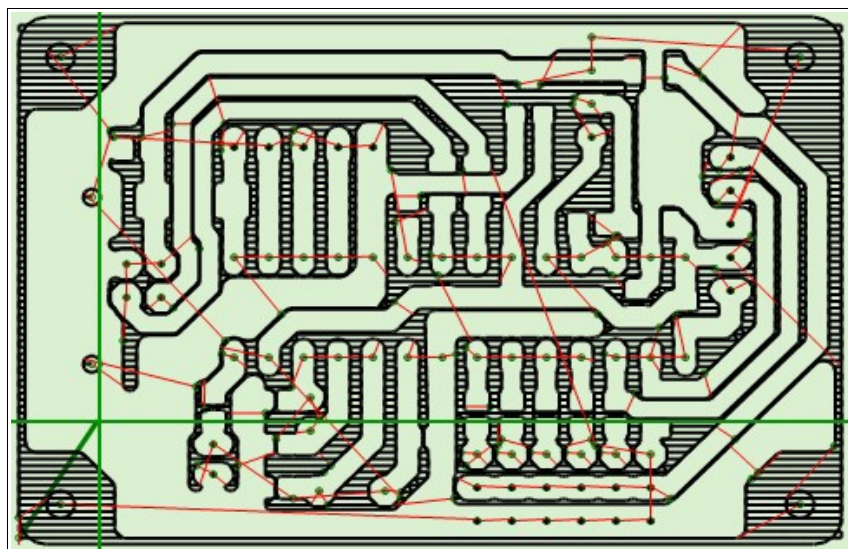


Sistema theremino



Theremino CNC - V5.0

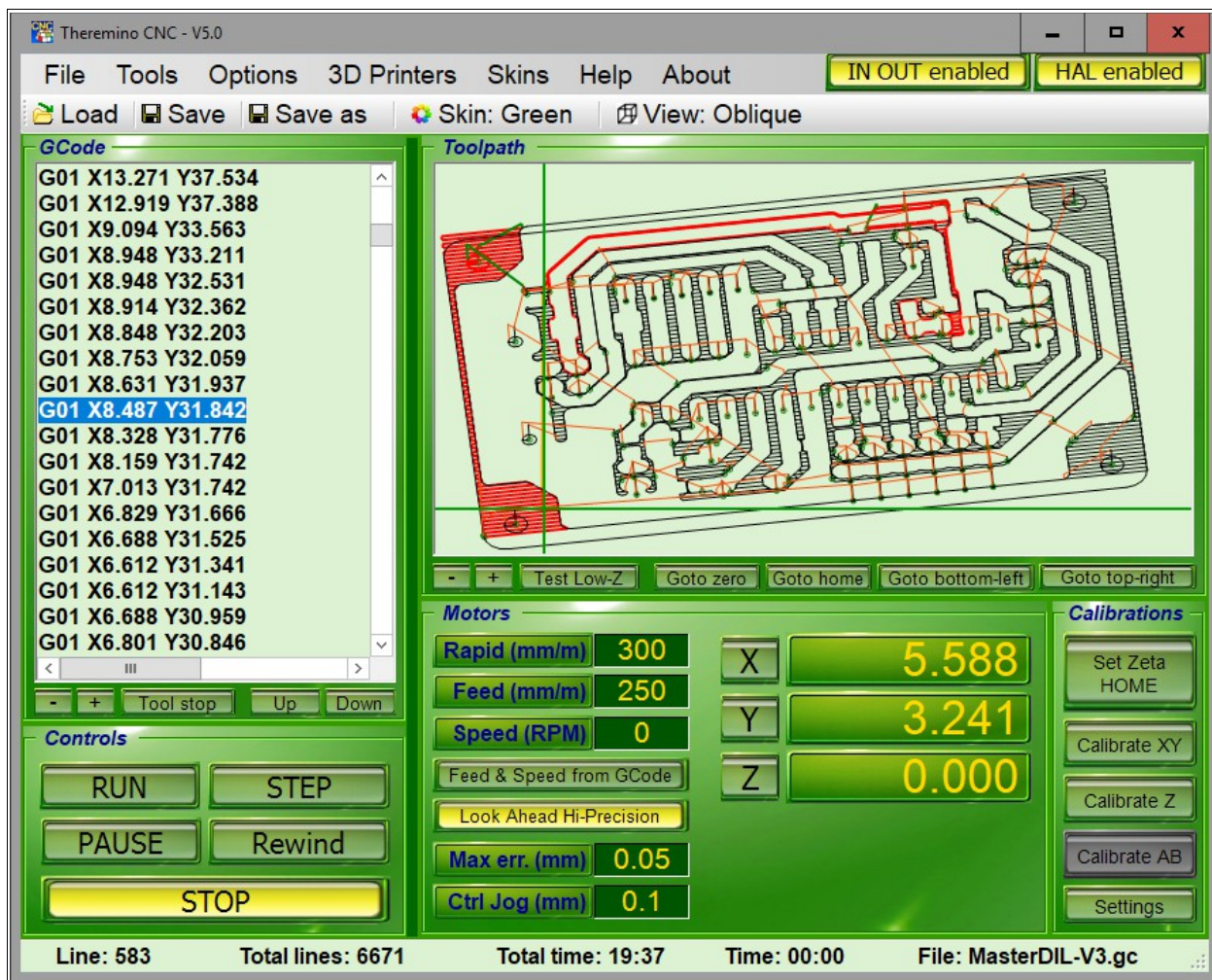
Istruzioni

Indice generale

Theremino CNC	4
Iniziare senza leggere le istruzioni.....	5
Cosa fare se Theremino CNC non si avvia.....	6
Impostazioni di Visualizzazione	7
Ridimensionare le due metà della finestra principale.....	7
I controlli dell'hardware.....	7
Scegliere i colori.....	8
La regolazione di DPI dello schermo di Windows.....	8
GCode	9
Pannello GCode.....	9
Il menu “contestuale” del Gcode.....	10
Modificare il GCode.....	11
Toolpath	12
Pannello Toolpath.....	12
Comandi da tastiera (JOG manuale).....	13
Comandi con il mouse.....	13
Comandi con il touchpad.....	14
Comandi con il GamePad.....	15
Visualizzazioni del Toolpath.....	16
Azzeramento iniziale.....	17
Controlli e Calibrazioni	18
Pannello Controls.....	18
Pannello Motors (parte sinistra).....	19
Pannello Motors (parte destra).....	20
Inserire una coordinata manualmente.....	21
Fare piccole correzioni durante la lavorazione.....	21
Gli assi A e B.....	22
Pannello Calibrations.....	23
Regolazione dei parametri di calibrazione.....	24
Il menu della applicazione.....	25
Il menu “Opzioni”.....	26
La barra degli attrezzi.....	27
La barra di stato.....	27
Le regolazioni dei motori nel Theremino HAL	28
Regolazione dei valori nelle caselle numeriche	29
Applicazioni multiple	30
Consigli per le funzioni meno evidenti	31

Appendice 1 - Velocità di lavorazione.....	32
Appendice 2 - Il calcolo della traiettoria.....	33
Appendice 3 - Tempi di lavorazione.....	34
Appendice 4 - Funzioni implementate.....	35
Appendice 5 - Funzioni non implementate.....	37
Appendice 6 - Le interpolazioni circolari G02 e G03.....	38
Appendice 7 - I comandi HOME (G28 e seguenti).....	39
Appendice 8 - Il Theremino CNC Adapter.....	40
Appendice 9 - Slots di ingresso e uscita.....	42
I Pin di InOut, sul modulo Master.....	43
Segnali di uscita.....	44
Schemi di collegamento per tutti gli ingressi ON-OFF.....	46
Appendice 10 - Regole per i collegamenti elettrici.....	47
Appendice 11 - Foto accoppiatori.....	48
Appendice 12 - Connettere i driver dei motori.....	49
Appendice 13 - Il suono degli stepper.....	50
Appendice 14 - Le doppie coordinate.....	51
Appendice 15 - Gli azzeramenti.....	52
Appendice 16 - I tastatori.....	53
Appendice 17 - Interpolazioni con vettori a 5 dimensioni.....	54
Appendice 18 - Il controllo sul controllo.....	55
Appendice 19 - Funzionamento asincrono.....	56
Appendice 20 - Precisione della velocità di avanzamento.....	57
Appendice 21 - Generare GCode per Theremino CNC.....	58
Appendice 22 - PCB prodotti da Eagle e Fast Gcode.....	59
Appendice 23 - Stampanti 3D.....	61
Appendice 24 - Sensori per le temperature.....	62
Appendice 25 - Tabelle per le temperature.....	63
Esempi di tabelle per le temperature.....	64

Theremino CNC



Una applicazione semplice

Theremino CNC ha un solo sistema di coordinate. Quindi niente coordinate pezzo e coordinate macchina. Si porta la fresa nel punto di inizio, si azzerano gli assi e si preme START.

Chi trovasse Theremino CNC troppo semplice, potrebbe usare [Mach3](#) o [LinuxCNC](#), e scrivere un PlugIn, per inviare le coordinate (in millimetri), agli Slot. Così potrebbe sfruttare la [precisione degli impulsi](#), generati dai nostri Master.

Perché un solo sistema di coordinate?

Il doppio sistema di coordinate potrebbe far risparmiare tempo in ambito professionale. Ma non è il nostro caso. Il sistema Theremino è progettato per la didattica e il Fai Da Te, dove non si fa produzione, ma si fanno ogni volta lavorazioni diverse. In questo contesto, il doppio sistema di coordinate non solo è inutile, ma è anche una complicazione, che rallenta e favorisce gli errori. Come andare in giro con due biciclette.

Ma non sarebbe meglio implementare tutto?

Abbiamo scritto Theremino CNC, per avere finalmente un CNC facile da capire e facile da usare. E non si può "Buttarci dentro tutto quel che capita, che più ce n'è, meglio è". Comunque è tutto Open Source, a complicarlo ci penseranno altri.

Iniziare senza leggere le istruzioni

Controllare i parametri dei motori

Premesse essenziali sono che il valore "Rapid", non sia maggiore della "Max speed", del motore più lento. E anche che le impostazioni "Max acc." e "Step per mm" di tutti i motori, siano state regolate, provate e ottimizzate. E anche che i numeri degli Slot coincidano.

Se i motori non sono ben regolati, come spiegato nella pagina "[Regolazione dei motori nell'HAL](#)", si consiglia di fare solo brevi prove "di assaggio", senza utensile, con la punta tenuta alta "a mangiare l'aria" e stando pronti a premere nuovamente il pulsante START, o la barra SPAZIO.

Caricare un GCode

Theremino CNC legge tutte le estensioni: **.gc**, **.tap**, **.nc**, **.ncc**, **.dnc**, **.iso**, e anche **.txt**

Se il caricamento avviene senza messaggi di errore, si può iniziare subito la lavorazione. Altrimenti controllare i codici "G" e "M" indicati e trovare il modo di farne a meno. Oppure indicare al CAM di non usarli (configurare il post-processor). In tutti i casi, ma soprattutto quando si eseguono GCode fatti da altri, è bene tenere l'asse Z molto alto e "lavorare per aria", fino a che non si è ben sicuri che il percorso utensile sia giusto.

Muovere la fresa nel punto di inizio

Stabilire il punto di inizio (lo zero della lavorazione) è una pratica controversa. Alcuni considerano come zero, la posizione più a sinistra e in basso, che la macchina riesce a raggiungere, quando va a battere nel fondo corsa. Poi preparano tutti i GCode, con coordinate spostate di molto dallo zero, in modo da farli lavorare, approssimativamente a metà macchina. E infine, fissano il pezzo da lavorare, dove il GCode andrà a lavorare. Questo modo di azzerare, è impreciso e pericoloso. Basta sbagliare i calcoli, o la posizione di fissaggio, per spaccare l'utensile o rigare il pezzo. E infine, non si possono fare più pezzi, in posizioni diverse, usando lo stesso GCode.

Meglio quindi stabilire lo zero, in modo relativo al pezzo (non alla macchina) e "azzerare" tutti i GCode. Cioè i valori zero dei GCode, devono indicare il punto in basso a sinistra, del pezzo da lavorare, non lo zero della macchina. Tutti i GCode che si usano, devono seguire questa regola, ci si deve poter fidare, che i GCode non vadano a lavorare "chissà dove". Eventualmente ripassarli tutti con il "Traslate to zero" del menu "Tools".

Azzerare gli assi

Dopo aver ben fissato il pezzo e portato manualmente la punta dell'utensile, esattamente nel punto zero del pezzo, premere i pulsanti di azzeramento degli assi. E' anche possibile ritoccare una sola coordinata, e poi azzerarla (spesso si fa questo sull'asse verticale Z). L'allineamento con la macchina rimane valido, anche dopo aver spento macchina e PC. Se la posizione del pezzo rimane la stessa, si può interrompere la lavorazione a metà, e continuare il giorno dopo. Non è necessario ripetere gli azzeramenti ad ogni avvio.

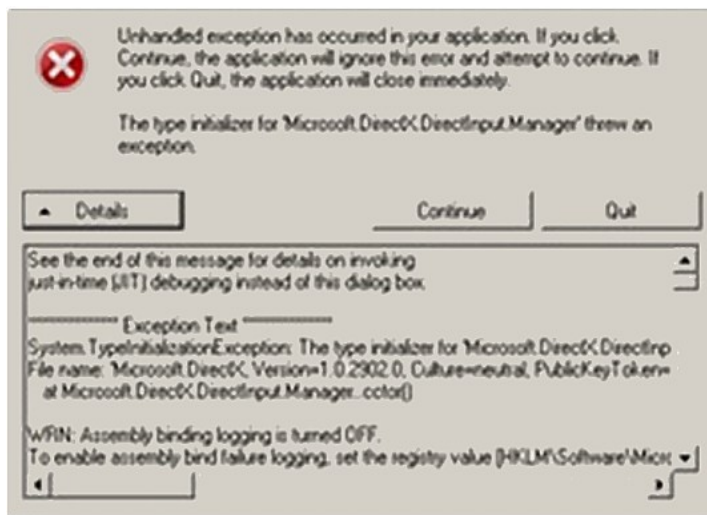
Iniziare

Premere START e ripremerlo immediatamente, per fermare. In questo modo si è eseguito un breve test. Se si sente qualcosa di strano (ad esempio il motore del mandrino che non si avvia), fermarsi e ricontrollare tutte le regolazioni.

Partire nuovamente con START e stare pronti a premerlo di nuovo, fino a che non si è sicuri, che la lavorazione procede regolarmente.

Cosa fare se Theremino CNC non si avvia

DotNet e DirectX potrebbero non essere installati (per risparmiare memoria sul disco). In questi casi Theremino CNC non si avvia e appare un messaggio di errore simile al seguente:



Anche se si verifica che sono già installati, si deve installarli nuovamente. A volte contengono errori, non sono completi o contengono alcune DLL con la versione sbagliata.

Non spediteci questi errori, si perde solo del tempo. L'unica cosa che interessa di questi messaggi è se si tratta di DotNet o di DirectX.

Se si tratta di DotNet installate questo:

http://www.theremino.com/files/dotnetfx35SP1_ENG.exe (copia locale) **(Nota 1)**

Se si tratta di DirectX, installate uno dei due seguenti (sono uguali - scegliete il più veloce):

http://www.theremino.com/files/directx_Jun2010_redist.exe (copia locale) **(Nota 1)** **(Nota 2)**

<https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=8109> (download da Microsoft) **(Nota 2)**

(Nota 1) Purtroppo Microsoft sposta frequentemente i file, e nasconde gli installatori "offline", per favorire quelli "online" (che a volte non contengono tutti i file). Quindi, per semplificare le ricerche, abbiamo fatto delle copie locali.

(Nota 2) L'installatore di DirectX non si avvia da solo. Si deve decomprimerlo dallo ZIP, in una cartella temporanea (scegliere una cartella vuota o crearne una nuova). Poi si deve lanciare DxSetup.exe, seguire le istruzioni e dare tutti gli OK necessari.

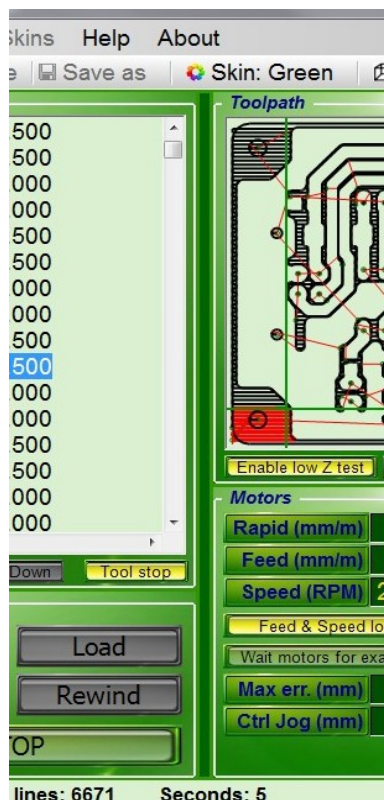
Installate tranquillamente questi componenti, sono firmati da Microsoft e non possono che fare del bene al sistema. Tutti gli installatori di Microsoft sono intelligenti, se qualcosa non quadra avvertono e non si installano.

Altre informazioni utili in questa pagina:

<http://www.theremino.com/downloads/notes-on-software>

Impostazioni di Visualizzazione

Ridimensionare le due metà della finestra principale



La riga che divide in verticale la applicazione, può essere spostata per lasciare più posto al GCode, o al Toolpath. Posizionare il cursore sulla riga, fino a che appare una doppia freccia. Premere il pulsante sinistro del mouse e mantenerlo premuto. Spostare la riga a destra o a sinistra e infine rilasciare il pulsante.

I controlli dell'hardware



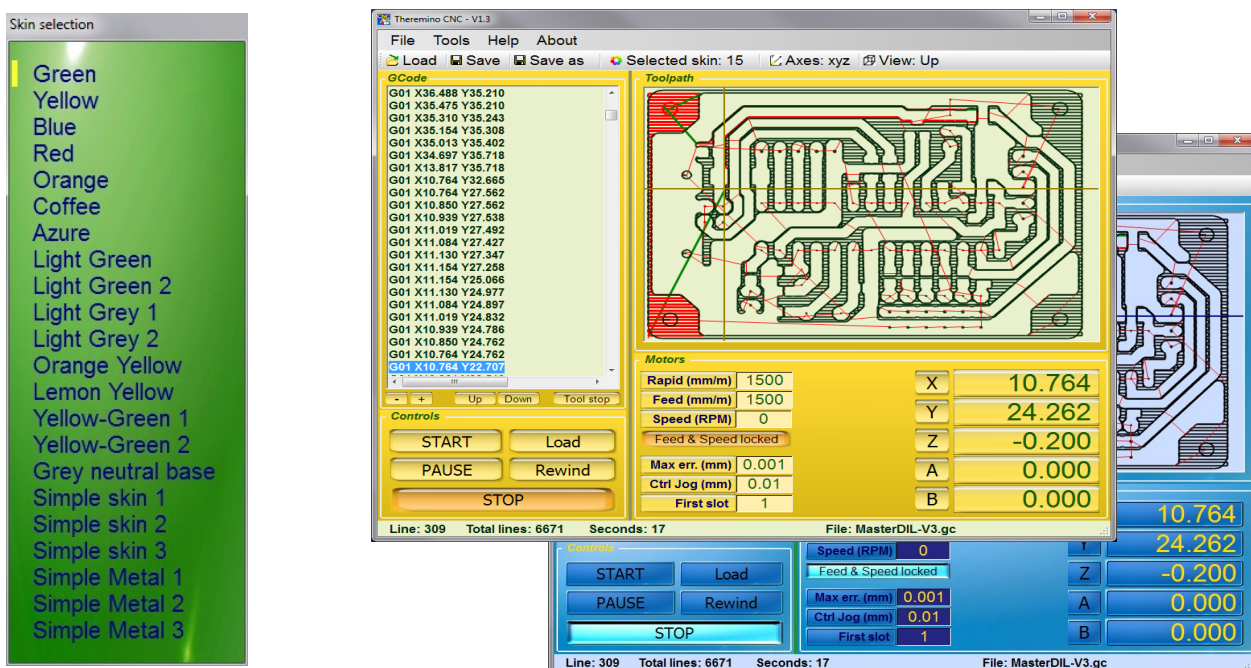
IN OUT enabled - Abilita e disabilita i segnali di IN-OUT e alza o abbassa il segnale di abilitazione generale della macchina. La macchina si accende solo se Theremino CNC è attivo e questo tasto è premuto. Con questo controllo si possono fare prove con il solo software (senza muovere i motori). Quando si riabilita questo tasto, le coordinate del software vengono automaticamente riallineate, a quelle della macchina.

HAL enabled - Da tenere sempre abilitato. Disabilitare solo nelle applicazioni di test.



ATTENZIONE: Fare movimenti senza "HAL enabled", disallinea Theremino CNC dalla macchina. Invece il tasto "IN OUT enabled" può essere usato per fare prove senza motori. Se si lavora correttamente gli azzeramenti e le calibrazioni rimangono validi nel tempo, anche chiudendo la applicazione, spegnendo i motori, e riavviando il PC.

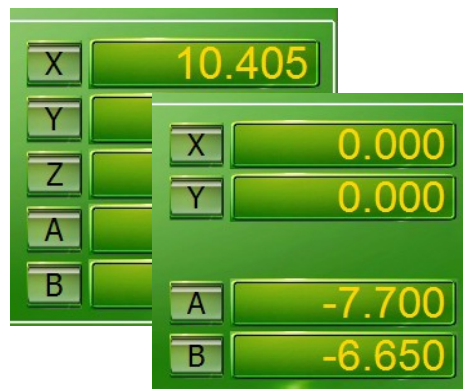
Scegliere i colori



La risposta ai colori e alla luminosità, cambia da una persona all'altra. Scegliendo i colori che appaiono più piacevoli, si migliora la visibilità e si diminuisce l'affaticamento della vista.

Anche la forma dei comandi, cambia da una "Skin" all'altra, ma la posizione dei comandi, rimane sempre la stessa.

La eventuale sparizione di alcuni controlli, non dipende dalla "Skin" scelta, ma da altre impostazioni. In questa immagine, ad esempio, si vede la sparizione dell'asse Z, che non è usato nel GCode attuale.



La regolazione di DPI dello schermo di Windows

Theremino CNC è ottimizzato per le dimensioni di caratteri: 100%, 125% e 150%

Con risoluzioni dello schermo troppo alte (in rapporto alle dimensioni del monitor), diventa difficile leggere il testo. Se non si vuole abbassare la risoluzione, si possono ingrandire i caratteri di Windows.

Per aprire il pannello di regolazione delle dimensioni del testo:

- Pulsante destro del Mouse sullo schermo
- Personalizza
- Schermo

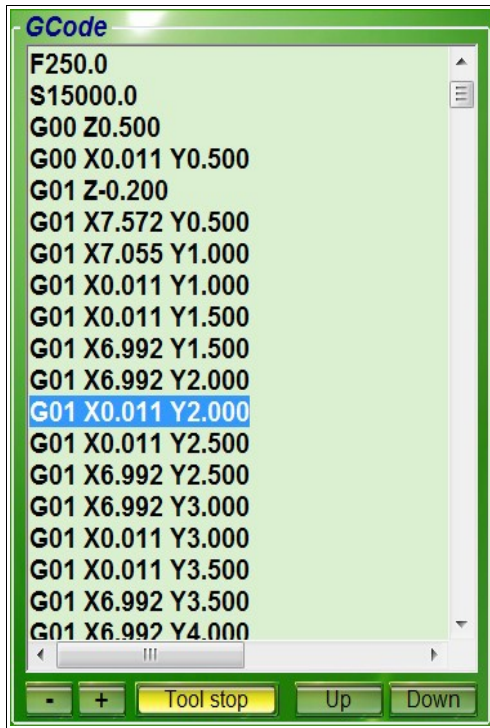
Migliora la leggibilità del testo sullo schermo

- ☐ Piccolo - 100% (impostazione predefinita)
- ☒ Medio - 125%
- ☐ Grande - 150%



GCode

Pannello GCode



Il **G-code** (noto anche come RS-274), con molte varianti, è il nome comune per il linguaggio di programmazione a controllo numerico più diffuso (NC). Viene utilizzato principalmente, nella produzione automatizzata e per il controllo di macchine utensili automatizzate. Il G-code è anche chiamato: **linguaggio di programmazione G**.

Il G-code è un linguaggio per macchine utensili computerizzate, in cui si descrive come fare qualcosa. Il come è definito da istruzioni su dove andare, quanto velocemente muoversi, e attraverso quale percorso muoversi.

La situazione più comune è che, all'interno di una macchina utensile, un utensile da taglio, si sposta secondo queste istruzioni, attraverso un "toolpath", togliendo via il materiale in eccesso, per lasciare solo il pezzo finito. Lo stesso concetto si estende anche a strumenti come il "forming", la fotoincisione e metodi additivi, come la stampa 3D.

- / +

Con questi comandi, si riduce e ingrandisce il testo.

Tool stop

Con questo comando, si abilita lo stop in corrispondenza del comando M06, per poter cambiare manualmente l'utensile.

Up / Down

Con questi comandi, si sposta il punto di esecuzione del GCode, in alto e in basso, fino al prossimo punto caratteristico (codici di pausa e di cambio utensile).

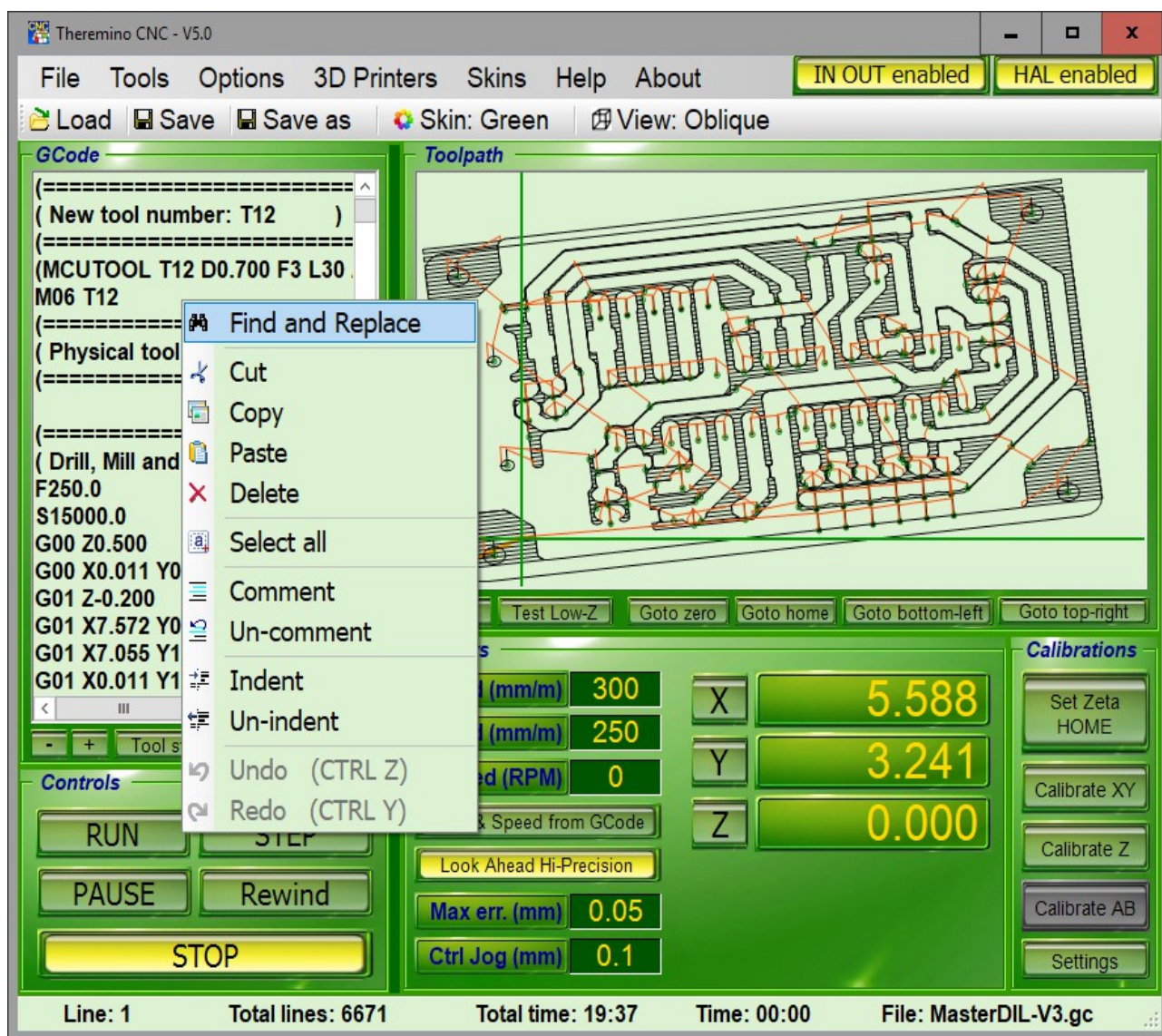
Modificare il Gcode

Il testo del GCode può essere modificato, e poi salvato, con i comandi "Save" e "Save as". Ogni modifica viene immediatamente visualizzata, nella immagine del Toolpath. E' anche possibile scorrere il testo, con le frecce della tastiera, e con PageUP e PageDown. Oppure si può usare la barra verticale di scorrimento e fare click su una linea. La parte già eseguita, viene evidenziata in colore contrastante, nel Toolpath.

CTRL-Z e CTRL-Y

Quando il riquadro del GCode è selezionato, si possono utilizzare questi comandi, per tornare indietro e avanzare, nelle modifiche fatte. Quando si torna all'inizio, la scritta "Modified" sparisce.

Il menu “contestuale” del Gcode



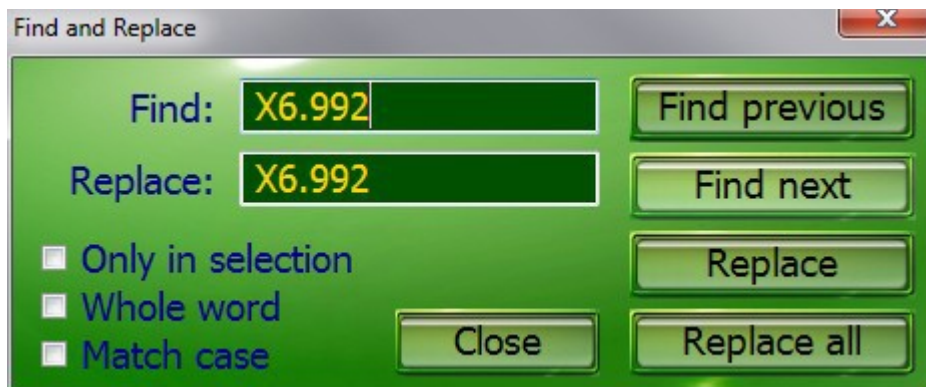
Per aprire questo menu, fare click sul GCode, con il pulsante destro del mouse.

Queste sono operazioni utili per “ritoccare” il GCode. Le vere modifiche andrebbero fatte nel CAD e nel CAM, per mantenere allineata, tutta la catena del progetto.

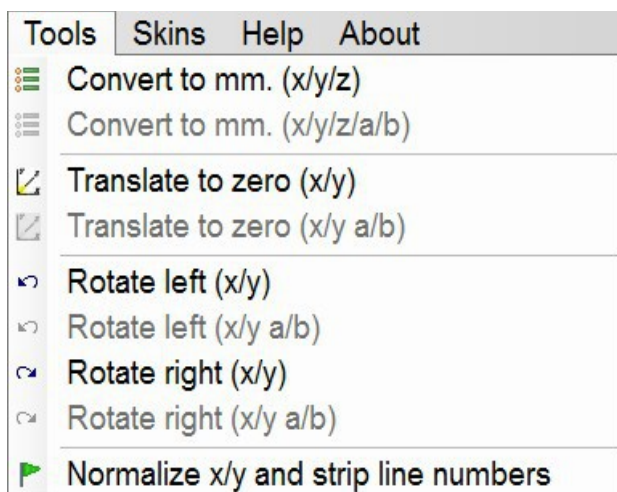
Tutte le operazioni di questo menu, agiscono esclusivamente, sulla parte di testo selezionata.

Modificare il GCode

Theremino CNC è una applicazione semplice, ma dispone di comandi avanzati (Find, Replace, Convert, Rotate, Translate, Normalize). Con altri CNC, che non fanno queste operazioni, si devono usare i “rotated work-piece coordinate system” o altri metodi, che comportano lo scambio degli assi, e le conseguenti confusioni poco intuitive (ad esempio lo [Zero X che agisce sull'asse Y](#)).



Questi comandi servono per trovare parti di testo, e eventualmente sostituirle. Per aprire questo pannello scegliere “Find and replace”, nel menu della pagina precedente.



Le operazioni di questo menu, vengono eseguite su tutto il GCode, e non solo sull'area di Gcode selezionata.

Sono operazioni utili per ritoccare i GCode, ma sarebbe meglio farle nel CAD e nel CAM, per mantenere allineata, tutta la catena del progetto.

Azzerare i GCode

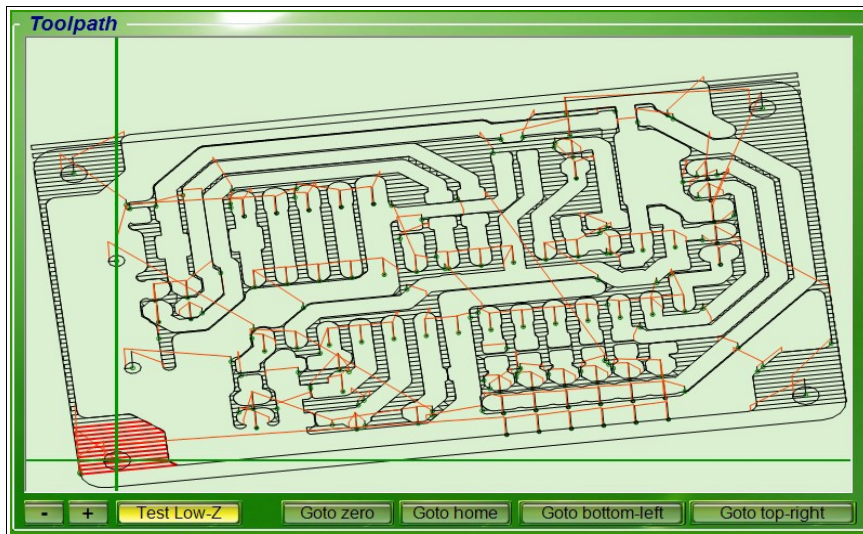
Tutti i GCode dovrebbero essere azzerati. Ci si deve poter fidare, che i GCode non vadano a lavorare “chissà dove”!

Ma alcuni GCode non si azzerano, nemmeno con il comando “Translate to zero”, perché sono scritti in modo doppiamente malefico, con uno spiazzamento che prevede di posizionare il pezzo, approssimativamente a metà macchina. Ma anche con alcune coordinate a zero, che portano la punta a sbattere, in basso a sinistra, contro gli switch di fondo corsa della macchina, e che abbassano l'utensile, fino a toccare il pezzo.

Per azzerare i GCode non azzerabili, si devono eliminare manualmente (e con molta attenzione) tutte le righe, che portano le coordinate a zero (in genere si trovano all'inizio e alla fine). Infine si usa “Translate to zero” e si verifica nel Toolpath, che l'azzeramento sia corretto. Se si sbaglia si usa “Undo” e si riprova.

Toolpath

Pannello Toolpath



Questo pannello visualizza il percorso dell'utensile (Toolpath), e la posizione dell'utensile durante la lavorazione. Non si tratta di un vero 3D (con DirectX o OpenGL) ma di una rappresentazione schematica (assonometrica). Piuttosto che “fare scena” con il 3D, abbiamo privilegiato la visibilità, la maneggiabilità e alcune **caratteristiche non comuni, come l'inseguimento automatico dell'utensile** (quando si ingrandisce l'immagine e il GCode fa uscire l'utensile dalla zona visibile).

Il Toolpath permette anche di verificare i Gcode senza muovere i motori. **ATTENZIONE:** *Per disabilitare i motori non si deve non spegnere l'HAL, ma usare il pulsante “IN OUT enabled”. Così quando si riattiva “IN OUT enabled” le coordinate del software vengono riallineate a quelle della macchina.*

- Facendo doppio click sul Toolpath, con il pulsante sinistro del Mouse, il Gcode viene posizionato sul segmento più vicino.
- Facendo click sul Toolpath, con il pulsante destro del Mouse, viene eseguito un JOG automatico, fino al punto indicato dal cursore.
- Con la rotella del mouse si ingrandisce l'immagine e poi, spostando il mouse, si sposta la zona visualizzata per esplorare i particolari e anche per seguire l'utensile durante la lavorazione.

- **+** - Con questi comandi, si riduce e ingrandisce il testo.

Test Low-Z - Con questa abilitazione, viene chiesta conferma per i movimenti con Z inferiore a 1 mm.

Goto zero - Tutti gli assi si muovono fino alle rispettive posizioni ZERO (prima gli assi X/Y, poi l'asse Z).

Goto home - L'asse Z va alla posizione HOME poi gli assi X e Y si muovono fino allo ZERO.

Goto bottom-left - Gli assi X e Y si muovono fino all'angolo in basso a sinistra del pezzo.

Goto top-right - Gli assi X e Y si muovono fino all'angolo in alto a destra del pezzo.

Nei comandi “Goto” i motori si muovono con velocità “Rapid”. Il movimento può venire interrotto con STOP e può venire modificato, anche prima della fine, con qualunque altro comando di movimento.

Comandi da tastiera (JOG manuale)

Frecce DESTRA e SINISTRA	= Jog asse X
Frecce SU e GIU	= Jog asse Y
PAGE-UP e PAGE DOWN	= Jog asse Z
Lettere Z e X	= Jog asse Z <-- Per le tastiere senza PageUp/Down
Lettere A e S	= Jog asse A
Lettere B e N	= Jog asse B
SHIFT + tasti precedenti	= Jog con velocità "Jog speed SHIFT"
CTRL + tasti precedenti	= Singoli passi, specificati nella casella "Ctrl Jog (mm)"
ALT + tasti precedenti	= Millesimi di millimetro, con auto-ripetizione
F5	= RUN
F8	= STEP

Le frecce e le lettere usate da sole muovono con velocità "Jog speed normal" (vedere [menu Opzioni](#))
Tenendo premuto SHIFT la velocità viene determinata da "Jog speed SHIFT" (vedere [menu Opzioni](#))
I movimenti Jog e SHIFT + Jog agiscono anche su più assi, quelli con CTRL e ALT, su un solo asse per volta.

Se è attivo il riquadro del GCode, allora la tastiera agisce sul GCode.
Per abilitare il Jog al posto del GCode, si fa click con il Mouse, sul riquadro del Toolpath.



Premessa essenziale per il "JOG" è che "Rapid" non sia maggiore del motore più lento (regolazioni di "Max speed" dei motori nell'HAL) e che le impostazioni dei motori (nell'HAL), siano corrette.

Comandi con il mouse

Click sul GCode

Seleziona la linea da eseguire e viene evidenziata la parte già eseguita nella finestra grafica.

Doppio click sul Toolpath col pulsante sinistro

Il Gcode viene posizionato sul segmento più vicino.

Click sul Toolpath col pulsante destro

Viene eseguito un Jog automatico, fino al punto indicato dal cursore.

Gli assi che si muovono dipendono dal tipo di vista (prospettiva) attualmente selezionato e sono sempre due soli (XY, XZ, YZ, AB, AZ, BZ).

Fare attenzione che la parallasse a volte può ingannare (Z può essere più alto o basso di quel che sembra).

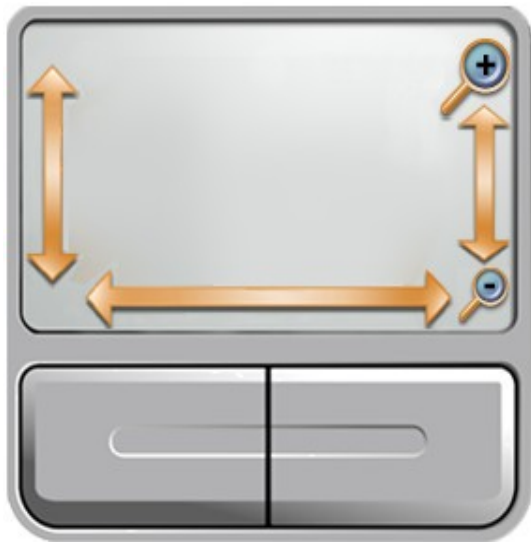
Rotella del mouse

Ingrandimento della grafica e, spostando il mouse, spostamento della zona visualizzata.



Premessa essenziale per i movimenti, è che "Rapid" non sia maggiore del motore più lento (regolazioni di "Max speed" dei motori nell'HAL) e che le impostazioni dei motori (nell'HAL), siano corrette.

Comandi con il touchpad



La parte destra del tappetino, che simula la rotella del mouse, può agire sullo zoom del Toolpath.

Su alcuni notebook, specialmente con XP, questa simulazione non funziona bene (agisce solo sul testo del GCode e non sulla finestra grafica)

In questi casi andare in:

Pannello di controllo

Mouse

Hardware

Proprietà

Driver

Aggiorna driver

E infine usare la ricerca e installazione automatica del driver: "Consentire la connessione a Windows per la ricerca di software"

Se non si riesce ad abilitare lo zoom sul tappetino, si possono utilizzare i pulsanti “-” e “+” situati sotto alle finestre del Toolpath.

Regolare la velocità dello zoom con il touchpad

Aprire:

Pannello di controllo

Mouse

Impostazioni del dispositivo

Impostazioni

Scorrimento virtuale

Scorrimento percorsi lunghi

Velocità di scorrimento

E infine regolare il cursore. Si consiglia di regolarlo circa a metà corsa.

Comandi con il GamePad



Un GamePad può essere utile su macchine molto grandi, quando la distanza tra tastiera e utensile, rende difficile controllare la posizione della punta.

Esistono anche GamePad senza fili, che possono essere portati comodamente con se, appesi alla cintura, mentre si movimentano e si fissano i pezzi da lavorare.

Il GamePad viene riconosciuto solo all'avvio della applicazione. Se lo si collega in un secondo momento, si dovrà chiuderla e riavviarla.

- Lo "Stick" di sinistra muove gli assi X e Y.
- Lo "Stick" di destra muove l'asse Z (o gli assi A e B, se sono presenti nel GCode).
- Gli Stick seguono una **legge esponenziale**, per un **migliore controllo delle basse velocità**.

Abilitazione dei movimenti

Per sicurezza i movimenti devono essere "armati", premendo i pulsanti posteriori.

Con i pulsanti di sinistra, la velocità massima è "MaxSpeed". Con i pulsanti di destra, è un decimo di millimetro al secondo (movimenti di precisione).

I pulsanti bassi abilitano gli assi orizzontali (X, E, A, U), quelli alti abilitano gli assi verticali (Y, Z, B, V). Per muovere contemporaneamente gli assi orizzontali e verticali, si devono premere insieme due pulsanti. **Premendo contemporaneamente tutti e quattro i pulsanti posteriori si effettua un "Goto home"**.



Comandi di controllo del funzionamento



- Il pulsante "1" accende e spegne la macchina, tramite "IN OUT enabled".
- Il pulsante "2" attiva "START" o lo mette in "PAUSA".
- Il pulsante "3" esegue uno "STOP".
- Il pulsante "4" esegue un "REWIND".
- I pulsanti SU e GIU di sinistra (Point of View) ingrandiscono il Toolpath.

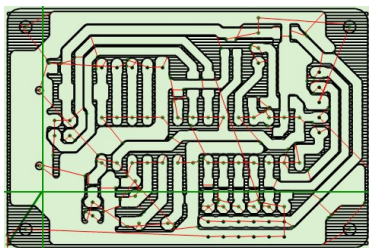


- Il pulsante centrale sinistro, "SELECT" o "NERO", seleziona la "Zona morta" degli "Stick". Il nuovo valore (da 0% a 20%), viene indicato nel Toolpath. Non tutti i Gamepad rispettano questa regolazione.
- Il pulsante centrale destro, "START" o "GRIGIO", ribalta gli assi del secondo "Stick". Il nuovo valore (da Tipo1 a Tipo3), viene indicato nel Toolpath.

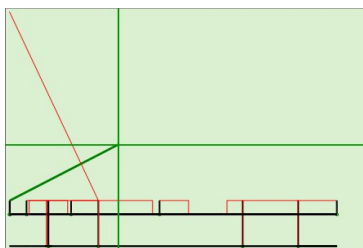
Quale Gamepad scegliere?

Se possibile un modello Wireless, con **quattro pulsanti posteriori** e con **zona morta piccola e precisa**. Fare attenzione che sia **compatibile PC**, quindi con USB, oppure Wireless con adattatore USB. Nelle ricerche eBay è meglio cercare "Joystick" (si trovano più modelli). In questa pagina abbiamo listato alcuni modelli e preparato una applicazione per provarli: <http://www.theremino.com/downloads/uncategorized#gamepadtester>

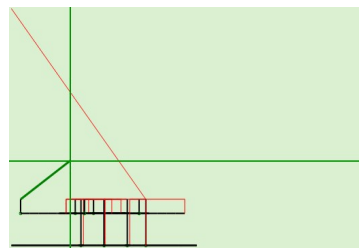
Visualizzazioni del Toolpath



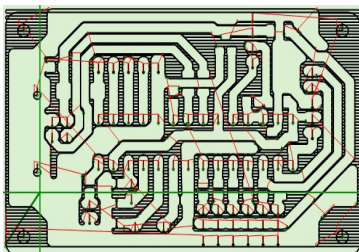
Up - Vista dall'alto



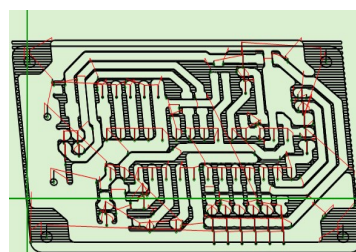
Front - Vista da davanti



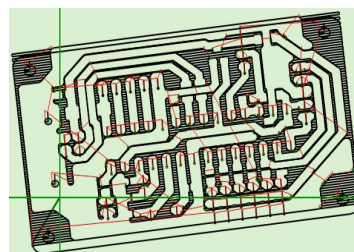
Side - Vista laterale



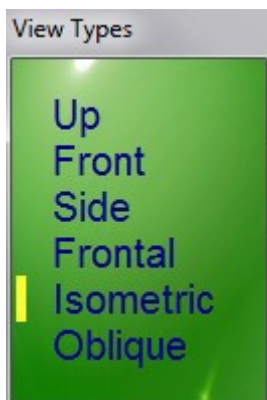
Frontal - Dall'alto e in avanti



Isometric - 3D isometrico



Oblique - 3D obliquo



Con questo menu, si sceglie il tipo di visualizzazione.

Se il GCode comprende anche gli assi A e B allora appaiono altre tre visualizzazioni qui non mostrate:

- AB_Up
- AB_Isometric
- AB_Oblique

Perché il toolpath non è un vero 3D?

Risposta breve: Perché il 3D va fatto nel CAD, non nel CAM, e tanto meno nel CNC.

Risposta lunga: Ancor prima di pubblicare la prima versione, molti ci hanno fatto questa domanda. Per cui abbiamo valutato attentamente i pro e i contro. Sicuramente un aspetto positivo sarebbe l'impatto scenografico. Ma non siamo qui per fare scena e non ci interessa vendere. Piuttosto **ci teniamo a vedere bene il percorso durante la lavorazione**, e che il software sia valido **anche a scopo didattico**. Quindi facile da usare e da capire e **con tutte le funzioni trigonometriche scritte in chiaro, senza chiamare DirectX o OpenGL**.

Queste non sono giustificazioni. Quando il 3D serve, lo sappiamo usare, ecco alcune nostre realizzazioni:

<http://www.theremino.com/downloads/uncategorized#3D>

http://www.fastvr.com/web/it/about_Gallery.htm

http://www.fastvr.com/web/it/downloads_Demos.htm

www.spray3d.it/new

Azzeramento iniziale

Premendo i pulsanti X, Y, Z, A e B, il valore numerico, del rispettivo asse, viene azzerato. Azzerando i valori numerici, i motori non si muovono.

Prima di azzerare gli assi, si sposta manualmente la punta dell'utensile, con le frecce della tastiera e con i tasti PageUp e PageDown, nella posizione che dovrà essere il nuovo zero.

Leggere, nelle pagina precedenti, come si effettuano i movimenti con la tastiera (JOG manuale).



Premessa essenziale per il "JOG" è che "Rapid" non sia maggiore del motore più lento (regolazioni di "Max speed" dei motori nell'HAL) e che le impostazioni dei motori (nell'HAL), siano corrette.

Azzerare gli assi prima di premere START

- 1) Si muove manualmente la posizione dell'utensile, fino allo zero del pezzo da lavorare.
- 2) Si azzerano gli assi (solitamente X, Y e Z), premendo i pulsanti, a sinistra delle caselle numeriche.
- 3) Si solleva l'asse Z con PageUp, di qualche decina di millimetri (non proprio necessario ma è meglio farlo)
- 4) Si controlla che "Feed & speed" e "Look Ahead", siano impostati adeguatamente.
- 5) Si preme il pulsante START (stando pronti a premerlo nuovamente, se si è sbagliato qualcosa)

Azzerare l'asse Z

L'asse Z solitamente richiede particolare precisione. Si consiglia di usare uno spessimetro in alluminio o in plastica da 2 decimi:

- 1) Si abbassa lo Z, con la mano destra, lentamente, con il PageDown
- 2) Quando la punta è molto vicina, si effettua l'ultimo tratto con CTRL-PageDown.
- 3) Lo spessimetro è tenuto con la mano sinistra, un po' inclinato.
- 4) Si sente quando la punta tocca lo spessimetro e poi lo blocca.
- 5) Si alza lo Z, un decimo per volta, con CTRL-PageUp, fino a che si sblocca.
- 6) Si toglie lo spessimetro, si abbassa lo Z di due decimi, con due colpi sul CTRL-PageDown.
- 7) Si azzerà l'asse Z.

Quando ci si abitua a farle, queste operazioni sono veloci e precise. In alternativa si potrebbe usare l'azzeramento automatico "Calibrate Z with probe", che si trova sul pannello "Calibrations".

Conservazione degli azzeramenti

Una caratteristica unica e utilissima di Theremino CNC è di restare allineato, anche dopo aver spento la macchina, il software e il PC. Se la posizione del pezzo rimane la stessa, non è necessario ripetere gli azzeramenti ad ogni avvio.

Quindi un abile macchinista può, ad esempio, interrompere la lavorazione a metà, e continuare il giorno dopo.

Controlli e Calibrazioni

Pannello Controls



RUN (oppure il tasto F5)

Avvio della lavorazione.

Premendolo nuovamente si passa in condizione di pausa.

Un doppio click sullo start, esegue la minima parte di GCode possibile.

Questo è molto utile per fare brevi test, di "assaggio", prima di avviare definitivamente la lavorazione.

STEP (oppure il tasto F8)

Questo comando esegue il GCode una riga alla volta.

PAUSE

Sospensione della lavorazione.

Il motore del mandrino continua a girare e il segnale del refrigerante rimane attivo.

Ma il segnale ON-OFF, che potrebbe pilotare un laser, viene disabilitato.

In questo stato è possibile muovere manualmente con la tastiera e il Joystick.

Rewind

Questo comando riporta il punto di esecuzione, sulla prima linea del GCode.

Il punto di esecuzione è la linea da cui inizierà la lavorazione, al prossimo avvio (con START) e si può spostarlo, anche manualmente, sia all'inizio, che su ogni altra linea del Gcode.

STOP

Con questo comando si ferma la lavorazione.

Pannello Motors (parte sinistra)



Rapid (mm/m)

Questo valore viene sempre specificato manualmente. Non esistono codici del GCode che lo modificano.

Il valore "Rapid" è usato durante gli spostamenti "rapidi" (specificati con G00). E viene anche usato per gli spostamenti manuali.

ATTENZIONE: Il "Rapid" non deve essere maggiore della massima velocità del motore più lento. Se si superano le velocità specificate nel Theremino HAL, il firmware protegge comunque i motori, dal perdere passi. Però i motori resteranno in ritardo, e gli spostamenti manuali, diventeranno difficoltosi.

Feed (mm/m)

Questo valore specifica la velocità durante gli spostamenti di "lavoro" (Feed). Può seguire i comandi del GCode o essere regolato manualmente, a seconda che "Feed locked" sia abilitato, o disabilitato.

Leggere anche le appendici sulla [velocità di lavorazione](#) e sulle [traiettorie](#).

Speed (RPM)

Questo valore specifica la velocità di rotazione del mandrino. Può seguire i comandi del GCode o essere regolato manualmente, a seconda che "Speed locked" sia abilitato, o disabilitato. Si possono anche specificare velocità negative per far girare il mandrino in senso antiorario (se l'hardware lo permette).

Feed & Speed locked

"Locked" significa che i valori di Feed e Speed si regolano manualmente e non vengono modificati dal Gcode. Il comando ha quattro posizioni, per specificare i singoli casi.

Look Ahead

- **Look Ahead Disabled** serve per andare molto velocemente, tagliando le curve e anche saltando interi segmenti, per rispettare il MaxError stabilito dall'utente.
- **Look Ahead Enabled** è il normale modo di funzionamento, veloce e preciso.
- **Look Ahead Hi-Precision** passa esattamente sulle coordinate per tutte le curve da 90 gradi e oltre.
- **Stop every segment** è simile allo "Exact stop" di Mach3 e rallenta molto la lavorazione.

Leggere anche le appendici sulla [velocità di lavorazione](#) e sulle [traiettorie](#).

Max err. (mm)

Questo valore specifica il massimo errore, abbassandolo il tempo di lavorazione aumenta.

Leggere anche le appendici sulla [velocità di lavorazione](#) e sulle [traiettorie](#).

Ctrl Jog (mm)

Con questo valore si regola il passo (in mm), degli spostamenti manuali micrometrici. Gli spostamenti micrometrici si ottengono, tenendo premuto CTRL e premendo le frecce Sinistra, Destra, Su, Giù, i tasti PageUp, PageDown e i tasti A, S, B, N.

Pannello Motors (parte destra)



Solo gli assi usati nel GCode abilitano i comandi corrispondenti. Per abilitarli tutti, ad esempio per provare i motori, si scrive una riga senza coordinate "XYZAB" tra le prime righe del GCode. In alcuni GCode gli assi A e B possono chiamarsi U e V. Nei GCode per le stampanti 3D l'asse U viene chiamato E.

X, Y, Z, A, B

Con questi pulsanti si effettua l'azzeramento degli assi. Cioè si imposta il valore 0.000, senza muovere il motore. Gli assi A e B possono anche avere nomi diversi a seconda di come sono chiamati nel GCode.

Caselle numeriche

Le caselle numeriche degli assi mostrano la posizione della punta dell'utensile.

Le caselle mostrano tre cifre decimali dopo la virgola. Questo serve per facilitare la lettura, ma i calcoli vengono fatti in "Floating point double precision" (con vettori a 5 dimensioni). E anche le coordinate dei GCode, vengono lette con tutte le cifre decimali disponibili (fino a 16 cifre dopo la virgola). **(Nota 1)**

I valori sono sempre in millimetri e riferiti allo "Zero relativo", anche detto "Zero pezzo" (la posizione dove sono state azzerate le coordinate, con i pulsanti X, Y, Z, A, B o con gli azzeramenti automatici)

Cliccando il pulsante sinistro del mouse, sulle caselle numeriche, si può modificare il valore degli assi, senza muovere i motori.

Cliccando il pulsante destro del mouse, sulle caselle numeriche, si possono effettuare piccole correzioni, anche durante la lavorazione.

La pagina seguente mostra i pannelli, di impostazione dei valori, e di correzione.

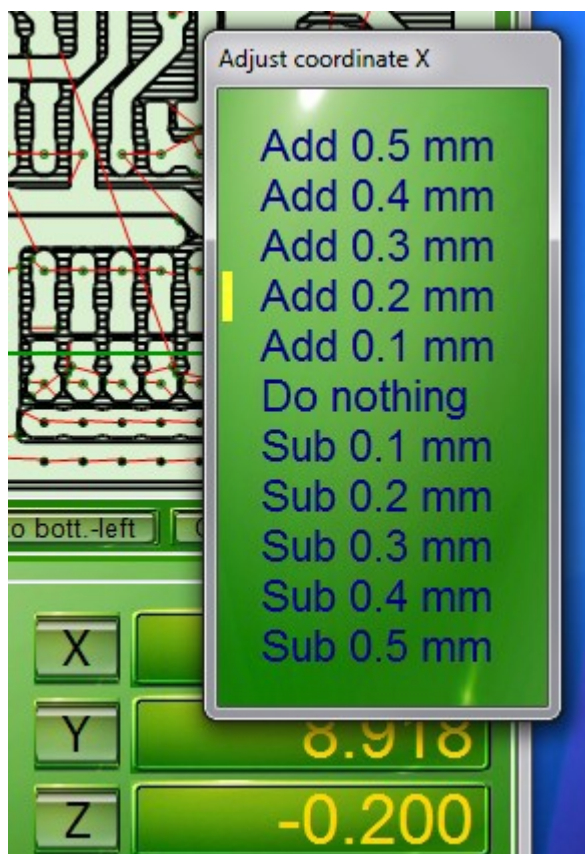
(Nota 1) Lavorare con numeri floating point, (invece che con numeri a virgola fissa), viene considerato, da alcuni programmatori, come un lavorare incerto, non deterministico e quindi impreciso. In realtà è vero il contrario. Con i numeri float la precisione è altissima (intorno ai milionesimi di micron). Invece i CNC, che lavorano con numeri a virgola fissa, prendono enormi cantonate, quando lavorano su particolari molto piccoli. Come esempio, vedere l'ultima immagine di questo articolo: [building-a-low-cost-micro-milling-machine](#)

Inserire una coordinata manualmente



- Fermare la lavorazione con PAUSE o STOP
- Premere il pulsante sinistro del mouse sulla coordinata da modificare
- Scrivere una coordinata con la tastiera
- Premere INVIO (ENTER) sulla tastiera

Fare piccole correzioni durante la lavorazione



- Fermare la lavorazione con PAUSE o STOP
- Premere il pulsante destro del mouse sulla coordinata da modificare
- Scegliere un valore di correzione
- Premere il pulsante sinistro del mouse
- Far ripartire la lavorazione con START

Gli assi A e B

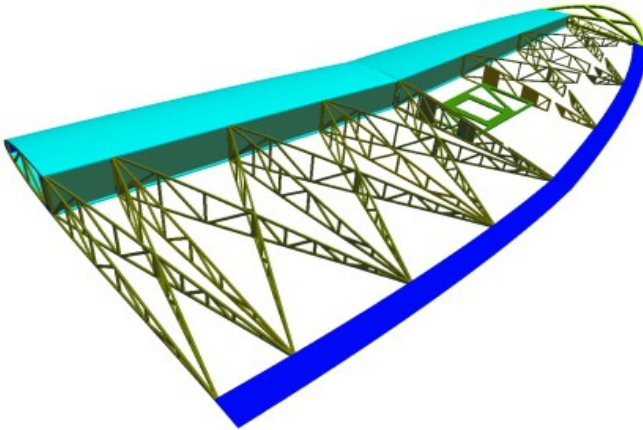


Immagine gentilmente concessa da DevWing
www.profil2.com - www.devcad.com

Alcuni adottano la convenzione che gli assi A e B sono assi rotanti, altri usano U e V al posto di A e B, ma anche K e R (che si confondono con altri parametri dei GCode)

Per semplicità, in Theremino CNC gli assi hanno sempre gli stessi nomi X, Y, Z, A e B e sono tutti uguali tra loro. Nel caso che il GCode contenga U e V, i pulsanti A e B cambiano nome in U e V.

In Theremino CNC, gli assi A e B, non sono necessariamente assi di rotazione. Esistono macchine per il taglio delle ali degli aerei, che hanno due assi da un lato e due dall'altro. Queste macchine potrebbero usare gli assi, come nella seguente tabella:

X = orizzontale lato sinistro
Y = verticale lato sinistro
A = orizzontale lato destro (oppure U)
B = verticale lato destro (oppure V)

Altre macchine, hanno solo due assi e spruzzano cemento, o tagliano con un laser. Altre macchine hanno cinque assi, e alcuni ruotano.

Per cui, per Theremino CNC, tutti gli assi sono uguali, e sono dei puri valori numerici. Theremino CNC interpola tutti gli assi, in uno spazio a cinque dimensioni. Non importa se si tratta di valori angolari o lineari, tutti andranno alla giusta velocità, e arriveranno alla destinazione, nello stesso istante.

Naturalmente per gli assi rotanti, i valori delle coordinate, non saranno millimetri ma gradi, e le velocità non saranno millimetri al minuto, ma gradi al minuto.

Questo comportamento non impedisce di usare assi rotanti "indicizzati". Basta scrivere il GCode in modo appropriato, muovere solo l'asse indicizzato, poi fermarlo e muovere solo gli altri assi.

Pannello Calibrations



Set Zeta HOME

Questo comando imposta la posizione di HOME dell'asse Zeta, alla posizione attuale. L'asse Z è l'unico ad avere, oltre alla posizione di zero, anche la posizione HOME. Generalmente si imposta la posizione di HOME in alto, e si usa il pulsante "Goto home", a fine lavorazione, o per cambiare l'utensile.

Calibrate XY

Con questo comando gli assi vengono mossi, uno per volta, fino agli switch di fine corsa. Se in questo spazio la punta non incontra il sensore di azzeramento, allora il ciclo di azzeramento si interrompe. Questo serve per evitare che, in caso di errore, la punta continui a scendere, senza più fermarsi. Se si vuole scendere ancora, basta premere nuovamente il pulsante. Dopo aver attivato il contatto, l'asse si ritrae fino a disattivarlo e infine si ritrae di un ulteriore millimetro, per sicurezza.

- Per interrompere l'operazione, basta premere nuovamente lo stesso pulsante, oppure STOP, o il pulsante esterno di emergenza, o la barra SPAZIO sulla tastiera.

- Con CTRL si può simulare la chiusura dello switch.

La direzione di movimento è sempre verso valori negativi, quindi a sinistra e in basso. Gli switch di fine corsa devono essere collegati e funzionanti, altrimenti i carrelli batteranno sul fondo corsa meccanici e continueranno a spingere, fino a che la distanza specificata con "Max travel" non si esaurisce **(Nota 1)**.

(Nota 1) Alcuni autori hanno scritto che, fermando meccanicamente i motori stepper, questi assorbono più corrente e si danneggiano, o che possono danneggiare il controller. Questo non è assolutamente vero! La corrente non aumenta, anzi diminuisce un po', perché il motore stando fermo, non genera sovratensioni. Quindi sia i motori che il controller scaldano un po' meno, e possono continuare a spingere, per tempo indefinito, contro i fondo corsa meccanici. Questo naturalmente vale solo per macchine con meccanica sufficientemente robusta da non piegarsi.

Calibrate Z

Premendo questo pulsante, l'asse verticale scende (o sale, se nel pannello opzioni si è selezionato "Positive Direction") di una certa quantità. Se in questo spazio la punta non incontra il sensore di azzeramento, allora il ciclo di azzeramento si interrompe. Se si vuole scendere ancora, basta premere nuovamente il pulsante. Dopo aver attivato il contatto, l'asse si ritrae fino a disattivarlo e infine si ritrae di un ulteriore millimetro, per sicurezza.

- Per interrompere l'operazione, basta premere nuovamente questo stesso pulsante, oppure STOP.

- Con CTRL si può simulare la chiusura dello switch.

Il piastrino deve essere collegato e funzionante (leggere le appendici relative agli input), altrimenti la punta dell'utensile andrà a battere meccanicamente, sul pezzo o sulla tavola.

Calibrate AB

Praticamente identico al "Calibrate XY", ma per gli assi AB.

Settings

Con questo pulsante si apre la finestra di regolazione dei parametri di calibrazione.

I parametri di calibrazione sono spiegati nella prossima pagina.

Regolazione dei parametri di calibrazione



- Il primo pannello regola i valori per la calibrazione degli assi XY e AB
- Il secondo pannello regola i valori per la calibrazione dell'asse Z

Search speed

Velocità di movimento durante la prima fase della calibrazione. Durante la prima fase gli assi si muovono, uno per volta, in direzione negativa (coordinate che diminuiscono) fino a incontrare l'interruttore, o il piastrino di azzeramento. Se si imposta il valore "0" allora l'intero comando viene disabilitato.

Return speed

Velocità di movimento durante la seconda fase della calibrazione. Durante questa fase si effettua un lento ritorno per individuare con precisione il punto di distacco dall'interruttore o dal piastrino di azzeramento. Se si imposta il valore "0" allora l'intero comando viene disabilitato.

Max travel

Massima distanza che viene percorsa durante la ricerca. Questo serve per evitare che, in caso di errore, la punta continui a scendere, senza più fermarsi. Se la distanza non è stata sufficiente, il comando si interrompe e viene emesso un suono e un messaggio di errore, basta premere nuovamente il pulsante di calibrazione. Se si imposta il valore "0" allora l'intero comando viene disabilitato.

Compensation

Alla fine della calibrazione gli assi vengono azzerati tenendo conto di questa compensazione.

- Per gli assi XYAB normalmente si imposta il raggio dell'utensile in millimetri.
- Per l'asse zeta si imposta lo spessore della piastrina di azzeramento.

Negative direction

Premendo questo tasto il suo testo cambia in "Positive direction" e l'asse Z si azzerava verso l'alto.

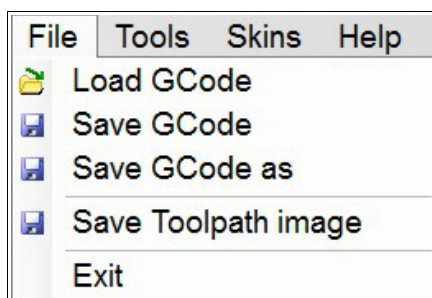
Microswitch e/o piastrini di azzeramento

La condizione di contatto viene segnalata, indifferentemente da uno o l'altro, dei due metodi seguenti:

- Una catena di microswitch, o contatti magnetici, collegati in serie e "normalmente chiusi". Sono gli stessi switch che si usano per i fondo corsa di emergenza. Se si dispongono bene gli switch si può anche superarli di molti millimetri e quindi si può impostare una "Search speed" piuttosto alta.
- Uno o più piastrini di azzeramento, collegati in parallelo, che vengono messi a massa dal contatto con l'utensile. In questo caso la "Search speed" deve sempre essere molto bassa.

Leggere anche la sezione sui collegamenti di Input, nelle pagine di appendice.

Il menu della applicazione



Menu "File"

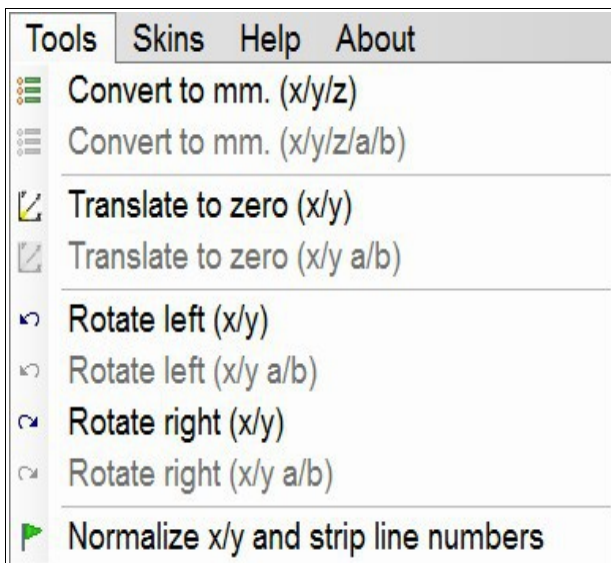
Load Gcode - Carica un file di lavorazione.

Save Gcode - Salva il file eventualmente modificato.

Save Gcode as - Salva il file con un nuovo nome.

Save Toolpath image - Salva l'immagine del percorso utensile.

Exit - Chiude la applicazione. Si può anche usare la croce bianca su fondo rosso, nell'angolo in alto a destra della finestra.



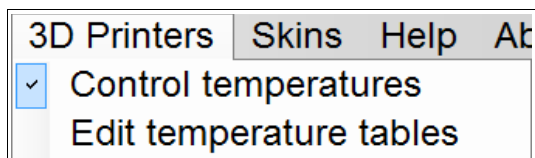
Menu "Tools"

Convert to mm. - Converte tutto il GCode da pollici a millimetri. La versione x/y/z/a/b, converte anche gli assi A e B.

Translate to zero - Sposta tutte le coordinate, in modo da portare la coordinata minima a zero. La versione a/b, sposta anche le coordinate A e B.

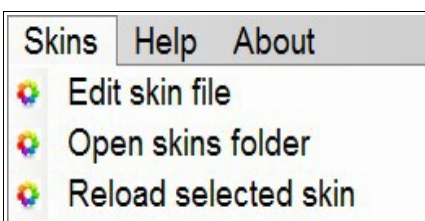
Rotate Left e Rotate Right - Ruotano tutte le coordinate di 90 gradi, a sinistra o a destra. Le versioni a/b, ruotano anche le coordinate A e B.

Normalize - Corregge il GCode per renderlo più leggibile, e più facile da modificare.



Menu "3D Printers"

Questo menu è spiegato nelle ultime pagine di questo documento ([appendice sulle stampanti 3D](#))

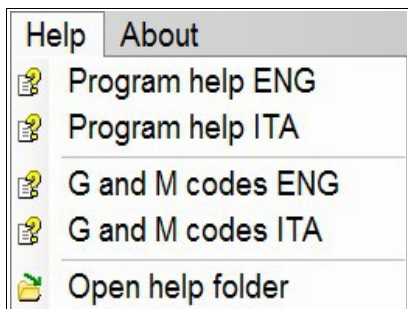


Menu "Skins"

Edit skin file - Apre il file dei colori, con Notepad, per modificarlo.

Open skins folder - Apre la cartella delle immagini dei tasti.

Reload selected skin - Ricarica il file, se modificato dall'esterno.



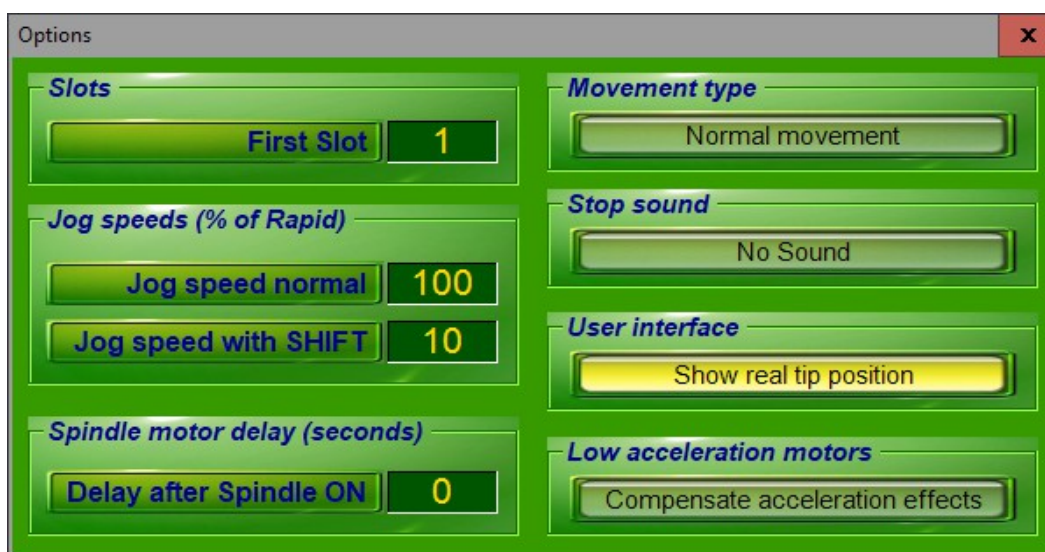
Menu "Help"

Program help - Questo stesso file, in italiano e inglese.

G and M codes - Questi file mostrano, in giallo, i codici implementati e spiegano il significato di tutti i codici.

Open help folder - Nella cartella Help, si trovano altre informazioni utili, tra cui alcuni link, a siti sui Gcodes e le macchine CNC.

Il menu “Opzioni” (parte sinistra)



First Slot

Con questo valore si determina il primo Slot da usare per gli ingressi e le uscite. Vedere la [Appendice 9 - Slots di ingresso e uscita](#).

Jog speed normal

Questo valore determina la velocità dei movimenti di “Jog”, vedere i [comandi da tastiera](#). Il campo di regolazione va dall'uno per cento al cento per cento della velocità “Rapid”.

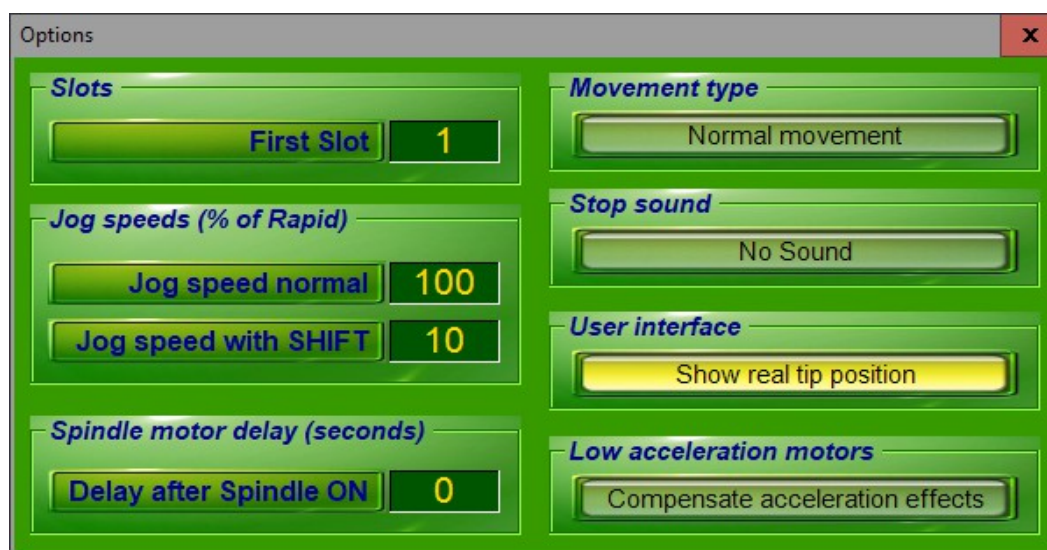
Jog speed with SHIFT

Questo valore determina la velocità dei movimenti di “Jog + SHIFT”, vedere i [comandi da tastiera](#). Il campo di regolazione va dall'uno per cento al cento per cento della velocità “Rapid”.

Delay after spindle ON

Questo valore è un tempo di pausa in secondi e frazioni di secondo. La pausa viene applicata ad ogni accensione del motore del mandrino ([Slot 11](#)) e serve per dare tempo ai motori lenti di arrivare alla velocità di lavoro. Notare che tutte le volte che si passa da lavorazione a rapido (G00) il motore del mandrino si ferma e quindi riprendendo la lavorazione avviene una nuova pausa. Se si desidera un comportamento diverso si imposta questo valore a zero e si specificano pause (G04) nei punti desiderati del GCode.

Il menu “Opzioni” (parte destra)



Movement type

- **Normal movement** – Questo modo di funzionamento è adatto a macchine “cartesiane” classiche, cioè con gli assi ortogonali tra loro, e un motore per ogni asse.
- **CoreXY with motors A-B** – Questo modo di funzionamento è adatto solo a macchine con cinghie collegate nel modo “CoreXY” e due motori chiamati A-B. Maggiori informazioni su queste macchine si possono trovare su molti siti web, ad esempio in [questa pagina](#).

Stop sound

Con questo pulsante si possono scegliere i suoni da utilizzare come segnale di fine lavorazione (quando il Gcode è finito e la applicazione va in stato di STOP).

Show real tip position

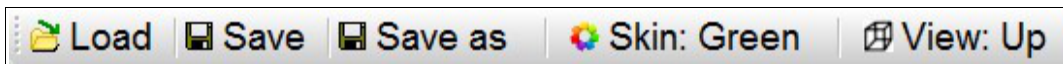
Abilitando questa opzione il cursore a croce del toolpath e le caselle numeriche degli assi mostrano la posizione reale dei motori. E' quindi possibile verificare visivamente gli errori di percorso. Per vedere la posizione reale dei motori si deve tenere l'HAL attivo e collegato al Master. Se non si vogliono muovere i motori si può togliere la alimentazione ai driver.

In condizioni normali la posizione richiesta dal software e quella reale sono simili per cui l'effetto di questo comando è poco visibile. Ma in alcuni casi i motori “restano indietro” e si possono vedere notevoli differenze tra il percorso specificato dal GCode e quello reale. Per evitare questi errori di percorso si deve aumentare la accelerazione o ridurre la velocità massima nella applicazione HAL (Max Speed non maggiore di cinque o al massimo dieci volte Max Acc). Ed è anche importante ridurre la lunghezza massima dei segmenti nel post-processor del CAM.

Compensate acceleration effects

Con questa opzione si abilita la compensazione degli errori di percorso causati dai motori con bassa accelerazione. Vedere la [Appendice 26 - Compensazione delle basse accelerazioni](#).

La barra degli attrezzi



Load

Con questo comando si effettua il caricamento di un file.

Save

Con questo comando si effettua il salvataggio del file.

Save as

Con questo comando si effettua il salvataggio del file, con diverso nome.

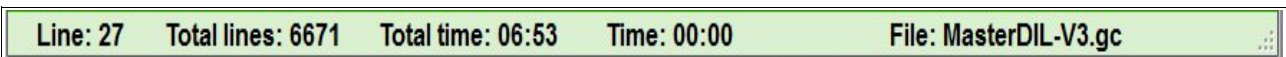
Skin

Dato che è difficile accontentare tutti, abbiamo aggiunto la possibilità, di cambiare sia i colori, che la forma dei controlli. Theremino CNC ha già una ventina di Skin pronte. Per cambiare Skin (anche durante la lavorazione), basta premere il pulsante "Skin". Chi non fosse ancora contento, con questo menu può modificare il file dei colori. Se non bastasse, anche le immagini della cartella Skins sono modificabili. E infine, si possono anche aggiungere nuove immagini, e nuove Skin.

View

Con questo comando si seleziona la modalità di visualizzazione del toolpath.

La barra di stato



Line

Linea del Gcode selezionata o in esecuzione.

Total lines

Numero totale di linee del Gcode.

Total time

Tempo stimato per la lavorazione. Utilissimo per fare prove, con diverse impostazioni dei parametri. Questo valore non tiene conto della posizione iniziale della punta e dei tempi di accelerazione e di frenata dei motori. Solitamente il tempo reale di lavorazione è leggermente maggiore, ma dipende molto dalle accelerazioni impostate nell'HAL e da come si regola il LookAhead.

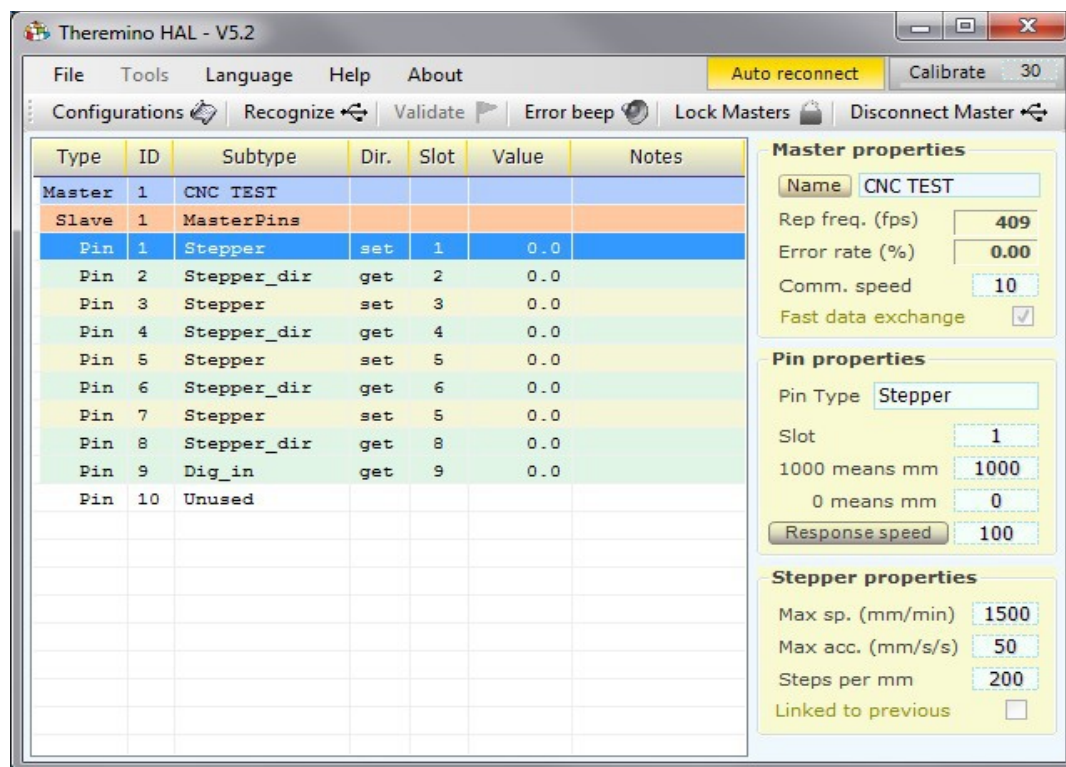
Time

I secondi impiegati nella lavorazione, a partire dall'ultimo START.

File

Nome del file GCode attualmente caricato.

Le regolazioni dei motori nel Theremino HAL



Lista di controllo e regolazione dei motori:

- Controllare la frequenza di ripetizione (almeno 200 fps, ma meglio 500 e oltre). Eventualmente alzare il parametro CommSpeed (oppure abbassarlo per diminuire il carico alla CPU).
- Impostare i Pin di tipo "Stepper", di solito sono 3, e devono essere per forza nelle posizioni 1, 3 e 5. I relativi "Stepper_dir", vengono impostati automaticamente, e non richiedono regolazioni.
- Normalmente gli Slot dei Pin "Stepper" e "StepperDir", si lasciano con i valori 1, 2, 3, 4, 5 e 6 (controllare che siano così)
- Controllare tutti i Pin di tipo "Stepper". Selezionarli uno per uno e verificare che i tre valori del pannello "Pin properties", siano 1000, 0 e 100 e che il pulsante "Response speed" sia disabilitato.
- Per tutti i Pin "Stepper", impostare gli "Steps per mm" che dipendono dal numero di step per giro del motore (normalmente 200), moltiplicati per il numero di microstep (1, 2, 4, 8, 16 o 32) e infine moltiplicati, per il passo della vite senza fine, o il rapporto delle pulegge (solitamente x1, x2 o x4)
- Per tutti i Pin "Stepper", alzare (per tentativi) "MaxSpeed", provando i motori con lo Slot Viewer (per aria e senza utensile). Arrivare fino a individuare la velocità che fa "sganare" il motore (il motore fa wiiii e non si muove), e infine diminuirla di un 20 %, per avere un margine di sicurezza.
- Per tutti i Pin "Stepper", alzare (per tentativi) "MaxAcc". Arrivare fino a individuare la accelerazione che fa "sganare" il motore, e infine diminuirla di un 20 %, per avere un margine di sicurezza. I valori normali vanno da 20 (macchine con carrelli pesanti) a 200 (macchine leggere e veloci).

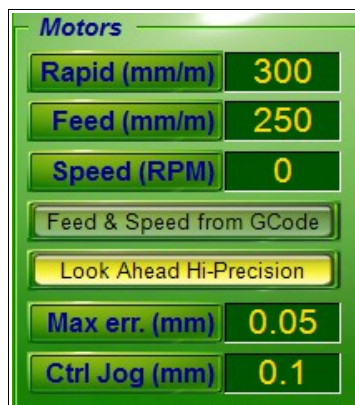
Per ribaltare la direzione di movimento di un asse, si scambiano i valori "1000" e "0", delle caselle "1000 means mm" e "0 means mm".

Infine si aggiungono alcuni Pin, di tipo "Dig_Out", "Pwm_8", "Pwm_16", "Dig_In" o "Dig_In_Pu", per i segnali di uscita e di ingresso e si impostano i loro Pin. Come spiegato nelle appendici sui segnali di InOut.

Regolazione dei valori nelle caselle numeriche

Le caselle numeriche di Theremino CNC (e di tutte le altre applicazioni del sistema Theremino), sono state sviluppate da noi **(Nota 1)** per essere più comode e flessibili delle TextBox originali di Microsoft.

(Nota 1) Come tutto il nostro software, i file sorgenti sono disponibili (Freeware e OpenSource sotto licenza Creative Commons) e sono scaricabili da qui: www.theremino.com/downloads/uncategorized (sezione "Custom controls") Questi controlli possono essere usati a piacere in ogni progetto anche senza nominarne la fonte. I sorgenti "Open" servono anche come garanzia che non vi abbiamo incluso malware.



Esempio di caselle numeriche utilizzate in Theremino CNC

I valori numerici sono regolabili in più modi

- ◆ Cliccando, e tenendo premuto, il bottone sinistro del mouse e muovendo il mouse su e giù.
 - ◆ Con la rotella del mouse.
 - ◆ Con i tasti freccia-su e freccia-giù della tastiera.
 - ◆ Con i normali metodi, che si usano per scrivere numeri, con la tastiera.
 - ◆ Con i normali metodi di selezione e di copia-incolla.
-
- ➔ Muovere il mouse su e giù permette ampie e veloci regolazioni.
 - ➔ La rotella del mouse permette una regolazione comoda e immediata.
 - ➔ I tasti freccia permettono regolazioni fini, senza dover distogliere lo sguardo dall'operazione in atto.

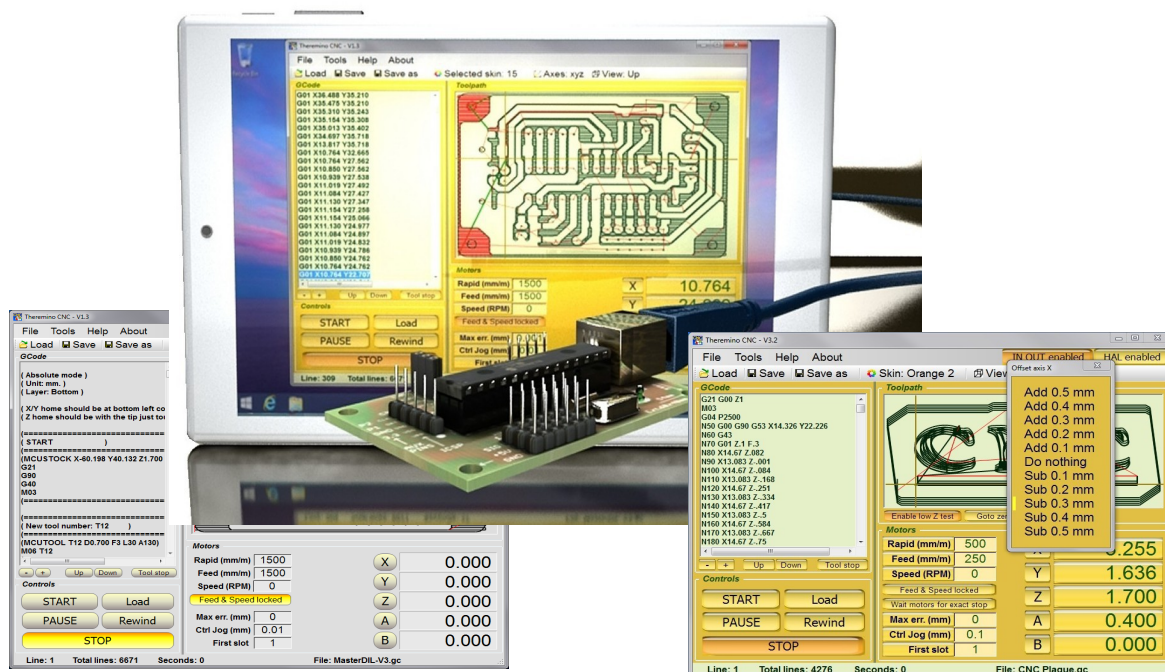
Modificare la velocità di variazione con i tasti SHIFT, CTRL e ALT

Quando si modificano i valori con le frecce della tastiera o con la rotella del mouse si possono tenere premuti i tasti SHIFT, CTRL e ALT e ottenere variazioni maggiori o minori.

- ➔ Con **SHIFT** si ottengono variazioni cento volte maggiori.
- ➔ Con **CTRL** si ottengono variazioni dieci volte maggiori.
- ➔ Con **ALT** si ottengono variazioni dieci volte minori.

Applicazioni multiple

A dispetto della sua semplicità, Theremino CNC può fare cose impensabili per altri CNC. Ad esempio, può controllare più macchine CNC, senza che interferiscano tra loro.



Si potrebbe, ad esempio, controllare una macchina che incide il legno, e contemporaneamente una stampante 3D. E nello stesso tempo, si potrebbe muovere manualmente una fresa CNC con i tasti (JOG), azzerarla, caricare nuovi file e far partire la lavorazione di un circuito stampato. Provando a fare questo, con altri CNC, si scopre che se ne avvia uno solo per volta. E questo non è dovuto alla parallela (Windows ne sopporterebbe anche otto) ma proprio ai loro driver, che sono stati scritti a Thread singolo, per non caricare troppo il sistema.

Theremino CNC delega il controllo dei motori all'hardware, per cui carica il sistema pochissimo. Non c'è praticamente limite, al numero di applicazioni contemporanee.

Per mantenere indipendenti più applicazioni, ogni Theremino CNC deve risiedere in una sua cartella separata, con il suo HAL separato. E ogni HAL deve essere impostato per usare un Master diverso. I Master devono avere nomi diversi tra loro, e usare Slot diversi per comunicare. Infine gli HAL devono avere il pulsante "Lock masters" abilitato, in modo che ognuno di essi, si colleghi solo al rispettivo Master (o ai rispettivi Master, se se ne usano più di uno).

Consigli per le funzioni meno evidenti

Start, Stop e emergenza

- ◆ L'allineamento con la macchina rimane valido, anche dopo aver spento macchina e PC. Non è necessario ripetere gli azzeramenti ad ogni avvio.
- ◆ Facendo doppio click sul pulsante START, la lavorazione viene avviata, e subito messa in pausa. Quello che si ottiene, è un funzionamento passo passo (viene eseguita una sola linea del Gcode o anche solo una parte del movimento, in caso di spostamenti lunghi).
- ◆ Fare doppio click sul pulsante START, è utile per fare brevi test e verificare che tutto sia a posto. Ad esempio, per controllare che il motore del mandrino si avvii.
- ◆ Durante la lavorazione si può entrare in pausa, premendo nuovamente START. Questo permette di mantenere l'attenzione sulla lavorazione, senza distrarsi per spostare il cursore del mouse.
- ◆ Come pulsante di emergenza si può usare anche la barra spazio, sulla tastiera.
- ◆ L'arresto di emergenza non è un normale STOP, i motori si fermano senza rallentare. Per cui si perde la posizione effettiva e si dovranno rifare gli azzeramenti degli assi.
- ◆ Si può cambiare la punta e poi ripartire, da un punto a piacere (si fa click su una linea del GCode e si preme START)
- ◆ Il pulsante STOP mostra i motivi dello stop.

Percorso utensile (toolpath)

- ◆ Facendo doppio click sul percorso utensile, si può individuare la linea del GCode corrispondente (eventualmente ingrandire prima, con la rotella del mouse)
- ◆ Facendo click sul GCode, vengono evidenziate le parti eseguite (in colore contrastante), nel riquadro che visualizza il percorso utensile.
- ◆ A differenza di altri CNC, la immagine del percorso utensile ricorda le zone eseguite (in colore contrastante) e le mostra anche dopo un cambio di prospettiva, o di dimensioni.

Comandi di spostamento

- ◆ Goto bottom-left e Goto top-right non muovono l'asse Z.
- ◆ Goto Zero e Goto Home muovono anche l'asse Z.
- ◆ La differenza tra Goto Zero e Goto Home è solo la posizione verticale dell'asse Z

Slots e First Slot

- ◆ Prima di tutto, si devono fare corrispondere gli Slot dell'HAL, con quelli di Theremino CNC. Se non sono a posto, può accadere di tutto.
- ◆ Fare attenzione che "First slot" deve corrispondere al primo Slot sull'HAL.
- ◆ Gli Slots sono in sequenza fissa in Theremino CNC, ma possono essere modificati nell'HAL e inviati a qualunque Pin hardware.
- ◆ Uno stesso Slot può controllare anche più motori (ad esempio due motori in Gantry).

Appendice 1 - Velocità di lavorazione

Le velocità di avanzamento, "Rapid" e "Feed", sono impostabili con qualunque valore, anche molto alto. Le effettive velocità e accelerazioni dei motori, vengono poi limitate dal firmware (regolazioni nella applicazione HAL), per cui si può stare sicuri, che i motori non sgraneranno mai. Ma non si dovrebbero mai impostare Rapid e Feed a valori maggiori, di quelli impostati nella applicazione HAL, per il motore più lento.

Nelle prime prove è normale avere tutti i parametri fuori posto. Si deve sperimentare molto, per trovare un proprio equilibrio. E questo equilibrio dipende dalla macchina, dai motori, dalle regolazioni nell'HAL e dal tipo di lavorazioni che si fanno.

Per una lavorazione veloce e precisa, su macchine normali, si impostano:

- Rapid e Feed non maggiori del motore più lento (normalmente da 100 a 3000)
- Feed come richiesto dalla lavorazione (normalmente da 100 a 1000)
- Look Ahead enabled"
- Max err = 0.05

Accelerazioni

Le massime accelerazioni si regolano nell'HAL, facendo molta attenzione, che i motori non sgranino mai e tenendo un margine di sicurezza. Ma potrebbe essere una buona idea, tenere abbastanza bassi i valori di accelerazione (50 o anche meno), per rendere la velocità di avanzamento più stabile. Comunque è tutto in proporzione alla velocità massima. Su macchine molto veloci (con trasmissione a cinghie dentate) si potrebbero anche impostare accelerazioni di 500 e oltre.

Rapid e Feed

Non si devono mai impostare Rapid e Feed a valori maggiori, di quelli impostati nella applicazione HAL, per il motore più lento. Altrimenti i motori restano indietro e si perde il controllo durante il "Jog" (movimenti manuali con i tasti). Rapid va impostato per muovere bene con il Jog, mentre Feed va impostato (manualmente o da GCode), secondo le esigenze della lavorazione e dell'utensile.

Max Err

MaxErr agisce in due modi, a seconda che LookAhead sia disabilitato o abilitato.

Con LookAhead disabilitato, e MaxErr molto alto, si velocizza moltissimo la lavorazione, tagliando le curve senza riguardo e anche saltando righe di GCode, se i loro segmenti sono brevi.

Con LookAhead abilitato (e questo è il modo normale di funzionamento), si specifica il massimo errore, rispetto al percorso stabilito nel GCode, e MaxErr non viene mai superato.

Se si imposta MaxErr=0, allora il percorso è esattamente quello specificato nel GCode, ma il tempo di lavorazione si allunga di molto.

Look Ahead e Look Ahead Hi-Precision

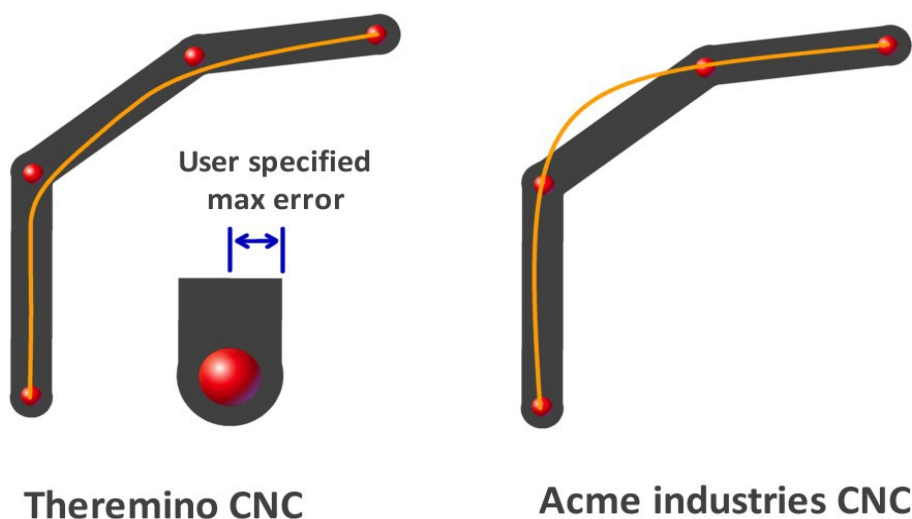
Attivando il Look Ahead, si può stare sicuri che MaxErr non verrà mai superato. Il software aspetterà sempre, che i motori abbiano rallentato abbastanza, e che sia possibile cambiare direzione, tagliando le curve con errore minore di MaxErr. Con Hi Precision le curve strette (da 90 gradi in su) vengono rispettate con precisione totale (la punta passa esattamente sulla coordinata specificata dal GCode).

Stop every segment

I motori vengono fermati sempre, ad ogni fine segmento, anche se il segmento seguente procede dritto. Il percorso è esattamente quello specificato nel GCode, ma il tempo di lavorazione si allunga.

Appendice 2 - Il calcolo della traiettoria

Trajectory calculation



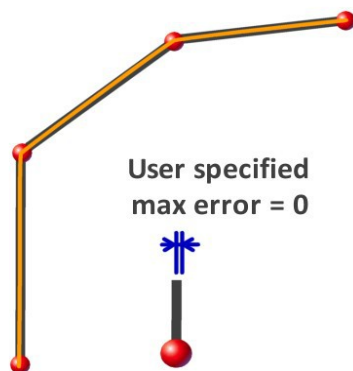
Theremino CNC usa il metodo visibile nella immagine a sinistra: curvare appena possibile, alla massima velocità possibile, ma **senza mai uscire dalla tolleranza specificata**. In pratica, prima di curvare, si rallenta il minimo indispensabile e poi si “taglia” la curva.

Altri CNC calcolano la traiettoria in modi diversi. Alcuni fanno un calcolo chiamato “Spline”, in modo da passare sempre nei centri delle coordinate (immagine in alto a destra). Questo metodo non garantisce di stare sempre, entro un unico valore di tolleranza. L'esatto percorso che viene eseguito, dipende da come si regolano, un certo numero di parametri di controllo.

Altri, sotto a un certo angolo (definito dall'utente), non fanno nessun controllo e oltre quell'angolo applicano uno stop completo, o un rallentamento proporzionale alla variazione di angolo.

Altri, in base alla accelerazione massima di ogni asse, calcolano rampe di accelerazione e frenata e distribuiscono queste variazioni, su tutta la lunghezza del segmento. Per cui tutto il segmento viene percorso, con velocità continuamente variabile (non solo i terminali di accelerazione e frenata, come invece accade negli altri casi).

Theremino CNC con MaxError uguale a zero



Questa immagine mostra il percorso che si ottiene, impostando MaxError con il valore zero.

In questo caso, Theremino CNC garantisce una traiettoria che passa **sempre, esattamente, sui punti terminali dei segmenti**.

Naturalmente se si imposta MaxErr a zero (o “Stop every segment” che ha un effetto simile), la lavorazione viene molto rallentata.

Appendice 3 - Tempi di lavorazione

Il tempo di lavorazione "Total time" viene continuamente aggiornato, in base al GCode caricato e alle impostazioni di "Rapid", "Feed" e "Feed locked" (ma non tiene conto dei movimenti preparatori).

Se i motori sono scollegati o disabilitati, oppure si imposta "Look Ahead disabled", allora il software non attende i tempi di accelerazione e frenata. In queste condizioni il tempo di lavorazione è uguale al "Total time" calcolato (o anche inferiore se si alza molto il "MaxErr").

Se i motori sono collegati e si usa il "Look Ahead", allora il tempo di lavorazione aumenta, con alcune regolazioni potrebbe anche raddoppiarsi.

Un tempo di lavorazione molto maggiore di quello calcolato indica che si stanno usando parametri sbagliati.

Alcuni esempi di tempi di lavorazione

Tempi misurati sul file "AdapterSplit5V.gc", con Rapid = 300, Feed = 300, Feed locked abilitato, Max err. = 0.05 e accelerazioni = 50 mm/s/s

- Look Ahead Disabled: 60 secondi (esattamente uguali al "Total Time" calcolato)
- Look Ahead Enabled: 64 secondi (+ 6%)
- Look Ahead Hi-Precision: 68 secondi (+ 13%)
- Stop every segment: 87 secondi (+ 45%)

Tempi misurati sul file "AdapterSplit5V.gc", con Rapid = 500, Feed = 500, Feed locked abilitato, Max err. = 0.05 e accelerazioni = 50 mm/s/s

- Look Ahead Disabled: 34 secondi (meno dei 36 sec calcolati - **Nota 1**)
- Look Ahead Enabled: 47 secondi (+ 30%)
- Look Ahead Hi-Precision: 51 secondi (+ 42%)
- Stop every segment: 74 secondi (+ 120%)

Nota 1 - Con "Look Ahead disabled" e "Max Err" maggiore di zero, si tagliano le curve e si possono ottenere tempi di lavorazione, anche inferiori a quelli calcolati.

Quale Look Ahead usare

- **Look Ahead Disabled** - Da usare raramente e con attenzione. Se si alza MaxErr la lavorazione si abbrevia notevolmente, si tagliano le curve e si saltano interi segmenti. Ma gli errori di posizione e velocità possono diventare intollerabili e si potrebbero anche rompere gli utensili.
- **Look Ahead Enabled** - Lavorazione veloce e precisione regolabile. Alzando MaxErr, e accettando piccoli errori di posizione e di velocità, si può abbreviare notevolmente la lavorazione. Regolare MaxErr abbastanza basso, normalmente 0.05 oppure 0.1 mm.
- **Look Ahead Hi-Precision** - Questa potrebbe essere una buona scelta per tutte le lavorazioni. Il tempo non aumenta di molto, ma in compenso la velocità Feed viene rispettata con precisione, e si passa esattamente sulle coordinate nelle curve strette (le curve da 90 gradi e oltre). Regolare MaxErr abbastanza basso, normalmente 0.05 oppure 0.1 mm.
- **Stop every segment** - Questa impostazione si usa raramente. Ad ogni linea di GCode si fermano tutti i motori. MaxErr è disabilitato e si passa sempre, esattamente, su tutte le coordinate.

Appendice 4 - Funzioni implementate

G00	= Modo "Rapido"
G01	= Modo "Lavoro"
G02	= Interpolazione circolare oraria
G03	= Interpolazione circolare antioraria
G04	= Tempo di sosta specificato dai prefissi U o P (U=secondi, P=milliSecondi)
G05	= Ferma avanzamento (Pausa)
G09	= Stop esatto - non modale (manuale in Theremino CNC)
G17	= Lavorazione su piano X/Y
G21 e G71	= Modo in millimetri
G28	= Goto HOME (Significato diverso in alcune macchine. Leggere l'appendice sul G28)
G40	= Cancellazione della compensazione utensile
G49	= Cancellazione compensazione lunghezza utensile
G61 ... G64	= Abilitazione e cancellazione dello Stop esatto
G62	= Automatic corner override (automatico in Theremino CNC)
G80	= Cancellazione dei cicli "canned"
G90	= Coordinate assolute
G91.1	= Ritorno al normale modo incrementale per i parametri I/J/K
G92 Enn	= Imposta l'estrusore al valore nn (senza muovere il motore)
G93	= Modo "Inverse time" (F = 1 / durata del movimento in minuti)
G94	= Ritorno al normale modo di Feed (F = mm/min)
M00	= Arresto programma (Stop)
M01	= Arresto programma opzionale (Pausa)
M02	= Fine programma (Stop)
M03 M04	= Rotazione del mandrino oraria (M03) e antioraria (M04)
M05	= Stop delle rotazioni del mandrino oraria e antioraria
M06	= Cambio utensile
M07	= Refrigerante 1
M08	= Refrigerante 2
M09	= Arresto refrigerante
M10 M11	= Bloccaggio e sbloccaggio del pezzo
M13 M14	= Attivazione refrigerante 1 e rotazione del mandrino oraria (M13) o antioraria (M14)
M19	= Orientamento del mandrino, in gradi, definito dalla lettera "C"
M30	= Fine programma (Stop)
M31	= Sospensione (Pausa)
M41 ... M44	= Gamme di velocità
M50	= Refrigerante 3
M51	= Refrigerante 4
M84	= Disabilita la macchina (agisce sul pulsante IN-OUT enabled)
M99	= Fine sottoprogramma (Stop)
()	= Commento
F	= Velocità di avanzamento
S	= Velocità rotazione mandrino
N	= Numero di linea
I, J, K, R	= Parametri interpolazioni circolari
X, Y, Z, A, B	= Destinazione per ogni asse (sono validi anche U e V che vengono tradotti in A e B)
C	= Rotazione sull'asse Z (in gradi) per l'orientamento del mandrino.

Funzioni implementate - Funzioni specifiche per le stampanti 3D

M 82 - Estrusore in modo di coordinate assolute (default per le stampanti 3D)

M 84 - Disabilita i motori

M 105 - Legge la temperatura corrente dal sensore (implementato dal sistema - non fa nulla)

M 106 - Ventola ON

M 107 - Ventola OFF

M 104 - Imposta la temperatura dell'estrusore selezionato (Esempio: M104 S190 - temperatura = 190°C)

M 109 - Imposta la temperatura di estrusione ed attende (Esempio: M109 S215 - temperatura = 215°C)

M 140 - Imposta la temperatura del piano di stampa (Esempio: M140 S190 - temperatura = 190°C)

M 141 - Imposta la temperatura della camera (Esempio: M141 S90 - temperatura = 90°C)

Le tabelle di controllo delle temperature sono nel file "TemperatureTables.txt", accessibile dal menu "3D Printers".

Le istruzioni per i sensori di temperatura e le tabelle, sono nella [Appendice 23](#)

Appendice 5 - Funzioni non implementate

Come scritto nella presentazione, Theremino CNC implementa solo le funzioni di base. Non vogliamo che diventi, come altre applicazioni, talmente complesso da dover chiedere aiuto a San Gennaro per usarlo.



Tutti i codici non implementati, sono sostituibili con i soli G00 e G01, basta dirlo al post-processor del CAM. Venti anni fa c'erano i floppy, ma nel 2015 non ha più senso rischiare errori, per risparmiare qualcosa come 100K, nella lunghezza dei file.

Nel sistema Theremino si programma la automazione con linguaggi più evoluti del GCode. La modularità hardware e software permette di programmare sistemi complessi e scrivere algoritmi difficili, impensabili per il GCode. Ad esempio leggere le WebCam o programmare PID con sensori analogici. **(Nota 3)**

G53 G54 (e tutti i codici che indicano coordinate macchina e coordinate pezzo) - Theremino CNC lavora sempre in coordinate relative (coordinate pezzo). Niente coordinate macchina.

Codici da G41 a G59 - La compensazione del diametro utensile (da G41 a G52) si fa nel CAM **(Nota 1)**. Con Theremino CNC gli spostamenti di origine (da G54 a G59) si eseguono manualmente con il JOG **(Nota 2)**. Usando pollici o programmazione incrementale, le coordinate del GCode sono differenti dalle coordinate effettive dell'utensile, con tutte le difficoltà che ne derivano. I cicli di foratura (da G81 a G 89) funzionano, ma Theremino CNC non li considera diversi dalle altre operazioni.

Codici da G61 a G83 - Ad esempio i G83 specificano che la punta deve scendere un certo numero di volte e risalire ogni volta di un poco "backed off a bit", <http://linuxcnc.org/docs/html/gcode/gcode.html#sec:G83-Drilling-Peck>. Ma gli "un poco" di una lavorazione, potrebbero essere "un troppo" per un'altra. Inoltre permettendo i G83, apriremmo le porte a un vaso di pandora di possibili bugs, perché poi si accoderebbero i G82, G81, G76, G73, G64, G61, che sono pure diversi, su macchine diverse. Meglio dire al CAM, di sostituire tutto con G00 e G01. In questo modo sarà il CAM stesso, a stabilire ogni movimento, e potrà regolare gli "un poco", nel modo migliore, per ogni lavorazione.

Compensazione del Backlash - Una "toppa" che crea più problemi di quelli che risolve - Dal manuale di Mach3: "... la compensazione è una "ultima risorsa" quando il progetto meccanico della vostra macchina.... non può superare i problemi con la macchina in taglio continuo.... usandolo la velocità costante viene persa.... Mach3 non rispetta più i parametri di accelerazione e si rischia di perdere passi". Originali dal manuale di Mach3: "... backlash compensation is a "last resort" when the mechanical design of your machine.... it can not overcome problems with the machine in continuous cutting.... Using it will generally disable the "constant velocity" features at "corners".... Mach3 is not able to fully honour the axis acceleration parameters.... when compensating for backlash so stepper systems will generally have to be detuned to avoid risk of lost steps."

(Nota 1) Una applicazione CNC non conosce le dimensioni dell'utensile e nemmeno la forma e la posizione del pezzo da lavorare. Scrivere parametri mascherandoli da commenti è una distorsione rispetto al significato del GCode che, giustamente, non li prevede.

(Nota 2) Posizionare pezzi affiancati dipende dalle dimensioni del grezzo che si ha a disposizione. Posizioni prefissate nel GCode fanno perdere più tempo di quello che fanno risparmiare. Quando si prende l'abitudine a usare il JOG manuale, fare più pezzi in posizioni differenti è facile e immediato.

(Nota 3) Il GCode non è un buon linguaggio di programmazione, non è strutturato e usa comandi come i GOTO, ben conosciuti per generare programmi spaghettoni e inaffidabili. Nel sistema Theremino si programma la automazione con linguaggi moderni, a oggetti e strutturati (VB6, VbNet, C++, CSharp, Python, ThereminoScript, Theremino Automation, MaxMSP etc..)

Appendice 6 - Le interpolazioni circolari G02 e G03

Abbiamo implementato le interpolazioni circolari perché le hanno chieste in molti. Ma non ci sono mai piaciute e continuano a non piacerci. Sono implementate bene e funzionano esattamente come devono funzionare, ma il nostro consiglio è di non usarle. Hanno difetti insiti nella definizione stessa del comando:

- Non sono usabili su macchine a 3, 4 o 5 assi, se non con un funzionamento “indicizzato”. In altre parole G02 e G03 **muovono al massimo due assi per volta, e gli altri assi devono per forza stare fermi**. Invece G00 e G01 sono veri movimenti multidimensionali e possono muovere un solo asse, due, tre, quattro o anche tutti e cinque gli assi contemporaneamente.
- G02 e G03 **in quanto limitati a soli due assi, sono gestiti a parte**, e disturbano il regolare funzionamento, dei vettori multidimensionali e dei calcoli di Look Ahead. I movimenti su più assi, devono necessariamente, essere spezzati su più linee di Gcode, e quindi saranno eseguiti in modo indicizzato (un eufemismo per non dire “a strappi”). Con G02 e G03 **il funzionamento indicizzato è inevitabile, accade su qualunque CNC, non solo su Theremino CNC**.
- I parametri stessi di definizione dell'arco di cerchio sono incoerenti. Ad esempio è possibile che la destinazione contraddica quanto specificato dalla origine e dal centro di rotazione, o viceversa. Per cui, se i conti non tornano, cosa si dovrebbe fare? Scartare il comando? Chiedere all'utente cosa fare? Fermare la lavorazione e rovinare il pezzo? Eseguire lo stesso il comando e rigare il pezzo? Si dirà che basta avvertire l'utente e fargli correggere il comando. Ma di solito si tratta solo di imprecisioni causate dagli arrotondamenti. E l'utente dovrebbe fare difficili calcoli trigonometrici. Meglio evitarlo, e usare solo comandi, che siano intrinsecamente coerenti.
- Esiste anche una versione di G02 e G03 che specifica il raggio, al posto del centro di rotazione. Nelle intenzioni di chi ha progettato il comando, questa versione dovrebbe eliminare la incoerenza dei parametri. Peccato che con questa versione, non si possa fare un cerchio completo, e che per farlo si consigli di spezzare il cerchio in tre linee, o di usare la versione incoerente del comando.
- Su alcuni CNC non si può fare un cerchio, nemmeno con la versione di G02 e G03, che specifica il centro di rotazione.
- Nella definizione del comando la convenzione sul verso di rotazione non è stabilita con chiarezza. Il verso è definito come “orario” o “antiorario”, ma cosa significa “orario” in un sistema multi dimensionale? Dove si trova l'osservatore rispetto all'arco, davanti, dietro, sopra o sotto? Abbiamo risolto questo problema, copiando esattamente quello che fanno Metacut e Mach3. Ma abbiamo trovato alcuni GCode, che vengono eseguiti da Mach3 in un verso, e da Metacut nel verso opposto.
- Abbiamo anche trovato casi di G02, che Metacut esegue regolarmente e Mach3 non esegue. Probabilmente i parametri hanno minime incoerenze, dovute agli arrotondamenti, ma Mach3 invece di dare un errore, semplicemente li salta, e passa alla linea seguente.
- In rete è pieno di casi di problemi causati dai codici G02 e G03. Cercate “G02 errors” e troverete che hanno causato ogni genere di difetto. E non si tratta di piccoli difetti, l'utensile può rompersi o fare danni anche peggiori, perché va tutto da un'altra parte di dove dovrebbe.

In conclusione, G02 e G03 sono nati male e non sono indispensabili. Basta dire al post-processor del CAM di non usarli e l'unico svantaggio sarà di avere file un po' più lunghi. Quando si usavano i floppy disk da 700k, risparmiare 100k poteva essere utile, ma ora non ha più senso.

Appendice 7 - I comandi HOME (G28 e seguenti)

Attenzione: Non fidatevi dei comandi HOME. Potrebbero essere eseguiti diversamente, da come siete abituati. In alcuni GCode potrebbe essere necessario aggiungere uno o più movimenti preparatori.

Dato che Theremino CNC è un programma generico (per frese, stampanti 3D, taglio polistirolo, taglio laser, engraving e macchine speciali) i movimenti preparatori utili in certi casi, potrebbero essere arbitrari e pericolosi in altri. Quindi Theremino CNC non effettua movimenti preparatori, incontrando un G28 va direttamente, da dove si trova la punta, al punto Home.

Per evitare interferenze con il pezzo in lavorazione potrebbe essere necessario precedere il G28 con:

- G00 Znn (per alzare la punta fino a un piano di sicurezza)
- G00 X0 Y0 (se si vuole che il movimento a zero degli assi X e Y preceda il movimento Z)

Implementazioni variabili dei comandi da G28 a G32

Abbiamo implementato il comando G28 perché è molto usato, ma la sua implementazione cambia su macchine diverse.

- G28 - Go to Predefined Position (Linux CNC)
- G28 - Goto Home (Macchina per la stampa 3D commerciale)
- G28 - Machine zero, aka machine reference point (Wikipedia)
- G28 - Goto Home Location coordinates (Manuale di Mach3)
- G28 - Moves all the supplied axis's back to the zero endstops as quickly as it can (RepRap wiki)

Come si può notare non è sempre lo stesso punto, può essere lo “Zero macchina”, o un punto predefinito da un altro GCode, o un punto che si specifica in alcune caselle della applicazione (Mach3).

Inoltre nessuno specifica se il percorso va eseguito in 3D, oppure se alcuni assi vanno mossi prima di altri. E in questo caso, se si deve muovere prima l'asse Z, oppure X e Y. E cosa devono fare gli assi A e B, per le macchine del taglio polistirolo.

Il G28.1 che “specifica” la posizione di Home su alcune macchine, fa invece partire un ciclo di ricerca degli switch di azzeramento, su altre.

I comandi di HOME secondario (da G30 a G32), sono ancora più variabili (test del piano di stampa su alcune macchine, Skip delle funzioni di misura su altre).

Abbiamo verificato cosa fanno in pratica alcune macchine e abbiamo scoperto comportamenti molto diversi.

Un esempio per tutti, una CubeX (stampante 3D commerciale) incontrando un G28 fa questi movimenti:

1. Muove il piano verso il basso di 10 mm
2. Muove X e Y insieme fino a X = zero e Y = zero
3. Muove il piano verso l'alto fino a Z = zero

Il movimento preparatorio di 10 mm (che è sicuro per una stampante 3D) potrebbe invece essere pericoloso (o inutile o non sufficiente) per una fresa. E muovere prima X e Y di Z, potrebbe causare una collisione con il pezzo.

Appendice 8 - Il Theremino CNC Adapter

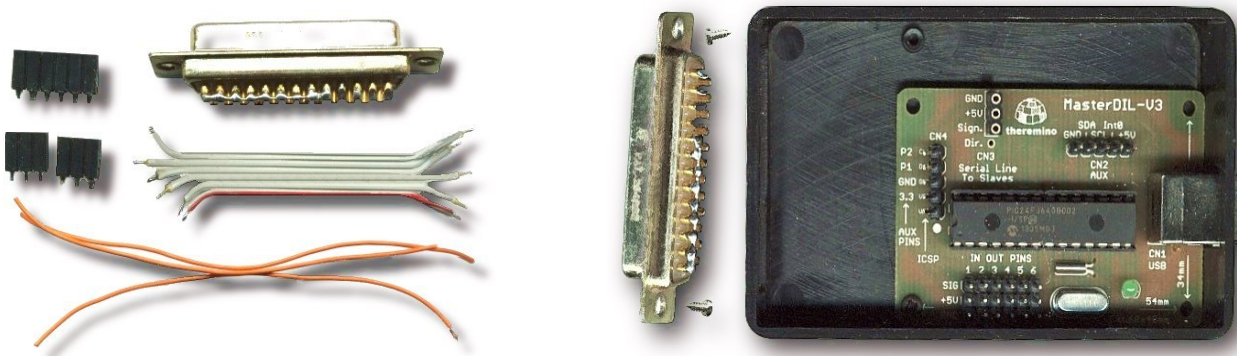
Attenzione: Questo adattatore non funziona con Mach3 e con Linux CNC, a meno che qualcuno scriva i relativi PlugIn. Noi non lo scriveremo, sia perché preferiamo la semplicità di Theremino CNC, sia perché non conosciamo abbastanza Mach3 e Linux CNC.

Le macchine predisposte per Mach3 o Linux CNC, venivano normalmente collegate, tramite la “Porta parallela”. Oggi le porte parallele sono praticamente estinte, e le si devono simulare, con costosi adattatori PCMCIA. Inoltre far creare gli step, uno per uno, direttamente al PC, porta a una grande [instabilità degli impulsi](#).

Per collegare la macchina via USB, si potrebbe rifare il suo cablaggio, e dotarla di un Master e di porta USB. Oppure si può staccare il cavo dalla parallela, collegarla a un “Theremino CNC Adapter”, e ricominciare subito a lavorare.

Sul sito Theremino è spiegato [come costruire questo adattatore](#). Riportiamo qui parte delle informazioni per comodità di lettura.

Adattatore per macchine CNC



Qui si vedono le fasi preliminari della costruzione dell’adattatore.

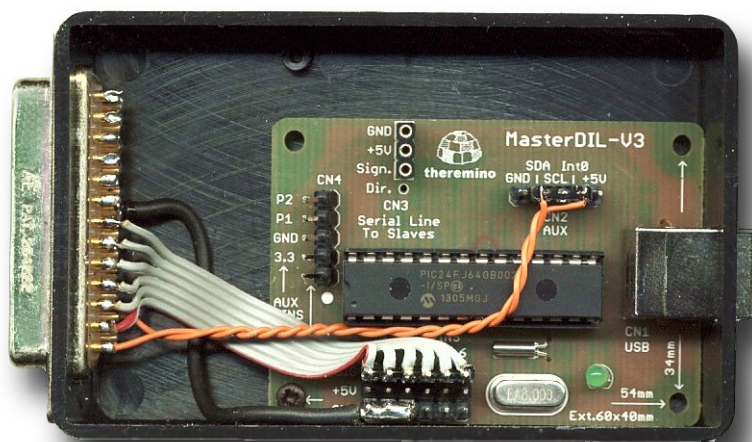
Servono qualche filo (piccolo e morbido), un connettore DB25 femmina, due piccole viti autofilettanti, tre connettori femmina a passo 2.54 (due da tre pin e uno da sei pin), un modulo master (con firmware versione 3.2 o successive), e una piccola scatola in plastica.

La scatola di queste immagini è una [Teko 10011](#) (dimensioni 90 x 56 x 23 mm), si può trovarla per 2 Euro, iva compresa, ad esempio da Webtronic. La sede per il connettore DB25, è un rettangolo largo 41 mm e alto 11 mm.

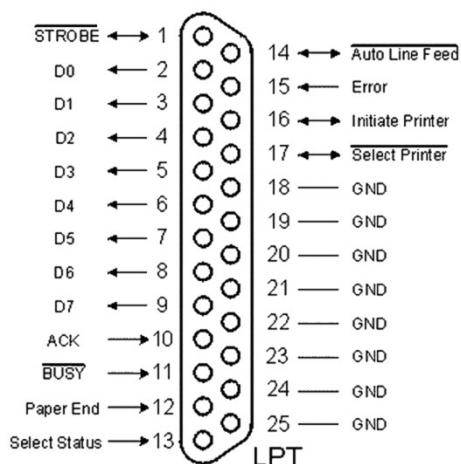
I fili non vanno saldati direttamente sul Master, ma sui connettori femmina. Usare solo connettori di buona qualità. I connettori buoni sono torniti e hanno i fori rotondi. I connettori con fori rettangolari non sono affidabili. Non fatevi ingannare dai venditori, che li vendono per Arduino. Le strisce di connettori con fori quadrati, fanno contatto per miracolo da nuove. Ma con il passare del tempo si ossidano, perdono l’elasticità e non fanno più contatto in modo affidabile, [come spiegato qui](#).

Prima di iniziare il cablaggio, tutti i fili e i connettori, devono essere spellati e stagnati con cura, con buona lega di stagno, [contenente piombo](#) e disossidante, [come spiegato qui](#).

Collegamenti tra Master e connettore DB-25



In questo esempio, oltre ai classici segnali per gli assi X, Y e Z, sono stati collegati due fili (di colore arancione), per il pulsante di arresto di emergenza, e per il controllo di velocità del motore del mandrino.



Queste immagini mostrano le connessioni tra Master e connettore DB-25.

I Pin del Master per gli assi X, Y e Z sono i seguenti:

- 1 = X (step)
- 2 = X (direction)
- 3 = Y (step)
- 4 = Y (direction)
- 5 = Z (step)
- 6 = Z (direction)
- 7 = A (step)
- 8 = A (direction)
- 9 = B (step)
- 10 = B (direction)

Attenzione:

- **Sul Master, la disposizione delle uscite STEP e DIR è fissa (non modificabile da software).**
- **I Pin della parallela per gli assi X, Y e Z, vanno da 2 a 7, e non da 1 a 6, come sul Master.**

Appendice 9 - Slots di ingresso e uscita

I numeri della prima colonna sono gli Slot e si presuppone di aver impostato "First Slot = 1".
Gli stessi Slot devono essere impostati nel Theremino HAL, nei Pin cui sono collegati gli In e Out.

01	OUT - Axis X - Destination (mm)	
02	IN - Axis X - Distance from destination (mm)	
03	OUT - Axis Y - Destination (mm)	
04	IN - Axis Y - Distance from destination (mm)	
05	OUT - Axis Z - Destination (mm)	
06	IN - Axis Z - Distance from destination (mm)	
07	OUT - Axis A - Destination (mm)	
08	IN - Axis A - Distance from destination (mm)	
09	OUT - Axis B - Destination (mm)	
10	IN - Axis B - Distance from destination (mm)	
11	OUT - Spindle motor or laser (ON = 1000 / OFF = 0)	- ON nelle fasi di lavoro
12	OUT - Spindle motor speed(RPM da -99000 a +99000)	- Specificato da "S"
13	OUT - Spindle CW (ON = 1000 / OFF = 0)	- M03 M13(ON) M05(OFF)
14	OUT - Spindle CCW (ON = 1000 / OFF = 0)	- M04 M14(ON) M05(OFF)
15	OUT - Tool number (0, 1, 2, 3...)	- M06(T=numero utensile)
16	OUT - Cooling1 (ON = 1000 / OFF = 0)	- M07(ON) M09(OFF)
17	OUT - Cooling2 (ON = 1000 / OFF = 0)	- M08(ON) M09(OFF)
18	OUT - Cooling3 (ON = 1000 / OFF = 0)	- M50(ON) M09(OFF)
19	OUT - Cooling4 (ON = 1000 / OFF = 0)	- M51(ON) M09(OFF)
20	OUT - Pallet Clamp (ON = 1000 / OFF = 0)	- M10(ON) M11(OFF)
21	OUT - Orientazione del mandrino (in gradi)	- M19(C=gradi)
22	OUT - Gear speed range (1, 2, 3, 4)	- M41 M42 M43 M44
23	OUT - Abilitazione generale della macchina	- M84 e pulsante "IN OUT enable"
24	OUT - Abilitazione accessori	- ON con START e OFF con STOP
31	IN DigIn - Stop di emergenza	(0 = OK / 1000 = emergenza)
32	IN DigIn - Catena di fine corsa	(0 = OK / 1000 = fine corsa)
33	IN DigIn - Sensori per l'azzeramento	(1000 = aperto / 0 = a contatto)
34	IN DigIn - Sensore per saltare linea	(0 = normale / 1000 = salta la linea) (Nota 1)

Eventuali Slot di Input non usati, devono essere lasciati liberi (nessun Pin associato nell'HAL).

Slot per le stampanti 3D

41	OUT - SlotHoldingForce	Pressione di fissaggio	- M142(S=pressione)
42	OUT - SlotCoolingFans	Ventole di raffreddamento	- M106(ON) M107(OFF)
43	OUT - SlotHeaterAmbient	Riscaldatore aria ambiente	- (Nota 3)
44	OUT - SlotHeaterChamber	Riscaldatore aria camera	- M141(S=temp.) (Nota 3)
45	OUT - SlotHeaterPrintBed	Riscaldatore piano stampa	- M140(S=temp.) (Nota 3)
46	OUT - SlotHeaterExtruder1	Riscaldatore estrusore 1	- (Nota 2) (Nota 3)
47	OUT - SlotHeaterExtruder2	Riscaldatore estrusore 2	- (Nota 2) (Nota 3)
51	IN ADC - SlotTempAmbient	Sensore temperatura ambiente	- (Nota 3)
52	IN ADC - SlotTempChamber	Sensore temperatura della camera	- (Nota 3)
53	IN ADC - SlotTempPrintBed	Sensore temperatura del piano di stampa	- (Nota 3)
54	IN ADC - SlotTempExtruder1	Sensore temperatura estrusore 1	- (Nota 3)
55	IN ADC - SlotTempExtruder2	Sensore temperatura estrusore 2	- (Nota 3)

(Nota 1) Se lo slot 34 supera il valore 500, e la linea di GCode attuale è un movimento lineare, allora il movimento si interrompe e il controllo passa alla linea seguente. Questa funzione agisce una volta sola e si "riarma" quando il valore ritorna sotto a 500.

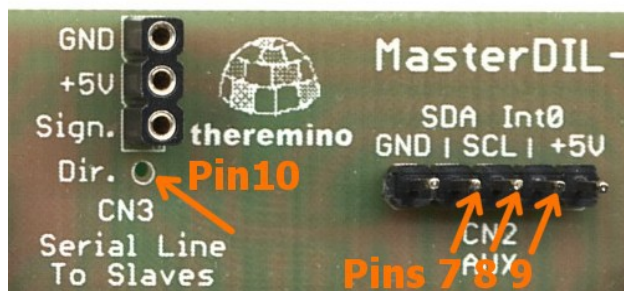
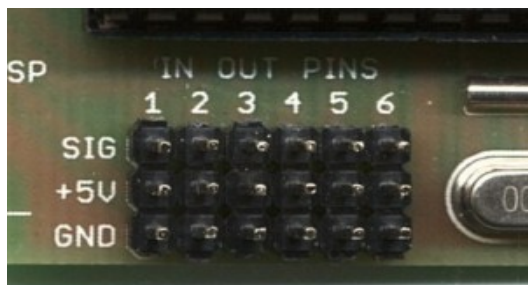
(Nota 2) Le temperature degli estrusori 1 e 2 sono determinate dai comandi M104(s) e M109(s) che agiscono sull'estrusore precedentemente selezionato (con il comando T). M104 non attende e M109 attende.

(Nota 3) Le tabelle di controllo delle temperature sono nel file "TemperatureTables.txt", accessibile dal menu "3D Printers". Le istruzioni per i sensori di temperatura e le tabelle, sono nella [Appendice 23](#)

I Pin di InOut, sul modulo Master

Posizione dei Pin nei Master fino alla versione 3

La prima immagine mostra i primi sei Pin e la seconda i Pin 7, 8, 9 e 10.



I Master dalla versione 4 in poi hanno i Pin più visibili

Tutti i Pin hanno il numero e sono evidenziati con un cerchio.



Requisiti per avere i Pin di tipo Stepper

- HAL versione 5 (o superiori): <http://www.theremino.com/downloads/foundations#hal>
- Master con firmware aggiornato: <http://www.theremino.com/technical/schematics#master>
- Controllare, nell'HAL, la lista dei "Master Pins" e devono essere 10. Se appaiono solo 6 pin, il Master ha il firmware vecchio, senza stepper.

Segnali di uscita

I segnali di uscita sono validi, anche se si parte da una linea di GCode intermedia. Nel momento dello Start, i codici di controllo, vengono cercati all'indietro nel GCode, e viene usato il più recente. Se un codice non viene trovato, il relativo segnale di uscita viene spento (valore Slot = 0).

Il segnale dello Slot 11 è controllato solo dalla applicazione, e durante il lavoro viene sempre acceso. Serve per controllare laser e simili, viene acceso durante la lavorazione, e spento durante i movimenti rapidi.

Con alcuni CNC, tutte le volte che si preme START, si vive un attimo di paura: "Il motore del mandrino si accenderà? O magari nel GCode manca il codice per avviarlo, per cui starà fermo, e mi farà spaccare l'utensile?" Ma Theremino CNC ha questo segnale, che viene acceso dalla applicazione e non dal GCode. Per cui (se si preferisce) si può configurare l'hardware, per avere l'accensione del mandrino, indipendente dal GCode. E con opportuni AND e OR (hardware o software), del segnale ON-OFF con gli altri segnali di uscita, si possono generare segnali adatti, a macchine di ogni tipo (a laser, a taglio, a spruzzo etc...)

Il segnale dello Slot 12 è controllato dalla casella "Speed RPM" e anche dal GCode, se "Feed locked" è disabilitato.

I segnali dello Slot da 13 a 20 sono controllati dai codici M seguenti:

- 1 uscita di cambio utensile, con il numero (Tnn) dell'utensile (M06)
- 4 uscite separate, per i refrigeranti (M07 M08 M50 M51) (e M09 per spegnere)
- 1 uscita per bloccaggio e sbloccaggio del pezzo (M10 e M11)
- 1 uscita di orientamento del mandrino, in gradi (M19)
- 1 uscita per 4 gamme di velocità (gear) (M41 M42 M43 M44)

Collegamenti accessori

Un singolo Master, oltre agli assi X, Y e Z, può controllare altri quattro segnali, con i Pin 7, 8, 9 e 10. Questi segnali possono essere IN-OUT generici, oppure possono controllare altri due motori (che in Theremino CNC sono chiamati A e B). I collegamenti speciali, per il controllo della velocità del mandrino, per la potenza del Laser, per il pulsante di emergenza e per gli switch di fondo corsa, vanno studiati di volta in volta. Seguire i collegamenti, che vennero fatti per Mach3, la lista "Ports and Pins" di Mach3, e la tabella degli InOut della pagina precedente.

Segnale di ENABLE dei motori

I controller hanno sempre un ingresso "Enable" e viene naturale chiedersi dove collegarlo. Noi consigliamo di NON collegarlo al software. Così si risparmia un Pin, che potrebbe essere più utile per altre funzioni, inoltre si aumenta la sicurezza di mantenere sempre l'allineamento con i motori.

Theremino CNC rimane sempre allineato ai motori e non richiede continui azzeramenti. Anche dopo aver spento la macchina e dopo aver spento e riavviato il PC, si resta allineati al centesimo. Si possono fare prove a motori spenti, usando il pulsante "IN OUT enabled", che ripristina le coordinate quando viene riabilitato.

Ma l'allineamento si perde, se si disabilita l'HAL o si spegne l'alimentatore della macchina e si esegue un movimento. Quindi si consiglia questa sequenza: (1) Accendere la macchina, (2) Avviare Theremino CNC, (3) Lavorare senza mai spegnere la macchina o i motori, (4) Spegnere Theremino CNC, (5) Spegnere la macchina.

Per provare i GCode, modificarli ed eseguirli senza motori è meglio preparare una copia di Theremino CNC, in una cartella separata e usarlo con i pulsanti "IN OUT enabled" e "HAL enabled" sempre spenti.

Segnali di ingresso

Pulsante di Emergenza

Il pulsante di emergenza della macchina dovrebbe agire direttamente sull'alimentatore della macchina, in modo da funzionare anche se il PC è spento o il software è inattivo. Se proprio si vuole collegarlo al software, deve essere "normalmente chiuso" e si deve impostare il suo Slot come 31. [Per i collegamenti vedere gli schemi della prossima pagina.](#)



ATTENZIONE: Il pulsante di emergenza va usato solo per vere emergenze, perché ferma istantaneamente i motori e fa perdere il riferimento di posizione (gli azzeramenti e le calibrazioni). Normalmente al suo posto, si usano PAUSE e STOP, che mantengono valida la posizione dei motori, e permettono di ripartire, senza rifare gli azzeramenti.

Interruttori di fine corsa

Gli switch di fine corsa devono essere tutti collegati in serie e "normalmente chiusi". Si deve impostare il loro Slot come 32. [Per i collegamenti vedere gli schemi della prossima pagina.](#)

Gli switch si collegano tutti in serie, in una unica catena [\(Nota 1\)](#). Non si guadagna niente a sprecare tre (o addirittura sei) ingressi, per queste funzioni. Ancora più inutile è raddoppiarli, come alcuni consigliano, e destinare una serie di switch al fondo corsa e un'altra all'emergenza [\(Nota 2\) \(Nota 3\)](#).

(Nota 1) Il software sa sempre in che direzione sta andando ogni motore, quindi non servono collegamenti separati.

(Nota 2) Quando il software sta azzerando si tratta di fine corsa, quando sta lavorando si tratta di emergenza.

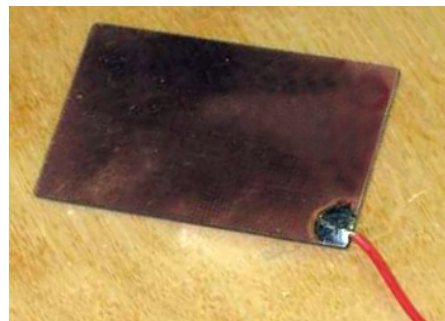
(Nota 3) Se si dispone di switch di precisione per l'azzeramento, li si possono usare anche per l'emergenza.

Sensore di azzeramento dell'asse Zeta

Il sensore consiste in un rettangolo di vetronite, ramata sulla faccia superiore. Su un lato del rame si salda un lungo filo che va a un Pin di input.

Per effettuare un azzeramento preciso e veloce, si posiziona manualmente il sensore sulla superficie del pezzo. Poi si fa scendere la punta con PageDown, fino a circa cinque millimetri dalla superficie del sensore e infine, si preme il pulsante "Calibrate Z".

Premendo "Calibrate Z", l'asse Z viene mosso verso il basso (verso le coordinate negative), fino a che l'utensile, stabilisce un contatto elettrico, con il piastrino di azzeramento.



Questo tipo di sensori non può essere superato (al massimo un decimo di millimetro). Si deve quindi impostare una velocità di ricerca bassa e partire con la punta vicina al sensore, per abbreviare la ricerca.

Per il funzionamento di questo sensore, è necessario che il motore del mandrino e quindi anche l'utensile, siano collegati a massa. Normalmente è così, ma non sarebbe male controllarlo con un tester.

Questo tipo di sensore è "normalmente aperto" e deve essere indirizzato allo Slot 33. [Per i collegamenti vedere gli schemi della prossima pagina.](#)

Sensori di azzeramento dell'asse Zeta usati anche per X, Y, A e B

Un sensore con due pareti verticali potrebbe fare lo "zero pezzo" anche per gli assi X e Y.

Con più sensori (collegati in parallelo allo stesso filo di input) si potrebbero azzerare anche gli assi A e B.

Schemi di collegamento per tutti gli ingressi ON-OFF

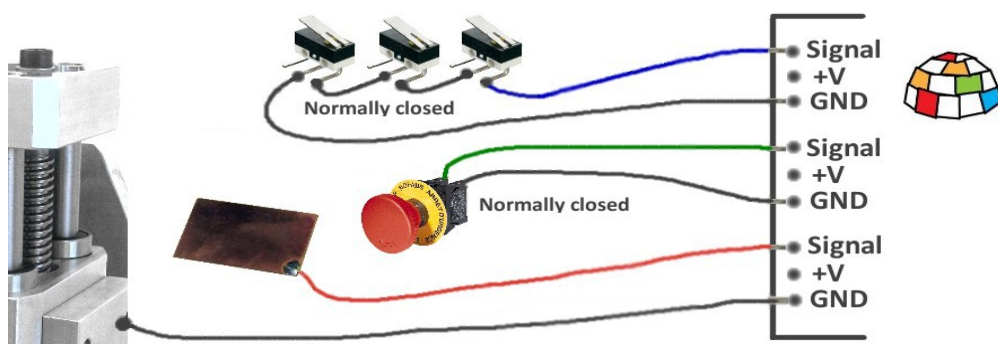
Dalla macchina possono arrivare forti disturbi elettrici e maneggiando il piastrino di azzeramento dell'asse Z, si possono provocare scariche di energia statica. Il Master è protetto e non si rompe mai, ma in rari casi potrebbe accadere, di mandare in errore il collegamento seriale o la USB.

I collegamenti in uscita (ad esempio i segnali per i motori stepper o che comandano foto-acoppiatori o relè) non hanno bisogno di questi accorgimenti, **solo i segnali di ingresso** potrebbero averne bisogno.

Quindi mostreremo due possibilità, un collegamento diretto (per macchine piccole) e un collegamento attraverso resistori, che eliminano ogni problema, anche nei casi più difficili.

Collegamento semplice

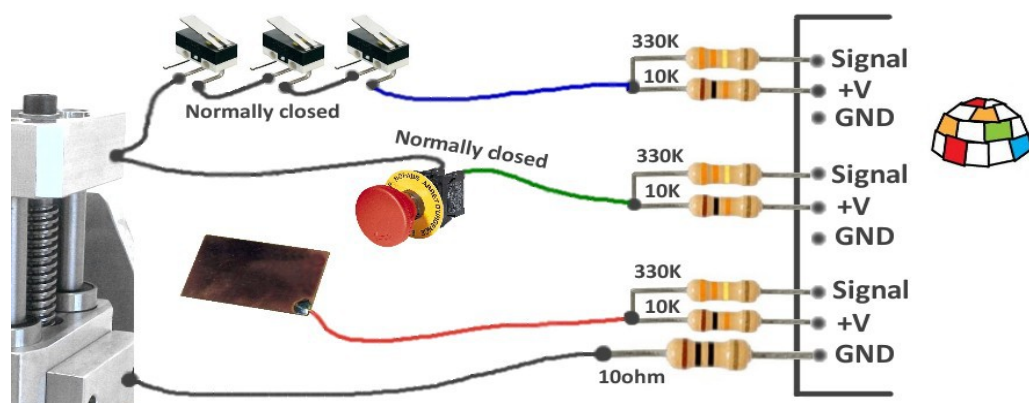
ATTENZIONE: In questo caso i Pin devono essere configurati come "Dig_In_PU" (con pull-up).



I fili provenienti dal pulsante di azzeramento, dalla catena di interruttori di fine corsa e dal piastrino di azzeramento, si collegano direttamente ai SIGNAL dei Pin. Il secondo filo dei pulsanti e della catena di interruttori, deve essere collegato a massa (o al GND dei Pin, oppure alla massa della macchina). La massa della macchina (insieme delle parti meccaniche) va collegata a GND di un Pin (meglio se attraverso un resistore da 10 ohm - 1/2 Watt).

Collegamento a prova di sovratensioni

ATTENZIONE: In questo caso i Pin devono essere configurati come "Dig_In" (senza pull-up).



I fili provenienti dal pulsante di azzeramento, dalla catena di interruttori di fine corsa e dal piastrino di azzeramento, si collegano ai Pin con due resistori: Un resistore da 10K - 1/4Watt, che va al +5Volt e un resistore da 330K - 1/4Watt, che va a SIGNAL (i resistori devono stare vicini ai Pin di input). Il secondo filo dei pulsanti e della catena di interruttori, deve essere collegato a massa (o al GND dei Pin, oppure alla massa della macchina). La massa della macchina (insieme delle parti meccaniche) va collegata a GND di un Pin, attraverso un resistore da 10 ohm - 1/2 Watt (questo resistore limita le correnti, che potrebbero percorrere le masse del Theremino Master e della USB, in caso di forti disturbi, provenienti dallo spunto di grossi motori).

Appendice 10 - Regole per i collegamenti elettrici

Se si usano motori e alimentatori di alta potenza, le alimentazioni e le masse vanno disposte in modo professionale, altrimenti si rischia di far saltare la comunicazione ad ogni spunto dei motori.

Le masse vanno sempre disposte a stella, in modo da fornire percorsi, che non passano attraverso l'elettronica.

Le masse percorse da alte correnti di spunto, o disturbate da potenti alimentatori, non devono mai passare attraverso il Master, la seriale verso gli Slave e USB. Questo non perché le nostre elettroniche siano deboli, ma perché qualunque apparecchio, deve essere cablato con queste regole.

Anche i micro dei costosissimi controller professionali andrebbero in crash, se le masse fossero disposte male, ma naturalmente negli apparecchi professionali i cablaggi sono fatti come si deve.

Un modo facile, che non richiede di pensarci troppo e funziona di sicuro, è mantenere completamente separate masse e alimentazioni degli alimentatori e dei motori, dalle masse e alimentazioni del PC. Quindi nessun collegamento galvanico con il Master, con USB e con il PC. E di conseguenza, comandare tutto quello che NON è alimentato dalla USB, attraverso foto accoppiatori.

Un caso di problemi causati dalla corrente di spunto sulla massa

Nella fresa che abbiamo in laboratorio, i due motori della aspirazione erano pilotati con un mosfet, da un alimentatore a 24 volt in continua. La massa era in comune con il Master e il PC.

Il problema riscontrato era che gli stepper facevano dei passi fantasma quando si accendeva la aspirazione, e non solo! A volte bastava accendere le lampade fluorescenti per vedere i motori fare un passo da soli.

Per lungo tempo abbiamo dato la colpa al controller dei motori passo passo, o a Mach3, prima di scoprire cos'era.

Ora il motore della aspirazione ha un foto-accoppiatore e il suo alimentatore è completamente separato, senza collegamento galvanico con il PC. Con questa soluzione, il problema è stato completamente risolto, e non si perdono più passi.

Appendice 11 - Foto accoppiatori

I foto-accoppiatori non servono, come alcuni pensano, per proteggere il Master o il PC. Il Master è molto robusto e non si rompe mai e il PC è comunque protetto, dal PIC che si trova sul Master. In casi veramente gravi il PIC agisce come fusibile, e lo si cambia con tre euro.

Isolare con accoppiatori serve per evitare i loop di massa, che possono condurre correnti istantanee elevatissime, nei momenti di accensione e spegnimento dei motori e dei relè.

Forti correnti sulla massa, attraversano tutta la catena dalla macchina fino al PC, e si scaricano sulla terra dell'impianto elettrico (meglio quindi usare notebook, senza presa di terra nell'alimentatore).

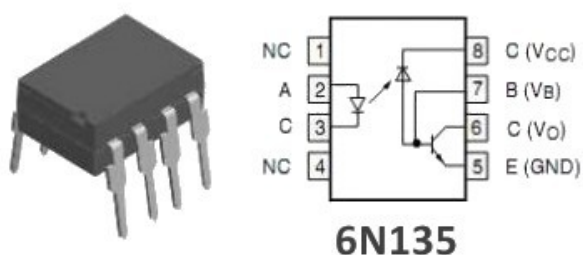
Forti correnti lungo la massa possono far fare passi fantasma agli stepper, e anche provocare errori di comunicazione, o far perdere la comunicazione con il PC. Questa situazione peggiora, quando si parla di motori potenti e si potrebbe trascurare, se invece si tratta solo di pilotare gli stepper.

Una cosa da non fare è andare al motore del mandrino con due fili (segnale e massa) collegati al Master. Meglio collegare la massa del controllo mandrino (il negativo di riferimento) alla massa della macchina e da lì anche alla massa del PC e infine portare il solo filo di segnale, dal Master al controller del mandrino.

E per maggiore sicurezza, sarebbe bene aggiungere un resistore da 10K, lungo il filo del segnale (presupponendo che il controller abbia un ingresso di segnale ad alta impedenza)

Usare foto accoppiatori non può che dare vantaggi, ma lo stampato dei driver diventa molto più grande e costoso. Stiamo pensando di progettare un modulo a parte, con i foto-accoppiatori. In questo modo si potrebbe iniziare senza, e aggiungerli solo se realmente servono.

In effetti si tratta di un modulo, che chiunque saprebbe fare in 10 minuti su un mille-fori, per cui lo rimanderemo un po'...



In tutti i casi si devono usare foto accoppiatori veloci, tipo 6N135 o simili. E tutti i foto-accoppiatori veloci richiedono anche una tensione di alimentazione.

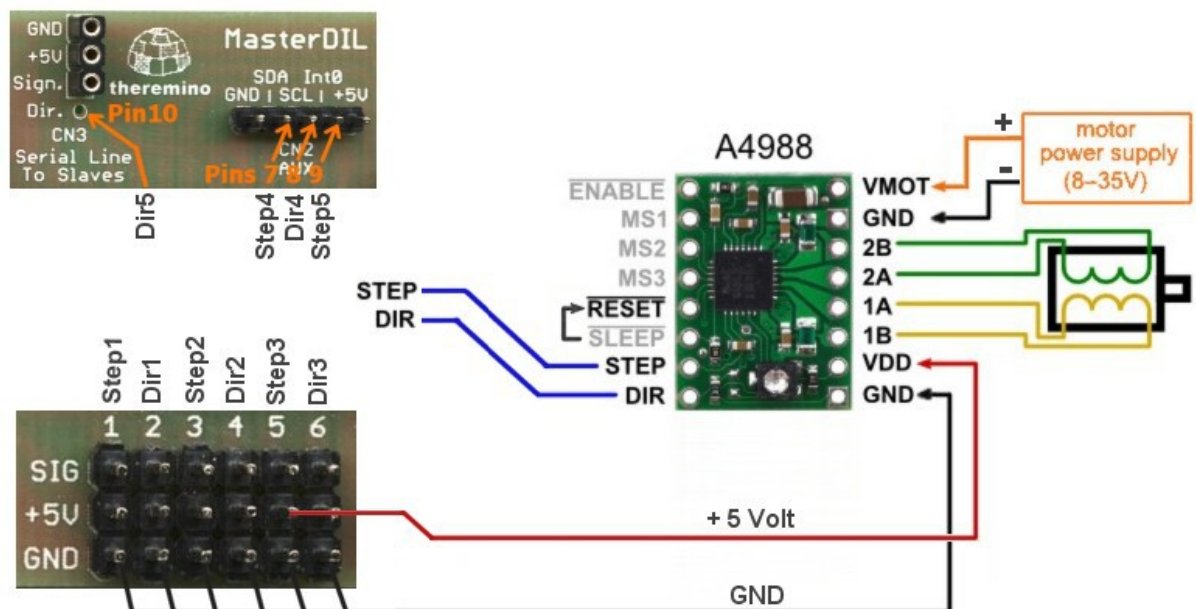
Nel caso dell'adattatore per parallela, non si dispone del 5 Volt dal lato parallela. Quindi non è possibile (o sarebbe molto complesso) aggiungere i foto-accoppiatori.

Nel caso di piccole frese (più o meno tutte quelle hobbistiche) e a patto che il motore spindle sia foto-accoppiato e che il motore della aspirazione sia anche lui foto-accoppiato e che la disposizione delle masse sia ben fatta... allora i foto-accoppiatori degli stepper si possono omettere.

La Proxxon che abbiamo in laboratorio, sta girando da un mese con Theremino CNC e anche il prototipo con quattro motori, su un asse di legno, lavora senza foto accoppiatori. E il Master non ha mai perso la comunicazione (ma naturalmente le masse sono ben curate e a stella).

Appendice 12 - Connettere i driver dei motori

Sul sito Theremino è spiegato [come connettere i Driver](#). Riportiamo qui parte delle informazioni, per comodità di lettura.



Un singolo Theremino Master, può controllare fino a cinque motori. I due fili rosso e nero, che portano “+ 5 Volt” e “GND” al primo driver, possono proseguire e alimentare anche gli altri driver.

Connettere sempre, almeno il filo GND, tra il Master e i driver. Ricordarsi anche di connettere “Reset” con “Sleep” e di collegare un condensatore da 50 o 100 uF tra “VMOT” e “GND”.

Il condensatore deve essere elettrolitico, con il positivo collegato a “+”, e deve essere vicino al modulo driver (massimo qualche centimetro). Se possibile, usare condensatori a bassa resistenza in serie (low ESR). La tensione di lavoro del condensatore, deve essere almeno 5 Volt maggiore, della tensione di alimentatore del motore.

Prima di dare tensione, TUTTO deve essere collegato in modo affidabile. Se si stacca un filo del motore, o un collegamento GND, il driver A4988 si danneggia. Se ruotando il trimmer si fa un corto con il cacciavite, il driver scoppia all’istante. In alcuni casi il suo chip esplode e si mette a fumare. Il Theremino Master dovrebbe resistere anche a queste torture, ma è meglio evitare di metterlo alla prova.

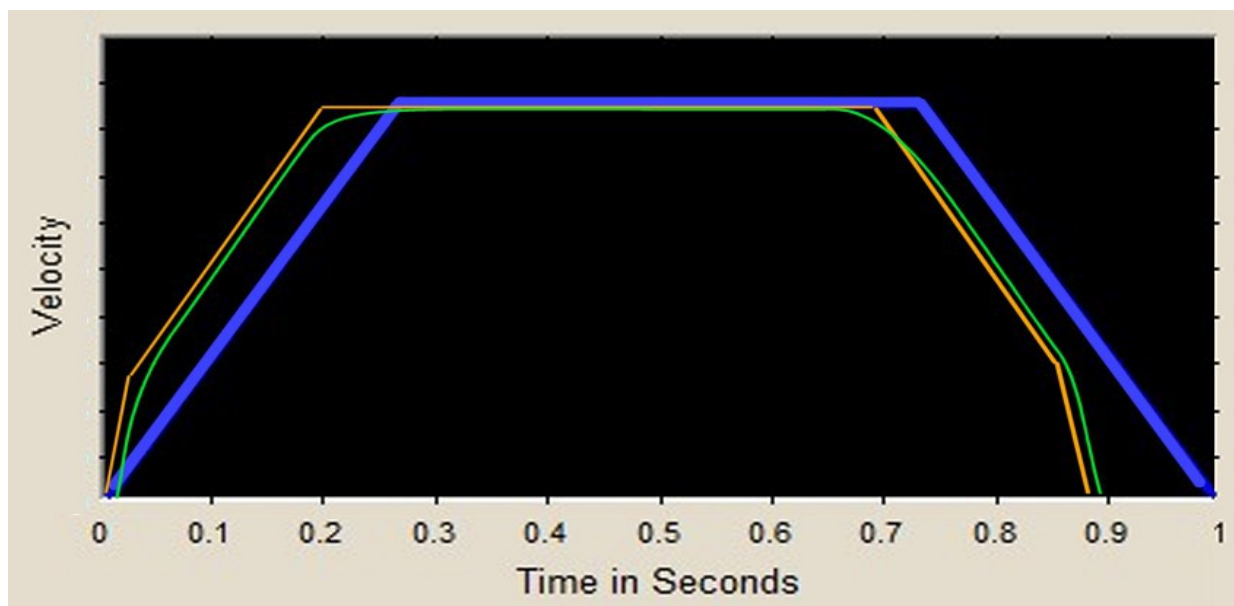
Questo non vuol dire, che i driver siano poco affidabili. Se non si fanno errori, non si rompono mai.

Comunque consigliamo di collegare sempre i driver, con i connettori maschio e femmina, per poterli sostituire facilmente. Si consiglia di comprarne cinque o dieci, per averne un po’ di scorta, e far scendere il prezzo.

Appendice 13 - Il suono degli stepper

I macchinisti esperti si accorgeranno che con Theremino CNC i motori “cantano” in modo leggermente diverso. Si tratta di differenze piccole, che non incidono sulla lavorazione. Ma sono udibili perché l'orecchio è estremamente sensibile, alle piccole differenze di frequenza dei suoni.

Il software di Theremino CNC calcola continuamente nuove destinazioni (centinaia di volte al secondo) e il firmware modifica continuamente la velocità, per raggiungere queste destinazioni. Il risultato è un percorso meno “rigido”. Le accelerazioni sono smussate, non rigidamente “a trapezio” e le velocità sono sempre “in divenire” e asintoticamente tendenti alla velocità finale.



In azzurro - Il controllo motori di un noto CNC, con forma “a trapezio”.

In arancio - Il trapezio modificato, a doppia pendenza, prodotto dal firmware del Theremino Master, permette accelerazioni e frenate più rapide. La modifica consiste in un incremento di accelerazione alle basse velocità. Questa modifica è resa possibile, dal fatto che alle basse velocità i motori stepper hanno più coppia. Per maggiori informazioni su questa tecnica, leggere il capitolo 5 di questa pagina: [Society of Robots - Stepper Motor Control Techniques - Chapter 5 - Beyond Trapezoids](#)

In verde - Il percorso finale prodotto dalla interazione del software di Theremino CNC e del firmware del modulo Master. Si noti che la posizione effettiva è sempre “tendente” alla destinazione, ma in realtà resta indietro di una piccola quantità. In ogni istante i motori vengono mantenuti indietro, esattamente dello spazio di frenata, per avere sempre la certezza di poter frenare in tempo. O meglio: “Per poter garantire che la tolleranza prescritta dall'utente, con il valore MaxError, verrà sempre rispettata, anche in caso di eventi inattesi e stop istantanei”.

Il risultato finale è un movimento più morbido, che provoca meno vibrazioni e risonanze nella macchina. Ma che, nello stesso tempo, permette accelerazioni e frenate più rapide. La precisione della lavorazione aumenta e il tempo di lavorazione diminuisce.

Appendice 14 - Le doppie coordinate

Con il termine “Doppie coordinate” si intendono: “coordinate macchina” e “coordinate pezzo”. Alcuni macchinisti sono talmente abituati a vedere la fresa che va in home all'avvio, che trovano del tutto scontata questa operazione e non si sono mai chiesti, se stanno realmente usando le coordinate macchina.

Noi ci abbiamo pensato a lungo ed è venuto fuori che possono avvantaggiarsi dello zero macchina, solo macchine che fanno produzione (fare lo stesso pezzo tutti i giorni) e che dispongano di caricatore automatico, in grado di posizionare il pezzo, con precisione al centesimo. Ma nessuno di noi collegherà Theremino CNC a macchine del genere, sono macchine da 50 000 euro, ed è meglio lasciarle fare a chi si chiama Fanuc. Anzi prendiamo l'occasione per ricordare che le grandi macchine professionali possono essere pericolose e che necessitano di certificazioni e garanzie legali. **In questo documento ci riferiamo sempre a macchine semplici, senza meccanismi automatici e abbastanza lente, da essere intrinsecamente sicure.**

Per cui in Theremino CNC non esiste uno zero macchina e un secondo sistema di coordinate. E questo semplifica tutto:

Prendiamo come esempio, di lavorare un pezzo a partire da un riferimento, che indica lo zero pezzo:

Con doppie coordinate si fa così:

- Si azzerano le coordinate macchina facendo partire la procedura di azzeramento.
- Si cammina con il JOG fino al punto di riferimento
- Si leggono i numeri indicati, ad esempio X=234.05 Y=137.00 Z=15.05
- Si scrivono i tre numeri X=234.95 Y=137.00 Z=15.05 nel GCODE o in tre caselle del software
- Si preme Start. E dato che la X era 234.05 e non 234.95, si butta via il pezzo

Con coordinate singole:

- Si cammina con il JOG fino al punto di riferimento
- Si azzerano gli assi
- Si preme Start

Prendiamo come esempio, di dover misurare la distanza tra due punti:

Con doppie coordinate si fa così:

- Si va al primo punto
- Si leggono le coordinate (distanze dallo zero macchina)
- Si scrivono le coordinate per non dimenticarle, ad esempio X=234.05 Y=137.00
- Si va al secondo punto
- Si leggono le coordinate (distanze dallo zero macchina), ad esempio X=244.05 Y=157.00
- Si fanno le sottrazioni, asse per asse, con la calcolatrice e si ottiene X=20 mm Y=20 mm

Con coordinate singole:

- Si va al primo punto
- Si azzerà
- Si va al secondo punto
- Si legge il risultato : X=20 mm Y=20 mm

Appendice 15 - Gli azzeramenti

Azzerare Z

Lo zero pezzo in Z si fa con spessimetro, sentendo quando diventa abbastanza duro, questo metodo è precisissimo, meglio che un controllo ottico con telecamera di lato molto ingrandita. La precisione che si ottiene è migliore di un decimo di mm. Ma basta spostarsi di dieci centimetri in X o Y e questo azzeramento verticale non è più sicuro (i pezzi stessi non sono perfettamente planari, i “sacrifice” che si mettono sotto anche loro non sono perfettamente in piano, la fresa stessa non è perfettamente ortogonale, non siamo alla Ferrari o alla NASA, ma nel laboratorio di un hobbista). Per cui lo zero pezzo va fatto ogni volta che si cambia pezzo. Uno zero pezzo fatto lontano dal pezzo, non è valido. E anche il solo stringere, di più o di meno, i fissaggi del pezzo, possono spostarlo, o inclinarlo, in modo significativo.

Un buon metodo per fare l'azzeramento Z, è usare l'automatismo “Calibrate Z with probe”, spiegato nelle istruzioni del pannello “Calibrations”.

Azzerare X e Y

Questo si fa abbastanza bene, con telecamera posta a 45 gradi, molto vicina e molto ingrandita. Un altro buon metodo è guardare da vicino, con oculare che ingrandisce molto (ad esempio l'oculare di un vecchio proiettore 8mm). Si avvicina la punta a un decimo dalla superficie e si centra un punto caratteristico, con il JOG (e il CTRL-JOG di precisione). Poi si fa scendere la punta di due decimi, con CTRL-PageDown, si risale con CTRL-PageUp, e si controlla che la tacca sia centrata.

In molte lavorazioni non è possibile partire da un “grezzo”, di misura leggermente più grande, e poi portarlo alle misure precise. Per cui lo zero va fatto sul pezzo stesso, e non a partire dallo zero macchina.

A cosa serve la precisione Z?

A spellare uno strato di spessore preciso da una superficie. In lavorazioni meccaniche di lappatura su pezzi prelavorati. Nei circuiti stampati, nelle etichette bicolore con strato superficiale sottile e in altre lavorazioni simili. Nei PCB lo strato di rame è sottile e 5 centesimi in più o in meno si vedono benissimo. Se si mangia poco, restano righe di rame dove non dovrebbero restare. Se si mangia troppo, la parte spellata viene troppo scavata, troppo “rugosa” e i bordi vengono brutti e frastagliati. Se si mangia troppo si può anche spaccare la punta dell'utensile. Per fare un buon lavoro, si deve azzerare lo Z a metà pezzo, oppure il “sacrifice” andrebbe portato in piano ogni volta, DOPO averlo fissato, perché anche solo stringere più o meno i fissaggi lo deforma. Impensabile azzerare a 20 centimetri di distanza con micro interruttori meccanici.

A cosa serve la precisione X/Y?

Per ogni operazione da fare su pezzi prelavorati o parzialmente lavorati. Ad esempio forature su un pezzo che è stato formato non con la fresa ma con altri mezzi. Ad esempio fotoincisione o lavorazioni manuali su un contenitore.

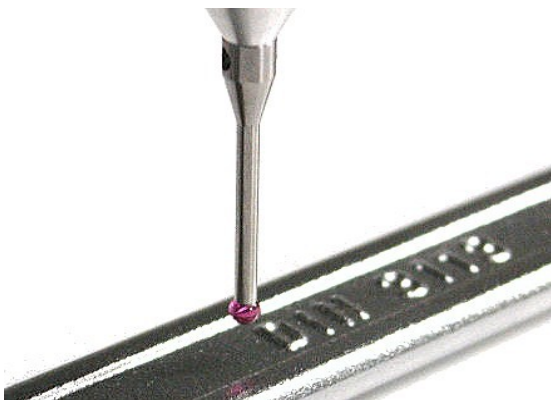
Lo zero X/Y andrebbe rifatto ad ogni clone affiancato in orizzontale e in verticale, sullo stesso quadrotto da lavorare. Questo perché lo zero, fatto in basso a sinistra del primo pezzo, non è abbastanza preciso, per l'ultimo in alto a destra, e i fori verrebbero visibilmente spostati.

Appendice 16 - I tastatori



I tastatori sono belli e attraenti, ma in un CNC servono a poco. Si deve togliere l'utensile e montare il tastatore (e c'è anche un cavetto che finisce sempre in mezzo a dare fastidio). Poi si attende il lentissimo movimento fino a contatto. Infine si toglie il tastatore e si rimonta l'utensile. E non solo ci vuole un mucchio di tempo, ma non si azzerà nemmeno con precisione, perché ogni volta che si stringe il mandrino, sul grosso gambo del tastatore, e poi sull'utensile, le posizioni relative cambiano leggermente. **Gli azzeramenti vanno fatti con utensile montato.**

Usare un tastatore per estrarre il 3D



Ricavare il 3D da un pezzo fisico, non è compito di un CNC, più si aggiungono funzioni al CNC e più diventa complesso, difficile da usare e inaffidabile.

Il 3D si estrae meglio con programmi scritti appositamente per questa funzione. Quando avremo tempo ne scriveremo uno e si chiamerà Theremino Probe3D.

Calibrare l'asse Z con un tastatore

Ci hanno chiesto se il comando "Autocalibrate z with probe" potrebbe essere usato con un tastatore. Questa confusione nasce dalla parola "probe", che in inglese è usata anche per i tastatori. Ma nel comando "Autocalibrate" la parola "probe" sta per "piastrino piatto" non per "tastatore".

Il piastrino piatto, permette di azzerare l'asse zeta, senza smontare e rimontare l'utensile. Per cui l'azzeramento è più veloce e più preciso.

Appendice 17 - Interpolazioni con vettori a 5 dimensioni

Theremino CNC esegue semplicemente il GCode. Se nel GCode è scritto "B30" allora sullo Slot dell'asse B scrive il valore 30. Se poi legge un "B40", lo interpola coordinatamente con gli altri assi fino a 40. Che questi 30 e 40 siano giusti o sbagliati, o che siano gradi, o numero di conigli per metro quadro, non è compito di un CNC saperlo. Non importa se sono millimetri o angoli, basta interpolare tutto in 3, 4 o 5 dimensioni.

In altre parole: l'importante è che le velocità di ogni asse siano calcolate nello spazio multidimensionale, in modo da farli arrivare tutti, nello stesso istante, alla destinazione. Per gli archi (G02 e G03) il problema non esiste, perché il GCode stesso li limita a due dimensioni **(Nota 1)**

Nel software i lavori ben fatti si fanno a strati: CAD - CAM - CNC - HAL. Se uno degli strati inizia a fare il lavoro degli altri, tutta la architettura si scombina.

CAD - Progettazione del pezzo in 3D. Visualizzazione in 3D con ogni facilitazione (annotazioni meccaniche, quotature etc...)

CAM - Trasformazione del 3D in percorso utensile (tenendo conto delle dimensioni degli utensili, delle dimensioni del pezzo da lavorare, delle possibili "interferenze", delle particolarità meccaniche della macchina, compensazione della larghezza dell'utensile, ottimizzazione dei percorsi, velocità di feed, strategie di lavorazione...)

CNC - Pura esecuzione del percorso (nessuna conoscenza di come è fatto l'utensile o il pezzo da lavorare, per cui nessun controllo delle interferenze e nessuna compensazione). Visualizzazione di tipo "wireframe" del percorso a centro utensile (niente superfici di lavorazione).

HAL - Trasformazione da numeri a movimenti hardware, tenendo conto degli step per millimetro etc... (il pannello motori di Mach3 o l'HAL del sistema Theremino)

(Nota 1) Un aspetto importante, di cui tenere conto, è che non si possono usare le interpolazioni circolari G02 e G03, se si vuole davvero lavorare con 3, 4 o 5 assi contemporanei. Le interpolazioni circolari G02 e G03, lavorano sempre su due assi (X/Y, X/Z o Y/Z) e gli altri assi stanno fermi durante la interpolazione (funzionamento indicizzato). Invece i G00 e G01, possono realmente muovere, tutti e cinque gli assi insieme, basta scrivere G01 Xnn Ynn Znn Ann Bnn. E questo era uno dei motivi, per cui volevamo eliminare i G02 e G03 (non tanto per eliminarli in se, ma perché ora dobbiamo spiegare anche questo, complicando un help che è già terribilmente lungo)

Appendice 18 - Il controllo sul controllo

Theremino CNC non controlla le “interferenze”, esegue semplicemente il GCode. Theremino CNC non conosce le dimensioni dell'utensile, le dimensioni del grezzo da lavorare, e la sua posizione sulla macchina.

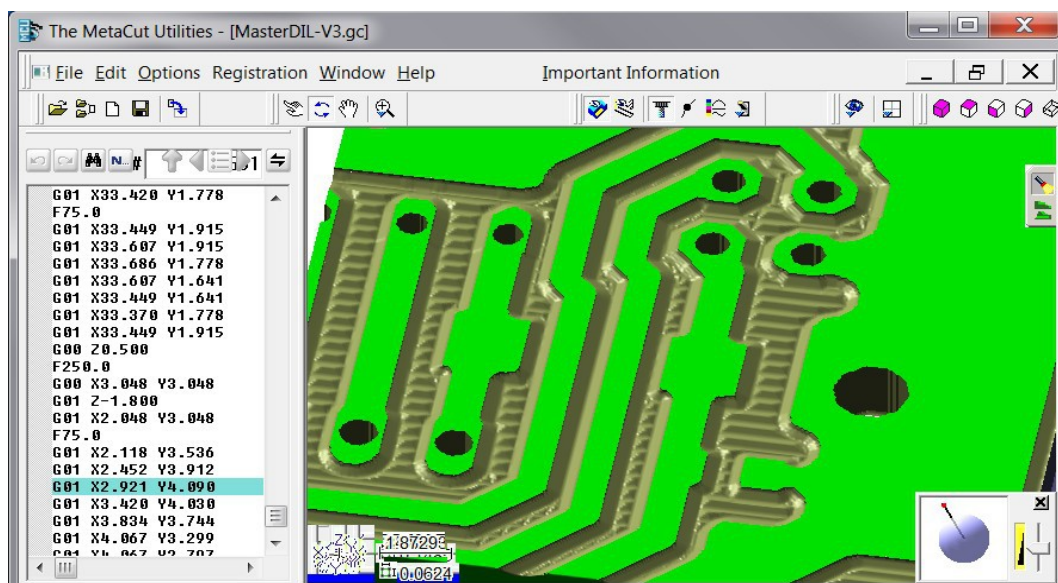
Il GCode deve essere giusto e i controlli devono essere stati fatti prima. Solo il CAM, o meglio il suo post-processor (o meglio ancora il macchinista), possono fare bene questi controlli.

I software CNC non conoscono altro che il percorso del centro dell'utensile. I Gcode non prevedono comandi riguardanti le dimensioni del pezzo da lavorare. Alcuni CNC vengono informati (per vie traverse), del diametro dell'utensile e fanno alcune operazioni, che spetterebbero al CAM (e che solo il CAM può fare bene), ad esempio la compensazione del diametro utensile. E sempre con trucchi (utilizzando i commenti), fanno altre considerazioni, per mostrare le interferenze con il grezzo, con i fissaggi del pezzo e con l'area di lavoro.

Con la nostra impostazione, queste operazioni si fanno nel CAD o nel CAM. Per qualcuno Theremino CNC potrebbe non andare bene. Ma per gli amanti della semplicità (come noi), questa impostazione minimizza e velocizza le impostazioni da eseguire (non si devono impostare le dimensioni degli utensili, del piano di lavoro, dei fissaggi, dei fine corsa etc...)

In altre parole niente controllori che controllano chi controlla, tutto è semplicemente manuale, ci si fa l'abitudine e si lavora benissimo.

Controllare la lavorazione e le interferenze



Per controllare la lavorazione in 3D, visualizzare il taglio effettivo causato dall'utensile, e controllare le interferenze e gli errori, non si usa un CNC, ma applicazioni scritte appositamente.

Tra le applicazioni migliori citiamo MetaCut: <http://www.nwdesigns.com/MachinistStart.html>

Alcune versioni dovrebbero essere gratuite: <http://www.nwdesigns.com/Content/MiscDownloads.htm>

Stiamo preparando Theremino_GCodeViewer (che lavora in 3D con DirectX), ma non si sa quando avremo il tempo di finirlo. In fondo Metacut funziona molto bene ed è abbastanza economico, quindi non c'è un grande vantaggio, nel lavorare mesi per sostituirlo.

Appendice 19 - Funzionamento asincrono

Theremino CNC, come tutte le applicazioni del sistema Theremino, si basa su comunicazioni totalmente asincrone. Per i particolari leggere qui: <http://www.theremino.com/contacts/the-theremino-mission>

Nel caso specifico del CNC, si possono individuare cinque strati indipendenti, volutamente NON sincroni tra di loro:

- La applicazione Theremino CNC invia i valori degli assi, agli Slot, ogni 5 millisecondi.
- La applicazione HAL legge gli Slot, trasforma i dati in formato hardware (Hardware Abstraction) e li invia attraverso il sistema USB. Questo processo non è sincrono con Theremino CNC, e avviene ogni uno o due millisecondi circa.
- I valori numerici degli assi vengono letti dal firmware, ad ogni scambio USB (uno o due millisecondi)
- Il firmware, in base alla destinazione continuamente variabile, ricalcola i parametri di spostamento, esattamente una volta ogni millisecondo, con precisione quarzata. Per calcolare con precisione accelerazioni e velocità, questi calcoli sono in un gestore di interrupt e sono quindi asincroni, sia rispetto alla USB, che a Theremino CNC, che agli STEP dei motori.
- Appositi moduli PWM hardware producono gli STEP per i motori, con sbandamenti inferiori ai 20 nano secondi (in base al clock quarzato a 48 MHz). Pertanto anche questo strato ha un funzionamento del tutto indipendente e asincrono, rispetto agli strati precedenti.

Un futuro utilizzatore di Theremino CNC ci ha chiesto se è possibile, modificare il sistema per un funzionamento totalmente sincrono, dal software fino ai motori. Prima pensava di modificare lui stesso le nostre applicazioni, poi ci ha proposto donazioni per farlo noi.

Molti, come lui, si sentono più a loro agio con sistemi totalmente deterministici e considerano inferiori, per non dire “del tutto sbagliati”, i nostri principi di funzionamento.

<http://www.theremino.com/contacts/the-theremino-mission#precision>

Non vogliamo fare una discussione su questo. Solo spiegare che, pur volendolo, sarebbe impossibile trasformare il sistema Theremino, in un sistema sincrono. Per farlo si dovrebbe riprogettare l'intero sistema, un nuovo protocollo di comunicazione con l'hardware, il firmware dei moduli Master e Slave, buona parte dell'HAL (che è davvero grosso) e tutto l'Input Output di Theremino CNC. Infine, non si potrebbero più usare gli Slot, come li intendiamo ora, perché gli Slot non prevedono comandi, ma solo valori numerici, e nessun meccanismo di sincronizzazione.

Un lavoro del genere, potrebbe richiedere anni, a noi che conosciamo bene il sistema (così come abbiamo impiegato anni, per progettarlo come è ora) e comunque non siamo intenzionati a farlo, perché andrebbe esattamente nella direzione opposta, rispetto alla nostra visione, sul futuro dell'Input-Output:

<http://www.theremino.com/contacts/the-theremino-mission#inout>

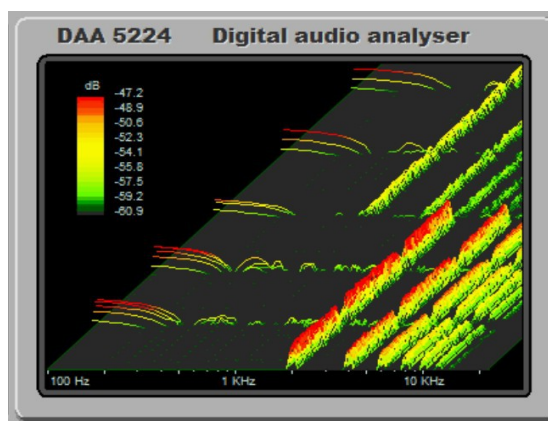
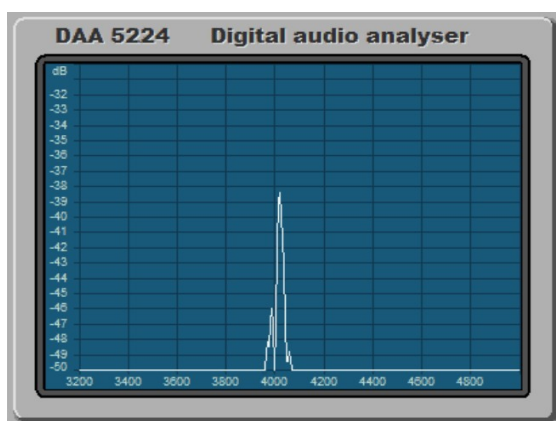
Riguardo alle donazioni, ricordiamo che il nostro lavoro è totalmente No Profit e che non possiamo fare favoritismi di nessun genere. Cioè le donazioni devono essere totalmente slegate dalla nostro lavoro. Altrimenti non si chiamerebbero più “donazioni” ma “compensi”, e avremmo problemi con il fisco. Per approfondire questo argomento leggere qui:

<http://www.theremino.com/contacts/copyrights#donations>

Appendice 20 - Precisione della velocità di avanzamento

Il firmware del Master, temporizza gli step dei motori, con altissima precisione (*variazioni minori di 20 ns*) e assicura, che le variazioni tra un impulso e il seguente, non superino mai la accelerazione specificata. Questo garantisce che i motori non perdano mai passi.

Ma, dato che la temporizzazione degli avanzamenti, viene fatta in tempo reale, da una applicazione sul PC, alcuni utenti hanno espresso preoccupazioni, sulla precisione e stabilità della velocità. Il ragionamento che fanno è che quando il PC è indaffarato va più piano. Ma imponendo allo scheduler di Windows una granularità di 1 ms e con un Thread in Real-Time, abbiamo ottenuto una notevole stabilità e precisione che (secondo noi) è più che sufficiente per ogni tipo di lavorazione. Nelle ultime versioni di Theremino CNC (dalla 3.31 in poi), abbiamo anche aggiunto un algoritmo stabilizzatore, che ha migliorato notevolmente la precisione.



Risultati dei test senza stabilizzatore - Precisione della velocità: 3 % - Wow e Flutter: +/- 1.5 %

Risultati dei test con stabilizzatore ultime versione, dalla 3.31 in poi - Precisione della velocità: 0.5 % - Wow e Flutter: +/- 0.2 %

Download dei video di test

http://www.theremino.com/files/ThereminoCNC_V3.31_Without_Stabilizer.avi

http://www.theremino.com/files/ThereminoCNC_V3.31_With_Stabilizer.avi

Per chi volesse ripetere le misure, i seguenti ZIP comprendono anche i file di test e configurazione.

http://www.theremino.com/files/ThereminoCNC_SpeedSpectrums.zip

http://www.theremino.com/files/ThereminoCNC_SpeedSpectrums_Stabilized.zip

Condizioni di misura

I test sono stati fatti con le CPU sotto carico (due CPU da 3 Ghz a oltre il 50%). Questo era dovuto alla esecuzione contemporanea del CNC, dell'analizzatore di spettro DAA, e del programma CamStudio per la cattura del video. **Senza DAA e CamStudio, i segnali erano udibilmente più stabili. Questo rappresenta un margine di sicurezza, per le caratteristiche dichiarate.**

Configurazione dei parametri

```
Max Speed (hal)    = 900
Max Acc (hal)      = 50
Steps per mm (hal) = 400
Feed (cnc)         = 100 / 300 / 700
```

Commenti

Con lo stabilizzatore Wow e Flutter sono ridotti a livelli non udibili. Se si impostano accelerazioni basse (per macchine grandi e pesanti) i valori di Wow e Flutter scendono anche sotto allo 0.1%. Sono ottimi risultati, validi per qualunque tipo di lavorazione.

Principio di funzionamento dello stabilizzatore di velocità

- Anche usando un Thread in Real Time, quando lo scheduler di Windows è sovraccarico, ritarda le chiamate.
- Nei momenti peggiori il tempo di loop aumenta di alcuni millisecondi, e non è possibile stabilizzarlo.
- Non essendo possibile stabilizzarlo lo si misura, e si compensa, variando la lunghezza dei micro-segmenti dell'interpolatore.
- In questo modo si stabilizza la velocità "di trazione", che si esercita sul firmware..

Anche senza questa correzione le lavorazioni verrebbero ugualmente bene. Ma eliminare l'effetto "miagolante" è importante perché potrebbe dare una brutta impressione.

Appendice 21 - Generare GCode per Theremino CNC

Con un progetto CAD - CAM

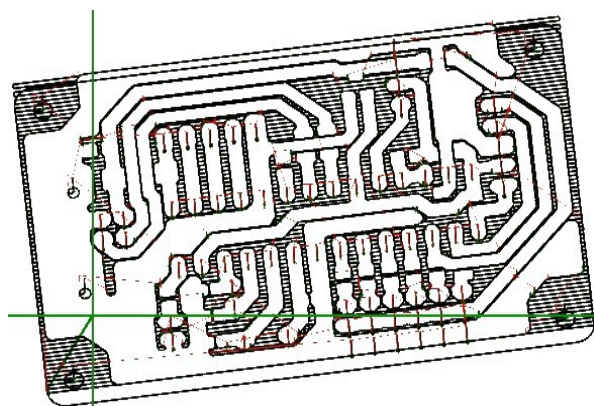
Sarebbe bene creare un nuovo post-processor nel CAM, chiamarlo Theremino CNC, e impostarlo per fargli emettere i codici giusti.

Impostazioni principali da controllare nel post-processor del CAM

- Usare i millimetri (Metric mode)
- Usare coordinate assolute (Absolute mode)
- Usare solo i codici G ed M listati nella tabella “Codici implementati”
- G02 e G03 sono implementati, ma noi consigliamo di non usarli (leggere la pagina relativa)

In caso di dubbi, basta fare Load del Gcode, per verificare se contiene codici non validi.

Con un progetto su Eagle o altri editor di circuiti stampati



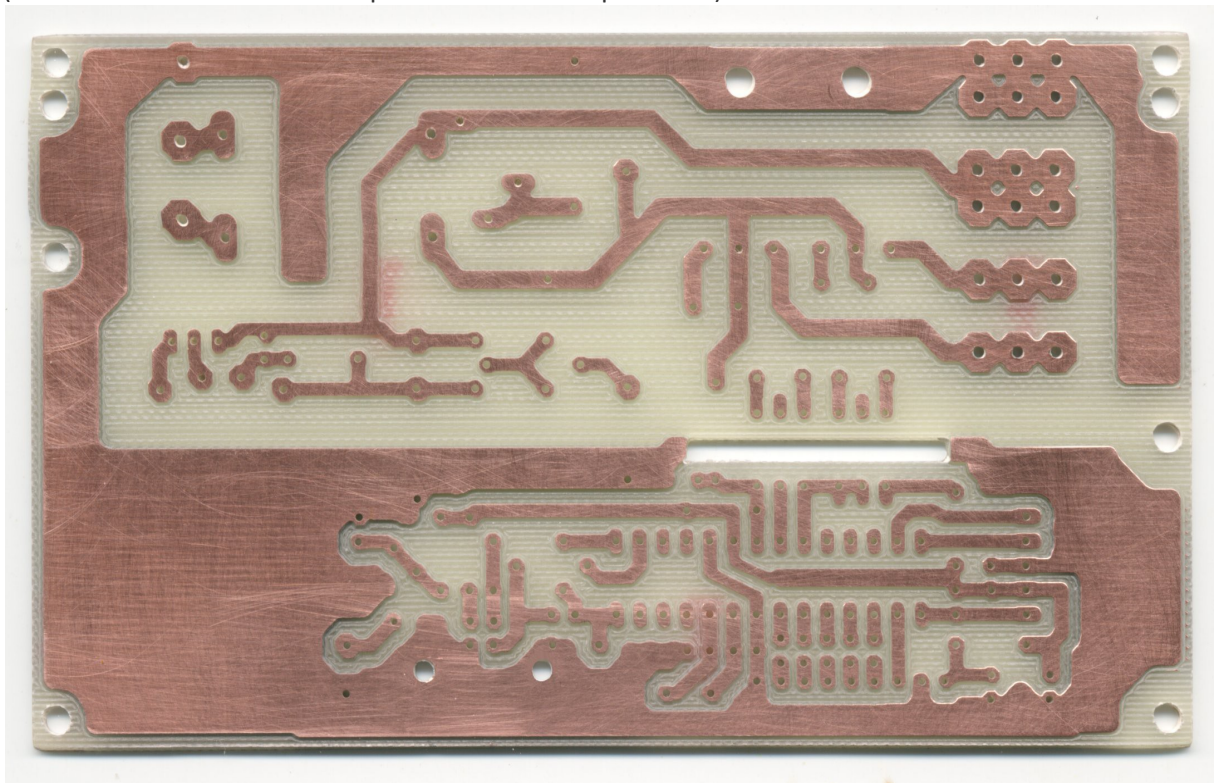
Per i PCB consigliamo di usare Eagle, con le librerie fatte da noi, e con il nostro postprocessor “FastGcode”, che non è propriamente un postprocessor, ma un ULP (User Language Program).

FastGcode crea GCode ottimizzati (minimizza gli spostamenti) e ha creato tutti i gli esempi di PCB, che si trovano tra gli esempi di Theremino CNC.

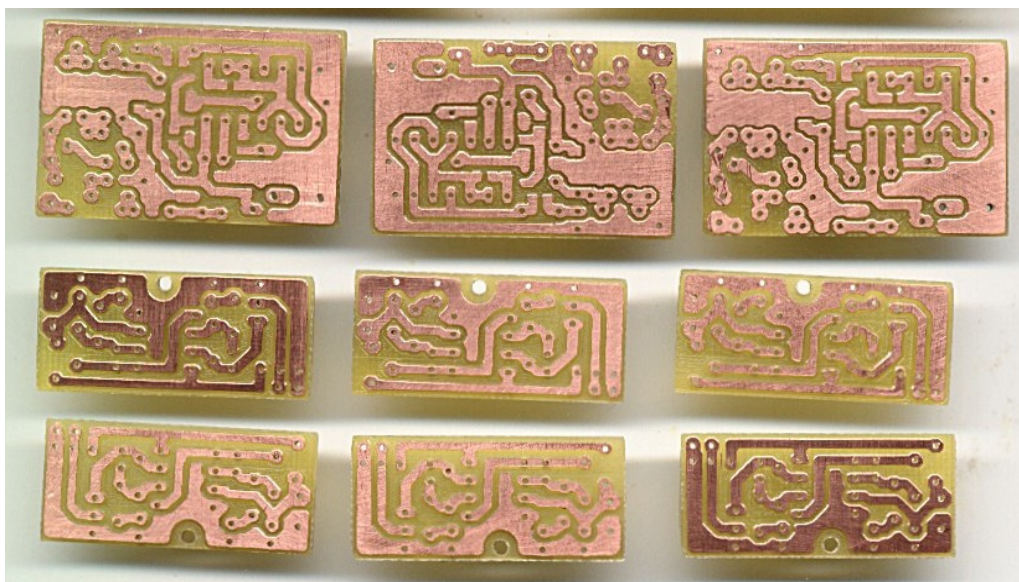
<http://www.theremino.com/downloads/uncategorized#eagle>

Appendice 22 - PCB prodotti da Eagle e Fast Gcode

Il circuito viene fuori finito in un colpo solo, con il taglio esterno e le forature, tutto senza cambiare utensile (normalmente si usa una fresa proxxon da 0.8 con punta a V)



Esempio di PCB complesso, con fori grandi e piccoli, fatto in mezz'ora, già tagliato e forato. Tutto in una sola lavorazione, senza cambiare utensile.



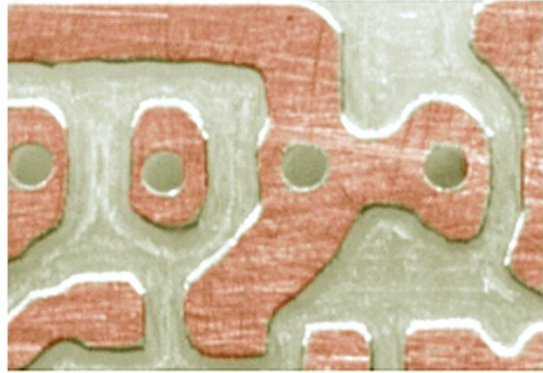
Altri esempi di PCB piccoli, fatti in 5 minuti. Sono esempi vecchi, fatti con il CNC che usavamo prima. Ora, con Theremino CNC, vengono anche meglio, come si vede nella prossima pagina:

ATTENZIONE

Qui non cerchiamo di dimostrare che Theremino CNC sia superiore ad altri CNC.
Ci basta dimostrare che non è peggiore. E molti lo penserebbero se non ci fosse questa pagina.



A well known, parallel port, CNC



Theremino CNC

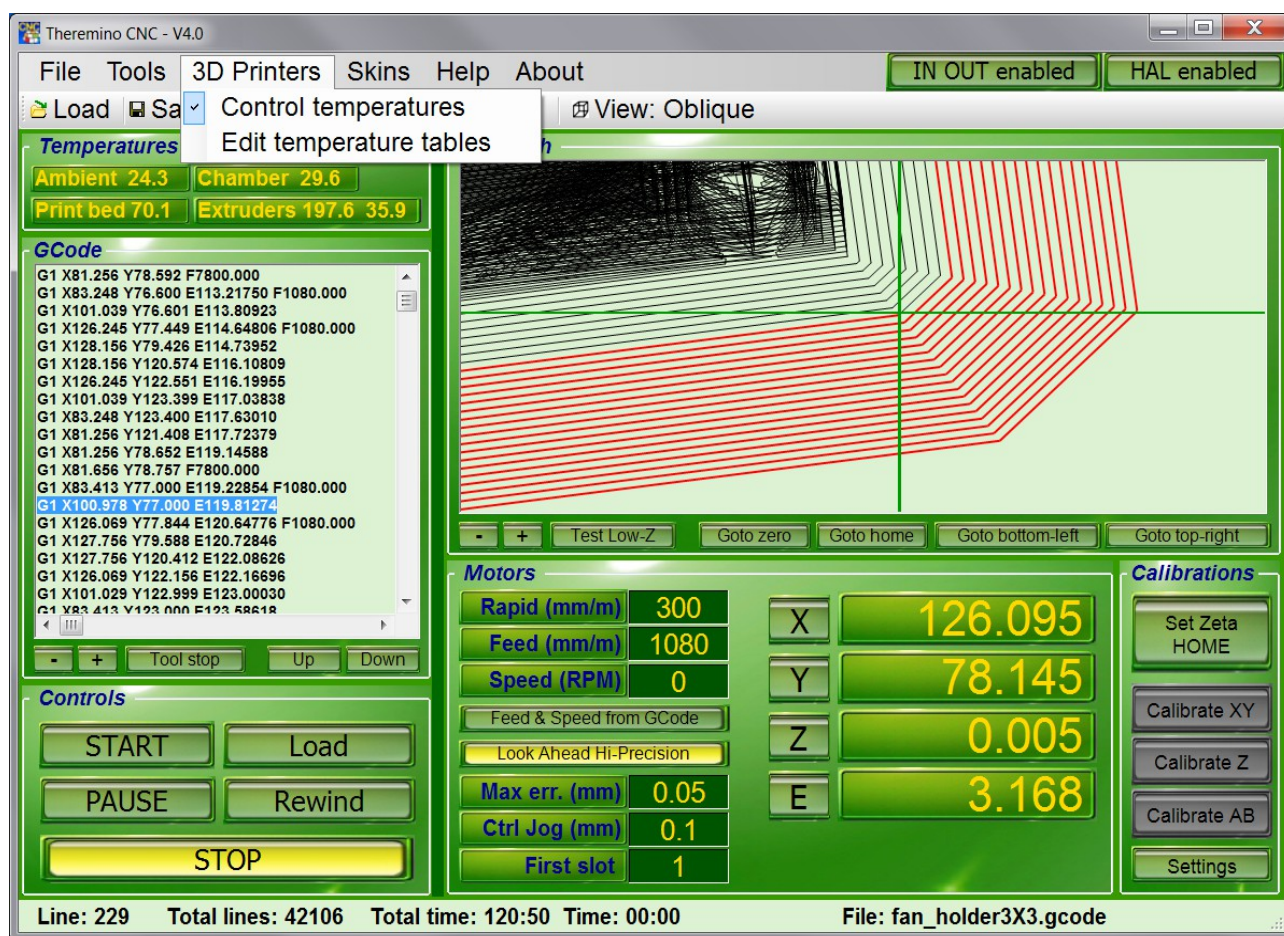
Immagine molto ingrandita di un PCB, lavorato con un noto CNC (a sinistra) e con Theremino CNC (a destra)

- Stessa macchina (Proxxon MF70)
- Stessi controller, stessi motori e niente microstep
- Stesso GCode
- Stessa velocità di lavorazione
- Stessa velocità di rotazione del mandrino
- Stesso notebook come Host
- Stesso utensile (una fresa Proxxon da 0.8 mm)

Per la verità, questo miglioramento non è tutto merito di Theremino CNC. Ma in gran parte è dovuto alla stabilità dei segnali, prodotti dal Theremino Master. Inoltre la Proxxon non ha cuscinetti lineari, ma guide a coda di rondine, che hanno molto gioco, e sono sensibili alle vibrazioni. E le vibrazioni erano forti, perché i motori lavoravano senza microstep.

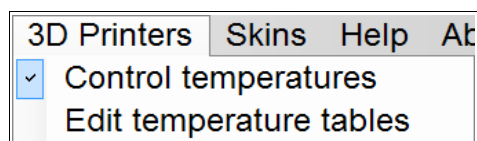
Sarebbe bastato usare dei controller con microstep, per ridurre di molto i difetti visibili. Ma lavorare nelle condizioni più difficili, è stata una buona dimostrazione, della precisione di Theremino CNC e del Theremino Master.

Appendice 23 - Stampanti 3D

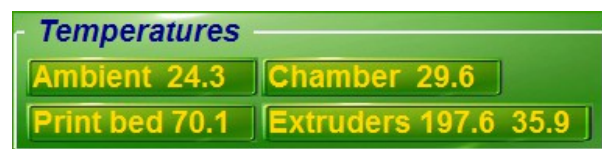


Controllare una stampante 3D è molto simile a controllare una fresa. Per le stampanti 3D si usano alcuni codici “G” e “M” specifici (listati nella [Appendice 4](#)), alcuni Slot di InOut specifici (listati nella [Appendice 9](#)) e l'asse speciale “E” (estrusore - spiegato nel pannello “Motori” della sezione [Controlli e Calibrazioni](#)).

Una stampante 3D richiede anche il controllo di alcune temperature.



Il sistema di controllo delle temperature si abilita con l'apposito menu.

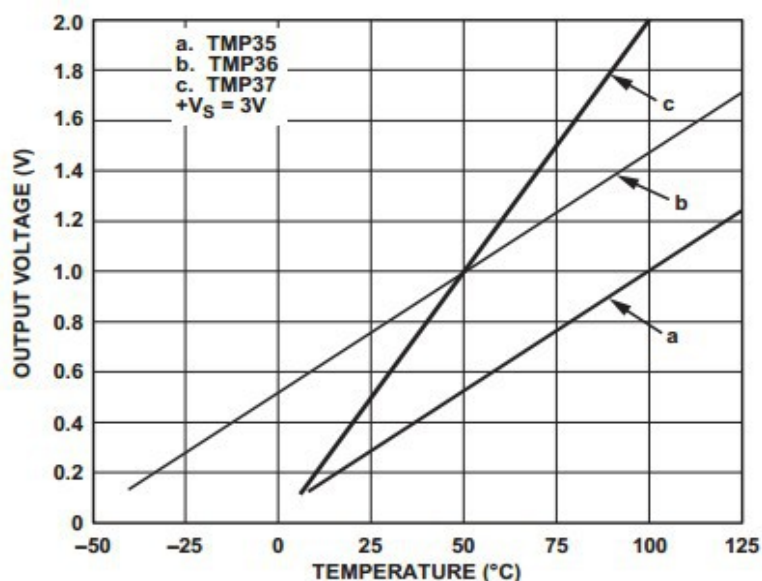
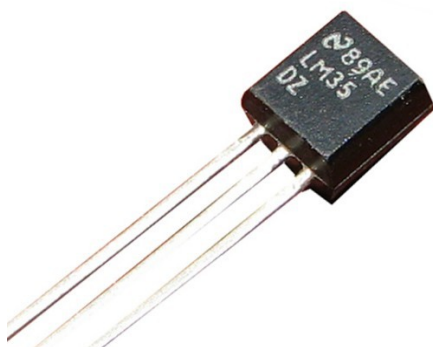


Il pannello “temperatures” è visibile, quando il sistema il controllo delle temperature è abilitato.

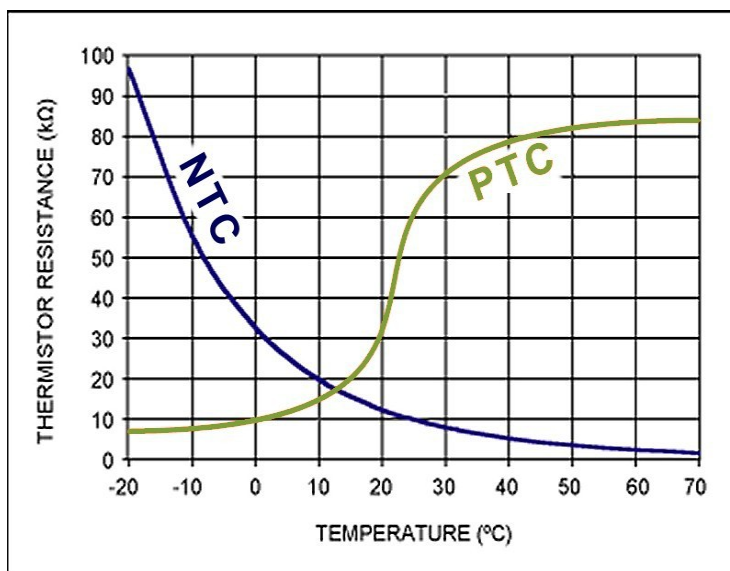
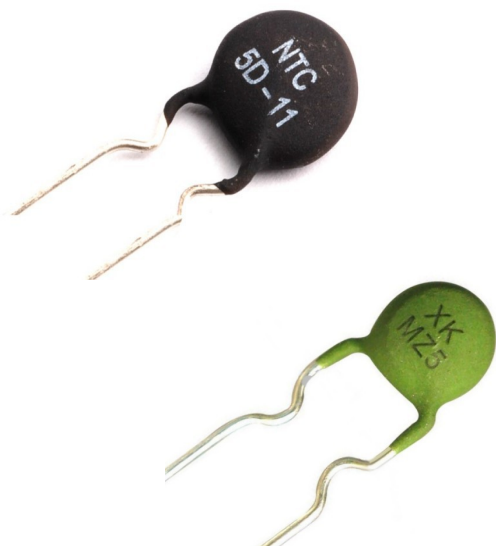
Questo pannello mostra le temperature misurate dai sensori e interpretate dalle tabelle del file “Temperature tables”. A seconda di come vengono scritte le tabelle, le temperature possono essere in gradi Celsius o Fahrenheit. Pur avendo nomi specifici per le stampanti 3D, questi sono controlli termostatici generici, usabili anche per macchine diverse (ad esempio per il taglio del polistirolo).

Appendice 24 - Sensori per le temperature

Per le temperature basse (fino a circa 100 gradi Celsius) si possono usare i circuiti integrati AD592, LM35, TMP36 o 501F. Questi sensori sono molto lineari. In questa pagina si possono trovare le loro caratteristiche e altre spiegazioni: <http://www.theremino.com/hardware/inputs/meteorology-sensors#ambient>



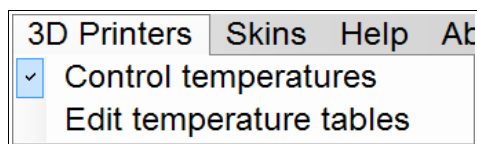
Invece per le alte temperature (fino a circa 250 gradi Celsius) si usano i “Termistori” (resistenze che cambiano di valore variando la temperatura). I Termistori si dividono in due categorie NTC ad PTC, a seconda che la resistenza diminuisca, o aumenti, aumentando la temperatura. Come collegare i termistori è spiegato in questa pagina (nella pagina si parla dei PT1000 ma sono considerazioni valide per tutti i termistori) <http://www.thereмино.com/hardware/inputs/meteorology-sensors#pt1000>



A seconda del sensore usato e di come è connesso, il valore grezzo che si misura può essere più o meno lineare.

Appendice 25 - Tabelle per le temperature

Per trasformare i valori grezzi in temperature si usano le: "Temperature Tables"



Per i sensori lineari basta una tabella con due valori ben distanti (ad esempio 20 gradi e 90 gradi), per i PTC e gli NTC si devono fornire tabelle più lunghe. In genere sono sufficienti una decina di valori, ma potrebbero bastarne anche meno, se li si concentra nel campo di temperature di normale uso.

Le tabelle si creano manualmente misurando coppie di valori:

- Il primo valore è la lettura grezza dell'ADC (il valore da 0 a 1000 che si legge nella applicazione HAL)
- Il secondo valore è la temperatura del sensore (da rilevare con un termometro)

ATTENZIONE: I numeri grezzi, della prima colonna devono essere in ordine crescente. Invece i valori di temperatura, della seconda colonna, non hanno vincoli.

Sintassi del file delle tabelle - Ogni tabella inizia con la parola chiave: "Sensor". Le linee vuote o contenenti solo spazi e tabulazioni, o che iniziano con un carattere di commento ('), sono inutilizzate. I caratteri, minuscoli o maiuscoli, sono considerati uguali. I numeri possono essere interi o con decimali. Il separatore decimale può essere sia il punto che la virgola.

Nomi dei sensori - All'inizio di ogni tabella, dopo alla parola chiave "Sensor", si scrive uno dei cinque nomi predefiniti: "TempAmbient" - "TempChamber" - "TempPrintBed" - "TempExtruder1" - "TempExtruder2"

Disattivazione di un sensore - Se una tabella non è definita, o vuota, o contiene meno di due righe, allora il relativo sensore è disabilitato. Il controllo di temperatura non viene effettuato per quel sensore. Il suo Slot di uscita non viene modificato e il valore di temperatura viene mostrato con tre trattini "---".

DefaultTemp - Questa è la temperatura da usare come "default", quando la macchina si avvia e il GCode non è in esecuzione o non specifica una temperatura. La linea "DefaultTemp" deve trovarsi dopo la riga "Sensor". La parola chiave "DefaultTemp" deve essere seguita da un numero da 0 a 999.

PidGain - Questo è il guadagno del circuito di regolazione della temperatura. La parola chiave "PidGain" deve trovarsi dopo la riga "Sensor" e deve essere seguita da un numero. Se si utilizzano regolatori di temperatura ON-OFF (Pin di uscita di tipo DigOut), si imposta un numero alto (ad esempio diecimila). Se si utilizzano regolatori proporzionali (Pin di uscita di tipo PWM), i valori usuali sono da 100 a 1000. Con i regolatori proporzionali un guadagno troppo alto potrebbe provocare oscillazioni. Mentre un guadagno troppo basso, potrebbe stabilizzare con poca precisione.

Come raccogliere i valori della tabella - Verificare i sensori a due o più diverse temperature. Meglio se le temperature sono lontane tra loro, ad esempio 20 e 80 gradi. Ogni riga deve contenere il valore grezzo, letto dall'HAL (in ordine crescente), e la relativa temperatura.

Quante righe ogni tabella? - Il minimo numero di righe è due. Il massimo non ha limiti, ma normalmente non conviene superare qualche decina di righe. Due righe sono sufficienti per i sensori lineari. Con più righe è possibile linearizzare qualsiasi tipo di sensore.

Interpolazione - Le temperature intermedie, tra due valori, sono interpolate linearmente. Le temperature al di fuori dei margini sono estrapolate linearmente.

Esempi di tabelle per le temperature

I valori dei seguenti esempi sono stati calcolati partendo dalle caratteristiche teoriche dei sensori. La precisione dovrebbe essere entro qualche frazione di grado. Per ottenere una taratura più precisa, si dovranno ritoccare leggermente i valori.

Questo è un esempio di tabella completa, che legge la temperatura dell'aria interna alla camera. I valori di temperatura sono calcolati per un sensore LM35.

```
'=====
Sensor TempChamber
DefaultTemp 20
PidGain 100
'=====
'HAL_Value  Temperature
'-----
0           0
455         150
```

Valori calcolati per un sensore LM35, alimentato a 5 Volt.

```
'HAL_Value  Temperature
'-----
0           0
455         150
```

Valori calcolati per un sensore TMP36, alimentato a 5 Volt.

```
'HAL_Value  Temperature
'-----
15          -50
530         125
```

Valori calcolati per un sensore 501F, alimentato a 5 Volt.

```
'HAL_Value  Temperature
'-----
43.3        0
303         60
```

Valori calcolati per un sensore AD592, alimentato a 5 Volt, e con resistore da 8.2k tra uscita e massa.

```
'HAL_Value  Temperature
'-----
678.4       0
939.3       125
```

L'esempio seguente è stato ricavato da un termistore NTC, collegato con un resistore al 3.3 Volt.

Per i termistori non è possibile usare questi valori, ma si dovranno scrivere tabelle specifiche, per ogni singolo sensore. Notare che i valori della colonna di sinistra **devono sempre essere crescenti**.

```
'HAL_Value  Temperature
'-----
87          250
122         200
176         150
312         100
560         50
```

Appendice 26 - Compensatore basse accelerazioni

Normalmente si regola la accelerazione dei motori “stepper” (parametro Acc.max, nella applicazione HAL), a **circa un decimo della velocità massima** (parametro Vel.max, sempre nell'HAL). In queste condizioni il tempo di accelerazione è trascurabile e ha minimi effetti sul percorso dell'utensile.

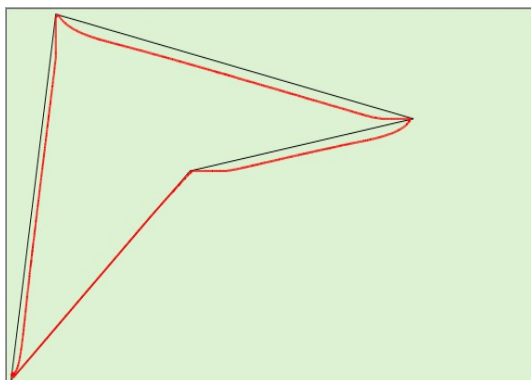
Ma le macchine con motori piccoli e carrelli pesanti necessitano di accelerazioni molto basse, a volte anche meno di un centesimo della velocità massima. In questi casi Il tempo di esecuzione si allunga, rispetto a quello calcolato e indicato nella barra di stato della applicazione, inoltre il motore che deve fare più strada arriva in ritardo e il percorso dell'utensile differisce da quello ideale. I movimenti spezzati in piccoli segmenti e i movimenti orizzontali, verticali e a 45 gradi non risentono di questo difetto. Ma in alcuni casi, con pendenze intermedie, gli errori possono anche arrivare ad alcuni millimetri.



In questa immagine e nelle seguenti si vedono gli errori di percorso sul “Test_LowAccCorrector.gc”, impostando una accelerazione molto bassa, Acc.max = 5 e Vel.max = 700.

In queste condizioni gli errori (distanza tra la linea rossa e quella nera) sono di circa un millimetro e in alcuni punti lo superano.

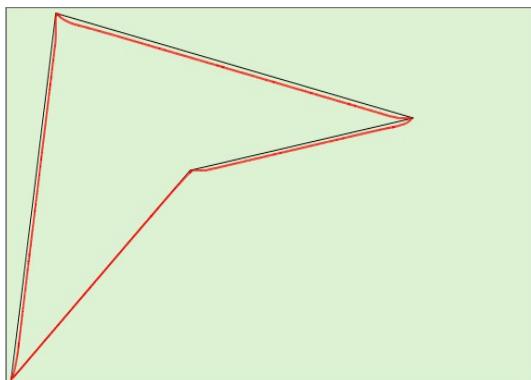
Il tempo di esecuzione è di 8 secondi, in gran parte causati dalla bassa accelerazione dei motori.



In questa seconda immagine si vede l'effetto della opzione “Compensate acceleration effects”.

Gli errori sono limitati a tre decimi di millimetro, impostando “Max err. (mm) = 0.3”.

Con questa precisione il tempo di esecuzione aumenta leggermente e passa da otto a nove secondi.



In questa immagine si vede l'effetto della opzione “Compensate acceleration effects” con errori limitati a un decimo di millimetro, con “Max err. (mm) = 0.1”.

In questo caso il tempo di esecuzione è aumentato da otto a dodici secondi.

Riducendo ulteriormente il parametro “Max err. (mm)” si ottiene maggiore precisione a spese di un tempo progressivamente maggiore. Con cinque centesimi il tempo sale a 14 secondi e con tre centesimi a 17 secondi.

Si consiglia di fare prove “a vuoto” e di non esagerare con la precisione per non aumentare troppo i tempi.

Usando “Look ahead” con bassi valori di “Max err” e con una velocità di avanzamento ottimale, questa compensazione non è necessaria. Abilitarla quindi solo come una soluzione rapida e brutale.