazione seriale
- Predisposizione per controllo mandrino automatico o manuale
- Firmware open-source per debugging o personalizzazioni

6. CNC DECI4040: PROGETTAZIONE MECCANICA



La base di partenza per la costruzione di una macchina a controllo numerico è sicuramente la struttura meccanica; fin dal primo momento in cui ho iniziato a pensare alla progettazione di questa macchina la parte meccanica è stata quella con la quale ho avuto più difficoltà nella realizzazione pratica. Infatti, pur avendo un'idea di come realizzare la struttura, non avevo a disposizione nessuna macchina utensile o materiale con il quale realizzare la mia CNC. Dopo qualche ricerca sono riuscito a trovare una macchina già realizzata

meccanicamente, ma senza l'elettronica di controllo, che è esattamente il lavoro per il quale sono stato formato in questi anni. Quindi di seguito descriverò la meccanica della macchina come è stata realizzata dal proprietario precedente e alla quale non ho apportato nessuna modifica, se non qualche accorgimento di manutenzione.

L'intera struttura è stata realizzata con alluminio anodizzato, lavorato opportunamente da una macchina CNC industriale; è costituita da più parti unite con l'utilizzo di viti a brugola M8 poste nei fori filettati delle varie sezioni.

La fresa è stata progettata a ponte fisso, come spiegato nel capitolo dedicato, per permettere lavorazioni con flessioni e oscillazioni minime, quindi il movimento sull'asse Y è ottenuto tramite lo spostamento del piano di lavoro, realizzato anch'esso in alluminio (dimensioni 400x400mm), al di sopra del quale vi è ancorato il "cadavere" di legno MDF di spessore 20mm tramite il quale i pezzi in lavorazione vengono assicurati.

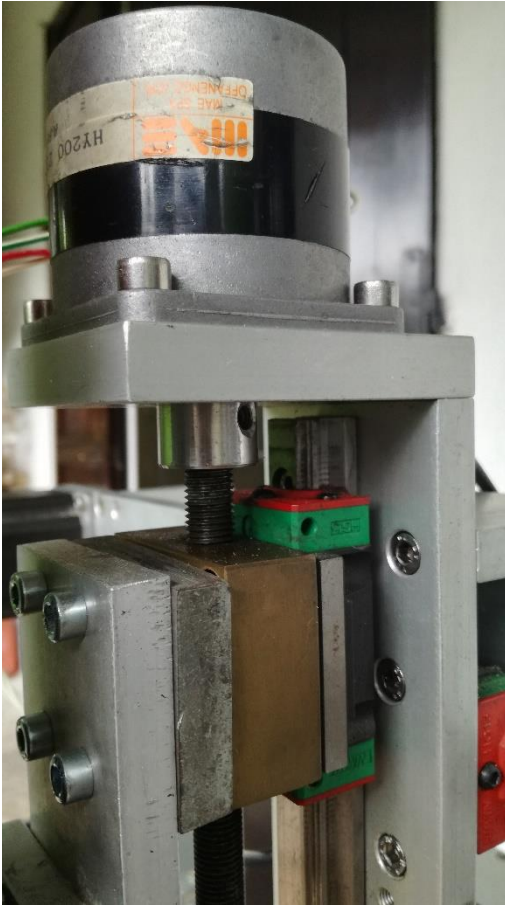
Per la trasmissione sono stati utilizzati due diversi metodi: per X e Y cinghie e pulegge, mentre per l'asse Z è stata utilizzata una barra filettata.



La trasmissione a cinghia è stata ottenuta mediante l'utilizzo di cinghie T5 1440, con pulegge a 17 denti sia per la motrice che per la condotta, in modo da non modificare il rapporto di trasmissione. Il piano di lavoro (asse Y) e la struttura dell'asse Z con l'utensile (asse X) sono assicurate sulle cinghie mediante opportuni giunti. La struttura prevede inoltre un sistema per il tensionamento degli organi di trasmissione.

L'asse Z è invece mosso tramite una barra filettata M8, collegata all'albero motore tramite un giunto flessibile. Su questo asse è stata adottata questa soluzione perché un requisito, che questa fresa deve soddisfare, è la realizzazione di PCB, quindi deve essere in grado di rimuovere con

precisione il sottile strato di rame delle basette di vetronite, che nella maggior parte dei casi è pari a 35µm, quindi con un passo di 1,25mm e un numero di step pari a 200 si ottiene senza usare nessun tipo di microstepping una risoluzione di 6,26µm. Da notare che è stato possibile applicare questa soluzione all'asse z perché esso presenta una corsa limitata e quindi la macchina non soffre in modo eccessivo del difetto degli spostamenti lenti tipico delle barre filettate.

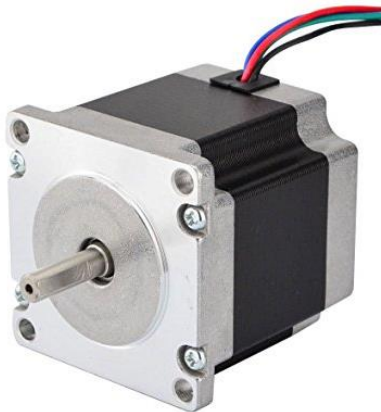


Per assicurare la massima precisione nei movimenti ed evitare la possibilità di perdita di passi, problematica che può condizionare ogni lavorazione in quanto non viene applicato un controllo ad anello chiuso, sono state impiegate su tutti gli assi guide lineari con carrelli a ricircolo di sfere, in particolare sull'asse Y; per le dimensioni del piano di lavoro sono state utilizzate due guide parallele tra loro con l'utilizzo di 4 carrelli; mentre su X e Z sono presenti 1 guida e un carrello per asse.

7. CNC DECI4040: PROGETTAZIONE ELETTRONICA DI MOVIMENTO

Gli assi devono essere mossi tramite l'utilizzo di motori stepper, dimensionati in base allo sforzo che devono sostenere durante le lavorazioni che affronterà la macchina; quindi per la scelta dei componenti da applicare si deve far riferimento al materiale più difficile da modellare, sul quale dovrà lavorare la macchina.

Come si legge nelle specifiche di progetto, il materiale più resistente che si andrà ad utilizzare sarà l'alluminio, quindi bisogna scegliere dei motori che riescano a sviluppare una coppia sufficiente per muoversi su questo elemento senza rischiare di perdere passi o danneggiare la macchina.



In base a questa premessa, sugli assi X e Y sono stati installati dei motori stepper con un angolo di step di $1,8^\circ$ e una coppia massima di 300Ncm, coppia tale da permettere lavorazioni anche sull'alluminio, naturalmente senza pretendere avanzamenti eccessivi.

Questi motori possono essere alimentati a tensioni diverse, il costruttore consiglia dai 24 a 75V, in base alle condizioni di lavoro, con un picco di corrente massima di 4A.

Per l'asse Z, invece, è stato adottato un motore diverso, in quanto è necessaria minore coppia per l'avanzamento, in particolare è stato utilizzato un motore stepper con 200 step per rotazione, una coppia

massima di 70Ncm e un assorbimento di picco di 2A. Si tratta di un motore unipolare, che è poi stato convertito in bipolare per poter utilizzare la stessa elettronica di controllo degli altri due motori.

Per controllare gli assi, sono necessari dei componenti elettronici chiamati driver, che possano trasformare i segnali di ingresso ricevuti dal microcontrollore a bassa tensione, in impulsi di corrente di potenza adeguata per controllare gli utilizzatori.

L'idea iniziale era quella di utilizzare l' L298, un driver già impiegato in passato e con il quale avevo realizzato diversi progetti senza problemi; tuttavia dopo qualche ricerca sono venuto a conoscenza della non adeguatezza di questo integrato per il controllo dei motori di una CNC; infatti pur soddisfacendo i requisiti in termini di tensione di alimentazione, non è in grado di operare un controllo sulla corrente in uscita, quindi non è possibile limitarne il valore massimo e non si ha la possibilità di utilizzare il microstepping, tecnica invece utilissima nel comando delle macchine a controllo numerico.



Ho quindi analizzato un altro componente, il TB6600, un driver ampiamente usato con le macchine utensili, che soddisfaceva le caratteristiche elettriche e sul quale si poteva operare un controllo sulla corrente e il microstepping. Ho valutato sia l'ipotesi di acquistare il driver già pronto oppure di acquistare solo l'integrato e progettare interamente il driver. Dopo un'attenta analisi, è risultato che costruire il driver non era conveniente, perché il prezzo di partenza del singolo chip sarebbe stato troppo elevato e ci sarebbe voluto più tempo per la

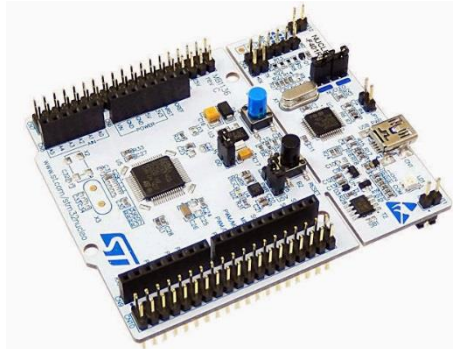
realizzazione e il collaudo, con possibili prestazioni minori in termini di affidabilità a lungo termine.

La scelta invece dell'elettro-mandrino è stata nettamente più semplice, infatti ho ripiegato immediatamente su un dispositivo con motore integrato, in quanto avrebbe semplificato la progettazione e avrebbe permesso la rimozione in pochi minuti, per poter montare per esempio un modulo laser al posto della fresa. Quindi è stato utilizzato il Kress800, un mandrino dalla potenza massima di 800W, con velocità regolabile tramite un potenziometro collocato sulla sua struttura e alimentato tramite la tensione di rete, quindi facilmente controllabile anche dal microcontrollore attraverso l'utilizzo di un relè.



8. CNC DECI4040: PROGETTAZIONE ELETTRONICA DI CONTROLLO

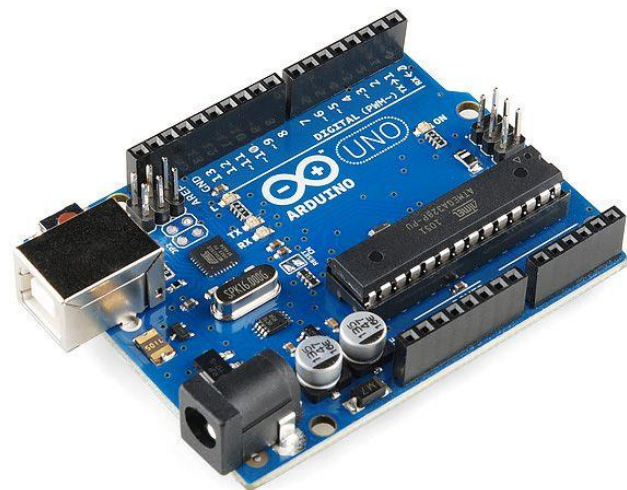
Il controllo dell'intera macchina è affidato ad un microcontrollore che, ricevendo in ingresso le istruzioni in G-Code, comanda i motori per far in modo che la CNC assuma la posizione corretta. Sul mercato esistono diversi dispositivi che possono eseguire queste operazioni.



La prima board presa in considerazione è stata la Nucleo F401RE, una scheda sviluppata dalla STMicroelectronics che implementa il controllore STM32F401RE, che con 512KB di Flash Memory risulta particolarmente flessibile dal punto di vista della customizzazione grazie ai pin morpho con cui è possibile accedere a tutti i pin del microcontrollore a 32 bit, con la possibilità di apportare modifiche senza troppe complicazioni. In aggiunta vi è la possibilità di alimentare la scheda attraverso l'ingresso USB o attraverso i power-pin fino ai 12V. La nucleo board monta, infine, dei pin

meccanicamente compatibili con quelli di Arduino, anche se non sempre le shield di Arduino sono anche elettricamente compatibili. La programmazione avviene attraverso l'IDE On-Line MBED, a livello hardware invece mediante l'STLink, quasi una scheda a sé stante con installato il microcontrollore STM32F103, che si occupa della sola programmazione della board.

Questa scheda possiede quindi ottime caratteristiche che permettono lo sviluppo di progetti elettronici, tuttavia presenta un aspetto negativo, che è la quasi assenza di materiale in rete. Infatti si tratta di un microcontrollore dalle ottime prestazioni e ampiamente utilizzato in ambito industriale che però non si è sviluppato ampiamente ed in modo adeguato tra i makers, ciò provoca l'assenza di esempi o librerie dalle quali poter partire per sviluppare un progetto complesso, come invece accade per la scheda cugina Arduino.



Quindi la scelta definitiva è ricaduta sulla famiglia Arduino ed in particolare sulla scheda più famosa, ovvero l'Arduino UNO. Si tratta di una board italiana basata sul controllore ATmega328p dotata di 14 pin digitali di I/O (di cui 6 dotati di PWM), 32 kbyte di flash memory e clock a 16MHz.

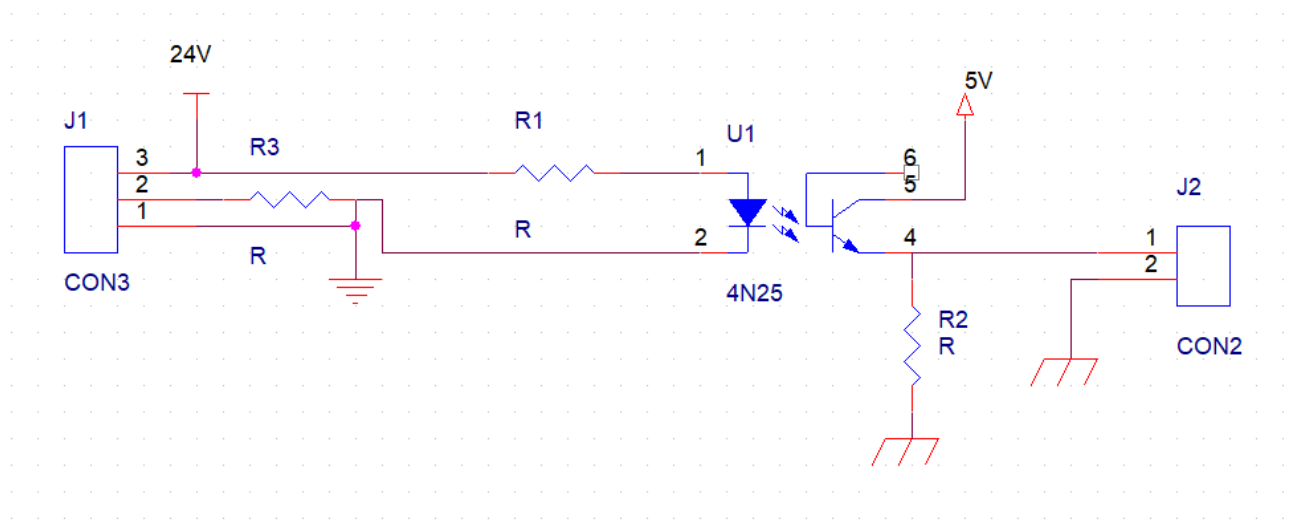
A differenza della board della ST, questa è utilizzata principalmente dai makers, che hanno contribuito negli anni a costruire tantissime risorse in rete da cui prendere spunto. Inoltre è da ormai tre anni che personalmente utilizzo questa scheda per realizzare i miei progetti, quindi possiedo una conoscenza adeguata del

dispositivo e soprattutto dell'ambiente e del linguaggio di programmazione (un derivato del C).

Spostandosi invece sui sensori utilizzati per rilevare i fine-corsa, come spiegato nel capitolo dedicato, vengono utilizzati dei sensori induttivi, che possono rilevare la prossimità dell'alluminio degli assi, in particolare i trasduttori utilizzati sono in grado di rilevare la presenza di metallo ad una distanza di 1.25mm circa, utilizzando una tensione di alimentazione di 24V; quindi anche l'uscita (comandata da un pnp) avrà questo livello di tensione.

Dopo il posizionamento sulla macchina e la conseguente calibrazione l'unico accorgimento che è stato necessario adottare, è stato prevedere un circuito in grado di portare l'uscita del dispositivo ad un livello di tensione compatibile con la scheda di controllo Arduino (5V). Per risolvere questo

problema è possibile utilizzare diverse soluzioni circuitali, quella più semplice è partitore di tensione o un circuito con un diodo Zener del valore di 5V (commercialmente 5V1 o 4V7), capace di imporre questa tensione ai suoi capi. Tuttavia queste soluzioni non sono ottimali perché vi è un collegamento elettrico fra i due livelli di tensione, infatti la soluzione migliore (che è quella adottata internamente dai driver dei motori per gli ingressi digitali) è quella di isolare galvanicamente le due tensioni, attraverso l'utilizzo di un foto-accoppiatore. Si tratta di un integrato formato da un fotodiodo e un foto transistor: applicando una tensione al fotodiodo, che nel nostro caso è l'uscita del sensore, se essa è ad un livello alto, il diodo emette luce, che è rilevata dalla base del fototransistor, che passa dall'interdizione alla saturazione, in questo modo è possibile far passare corrente dal collettore all'emettitore. Il circuito sarà quindi costituito da una resistenza per limitare la corrente in ingresso del diodo e una resistenza di pull-down sul transistor.



8. CNC DECI4040: PROGETTAZIONE SOFTWARE DI CONTROLLO

Per la produzione di un oggetto, bisogna utilizzare diversi software, partendo dal CAD, passando dal CAM fino ad arrivare al software che manda il G-Code alla macchina e al firmware del microprocessore

Il programma caricato sulla piattaforma Arduino ha il compito di leggere le righe di G-Code inviate dal PC tramite collegamento seriale e, sulla base di queste, modificare le sue uscite per posizionare diversamente il motore, per accendere il mandrino... inoltre il microcontrollore deve anche rilevare l'eventuale raggiungimento dei fine corsa o la pressione dei pulsanti esterni di comando.

L'idea iniziale era quella di sviluppare interamente anche il firmware di Arduino, quindi ho iniziato ad analizzare e studiare codici di CNC già creati da altri utenti e mi sono reso conto della complessità di sviluppare un programma simile. La problematica maggiore non derivava dalla gestione dei fine-corsa, che sono degli interrupt che devono semplicemente bloccare i motori, o dalla gestione dei pulsanti o della comunicazione o dal riconoscimento delle istruzioni trasmesse, bensì dall'effettuare il corretto posizionamento della macchina. In passato, per altri progetti mi ero già scontrato con il pilotaggio di motori passo-passo, ed ero riuscito a controllarli senza problemi, in questo caso però è richiesta una precisione tale che probabilmente, se fossi riuscito a sviluppare il programma, non avrei comunque raggiunto. In particolare sui motori delle CNC va effettuata una gestione precisa anche dell'accelerazione e della decelerazione degli stessi, infatti il posizionamento, dovendo essere accurato al centesimo di millimetro, deve essere gestito in modo ottimale in tutte le sue fasi; inoltre un altro problema riscontrato è quello dell'interpolazione degli assi, infatti difficilmente in una fresa si muove un solo motore per volta, anzi nella maggior parte dei casi vi è un'interpolazione fra due o tre assi, il che significa che a livello di controllo è necessario far muovere tre assi contemporaneamente per ottenere la traiettoria voluta. Si consideri per esempio una forma circolare, per la CNC è forse la traiettoria più difficile da percorrere, perché è necessaria un'interpolazione tra l'asse X e Y e per ogni movimento su un asse ne corrisponderà uno sull'altro asse, ma un movimento di pochi decimi di millimetro, altrimenti i bordi del cerchio rimarranno seghettati.

In conclusione, analizzati questi elementi, ho preferito concentrarmi sugli aspetti che avrei potuto risolvere piuttosto che perdere tempo prezioso nella programmazione di un firmware che sicuramente non avrebbe soddisfatto i requisiti di precisione.

Ho invece sviluppato il software che, partendo dal file generato dal CAM, invia i comandi alla macchina.

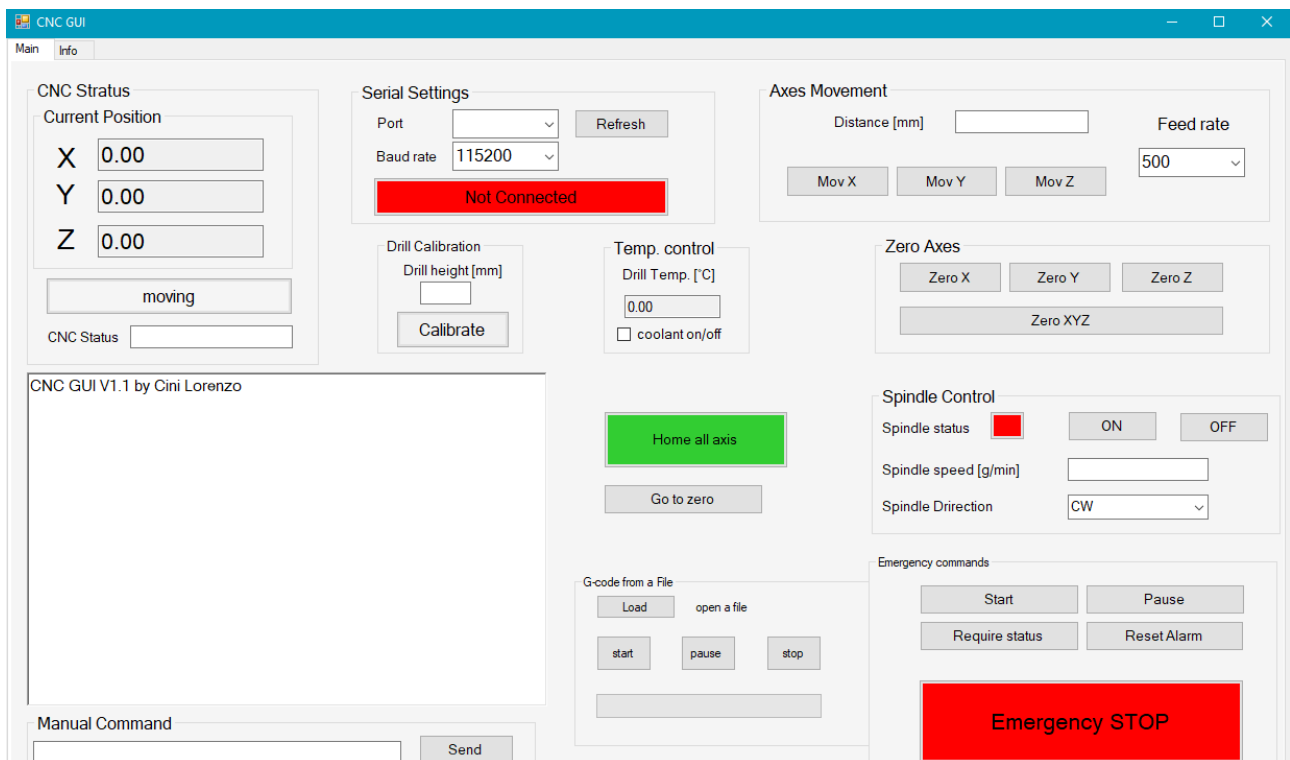
Si tratta di una GUI realizzata in C# che comunica con Arduino tramite un collegamento seriale gestito dall'applicazione. Il form principale è composto dai comandi necessari al posizionamento manuale della macchina, per raggiungere il punto zero, dai comandi per l'invio di istruzioni G-Code da file, da una console nella quale si possono verificare le comunicazioni tra PC e CNC e le indicazioni sullo stato e la posizione della macchina.

La gestione dell'applicazione avviene attraverso l'utilizzo di più thread, nel caso limite addirittura quattro, in quanto per valutare costantemente la posizione della macchina senza bloccare l'esecuzione principale è necessario svolgere più istruzioni in parallelo. In particolare:

1. Main thread che gestisce i comandi per il posizionamento manuale, per il controllo del mandrino, per la pausa o l'avvio della macchina...
2. Thread che ripetutamente all'infinito richiede la posizione alla macchina
3. Thread per la lettura della risposta alla richiesta di posizione e che quindi suddivide le informazioni ricevute in un'unica stringa nelle varie label per la posizione dei singoli assi e per lo stato della macchina

4. Thread per l'invio del G-Code da file perché quando l'applicazione invia le istruzioni uno dopo l'altra entra in un ciclo che può durare a lungo e, se non si utilizza un thread diverso, tutta l'interfaccia rimane bloccata e non è possibile mandare comandi alla macchina.

L'utilizzo del multi-threading ha portato con sé tutta una serie di complicanze che hanno richiesto diverso tempo per essere risolte, in particolare è stata difficile la gestione delle varie label da parte di thread diversi, infatti esse sono create dal thread principale e non è possibile accedervi da altri thread. Pertanto quando l'applicazione riceveva la stringa contenente la posizione, una volta suddivisa nelle varie posizioni dei tre assi, non ho potuto direttamente scrivere il dato nella label ma ho utilizzato un delegato creato dal thread principale che andasse a modificare il contenuto della casella di testo per conto del thread di lettura della risposta della CNC.



9. SVILUPPI FUTURI

La DECI4040 può essere migliorata sotto molti aspetti, per incrementare le prestazioni o per espandere le possibilità di lavorazione.

Il primo upgrade, che vorrei applicare sulla macchina, è l'installazione di un modulo laser al posto della fresa per poter effettuare incisioni o tagli su legno.

Esistono in commercio diverse tipologie di questi dispositivi, da quelli con una potenza di pochi milliwatt, che consentono di effettuare incisioni come scritte o anche disegni, a quelli più potenti (si può arrivare anche fino a 1KW) con cui è possibile tagliare materiali come il compensato 5mm.

A livello elettronico bisogna aggiungere un circuito che sia in grado di generare una corrente costante (utilizzando per esempio un LM317), ma che possa essere regolata dall'utente per poter scegliere l'intensità del raggio in base alla tipologia di lavorazione che viene eseguita.

Il firmware della CNC, invece, deve essere leggermente modificato in quanto le istruzioni sulla movimentazione sugli assi X e Y sono le stesse di una fresa, ma non vi è un incremento dell'asse Z perché ovviamente il laser non ha necessità di essere a contatto con il materiale. La principale differenza è la gestione del modulo installato durante gli spostamenti, infatti nella configurazione con il mandrino durante gli spostamenti esso viene alzato per evitare che la fresa vada a rovinare materiale che non deve essere lavorato, invece con un laser la CPU deve spegnerlo senza variare l'altezza per evitare di incidere parti non necessarie.

Un'altra possibilità di espansione può essere l'integrazione di un estrusore per ottenere una stampante 3D, infatti per la realizzazione di oggetti non particolarmente alti (il ponte ha un'altezza di 60mm quindi al di sotto non possono passare oggetti più alti) la meccanica della macchina può essere utilizzata senza apportare modifiche sostanziali. A livello software invece è necessario cambiare l'intero codice perché in una stampante 3D, oltre ai comandi per la movimentazione dei motori, sono presenti le istruzioni per controllare un motore stepper che ha la funzione di spingere il filo di materiale nell'estrusore per gestire in modo continuo la quantità di materiale che deve essere estruso.

Infine per incrementare la precisione della macchina è possibile cambiare la tipologia di controllo passando da uno ad anello aperto ad uno ad anello chiuso. Come spiegato nel paragrafo dedicato, questo metodo mediante l'uso di encoder collocati sui motori è in grado di comunicare al microcontrollore l'esatta posizione della macchina in modo tale da capire se essa è stata posizionata in modo corretto o se ci sono state delle perdite di passi. Per realizzare ciò, è necessario acquistare degli encoder ottici o capacitivi da posizionare sull'albero dei motori, tuttavia collocarli sugli stepper installati sulla CNC in questo momento può risultare difficoltoso, perché l'albero è interamente occupato dalla puleggia (X e Y) o dal giunto per la barra filettata (Z), quindi andrebbero utilizzati dei motori creati appositamente per questo scopo che presentano due alberi collocati su due lati del motore, in modo da collegare l'asse da una parte e l'encoder dall'altra. A livello firmware andrebbero modificate le istruzioni per la movimentazione della macchina perché dopo ogni movimento si dovrebbe effettuare un controllo sulla posizione raggiunta dagli assi.

10.BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Ezio Venturi, Giulio Ortolani, *Manuale di elettrotecnica elettronica e automazioni*, HOEPLI, 2014
- AA.VV., *Manuale delle macchine utensili*, Tecniche Nuove, 2002
- D.H.Bruins, H.J.Drager, *Utensili e macchine utensili ad asportazione di truciolo*, Tecniche Nuove, 1981
- AA.VV., *Manuale degli utensili*, Tecniche Nuove, 2001
- AA.VV., *Manuale di meccanica*, HOEPLI
- <http://www.mauroalfieri.it/download/CNC-Paolo-Piras.pdf>
- <http://www.elettronicaclub.eu/autocostruzione-fresa-cnc-parte-1/>
- <http://www.ronchinimassimo.com/macchine-cnc-cosa-sono-e-come-funzionano/>
- <http://www.grix.it/UserFiles/ceck90/File/CNC%203%20Assi.pdf>
- <http://stampiamoin3d.com/macchine-cnc-cosa-sono-come-si-costruiscono/>
- <http://stampiamoin3d.com/macchine-cnc-utensili-da-lavoro/>
- <http://www.ipscarrara.gov.it/ips/attachments/article/2403/CNC.pdf>
- <http://www.gimaspa.com/servizio-torneria/>
- Cncitalia.net (Forum)