



**FABLAB
IMPERIA**

MANUALE FRESATRICE CNC a 3 ASSI

SOMMARIO

[Introduzione](#)

[Cos'è una fresatrice CNC](#)

[In generale](#)

[L'hardware](#)

[Il software](#)

[La Fresatrice Aero CNC](#)

[Cosa può fare una fresatrice CNC a 3 assi](#)

[Limiti della fresatrice](#)

[La Sicurezza](#)

[Lavorare con una fresatrice CNC](#)

[Disegnare il progetto](#)

[Impostare i parametri nel CAM](#)

[Tipo di lavorazione:](#)

[Profilature \(o tagli\) e svuotamenti \(o tasche\)](#)

[Forature](#)

[Sgrossature](#)

[Finiture](#)

[Incisioni](#)

[V-Carve](#)

[Bassorilievi \(o 3D\)](#)

[Tipi di frese:](#)

[Parametri di lavorazione](#)

[Un occhio all'efficienza](#)

[Calcolo del truciolo](#)

[Strategie di fresatura](#)

[Lo spazio di lavoro](#)

[Il sistema di riferimento](#)

[Il piano, gli assi X e Y](#)

[L'asse Z](#)

[Lo "zero pezzo"](#)

[La "Z di sicurezza"](#)

[Problemi comuni](#)

[Perdita dei riferimenti](#)

["Zero pezzo" irregolare](#)

[L'area fisica di lavoro](#)

[Gli ostacoli](#)

[Ingombro delle staffe di fissaggio del pezzo](#)

[Il piano "martire"](#)

[Workflow e casi particolari](#)

[Flusso di lavoro tipico](#)

[Fresare un circuito stampato \(PCB\)](#)

[Raccomandazioni](#)

[Qualcosa andrà storto. Speriamo per il meglio, ma prepariamoci al peggio](#)

[Appendici](#)

[Appendice1 - Il Mandrino](#)

[Appendice2 - La meccanica](#)

[Appendice3 - I motori passo-passo](#)

[Il principio di funzionamento \(da wikipedia\)](#)

[Appendice4 - Il G-Code](#)

[Appendice 5](#)

[Appendice 6 - Parametri di lavorazione suggeriti](#)

[Appendice 6 - Checklist per operazioni particolari](#)

[Processo di creazione PCB con la fresatrice Aero CNC \(da rivedere\)](#)

Introduzione

Cos'è una fresatrice CNC

In generale

Una fresatrice CNC è una macchina a controllo numerico, comandata da un computer, che consente di modellare diversi materiali adoperando una tecnologia sottrattiva, cioè “scavando” il materiale grezzo, fino a ricavarne la forma desiderata.

La modellazione avviene per mezzo di una “punta” simile a quella di un trapano che, muovendosi sul piano di lavoro secondo le istruzioni impartite dal computer, può tagliare, svuotare o incidere diversi materiali utilizzando frese di varia forma e diametro.

Le fresatrici lavorano quindi in maniera opposta alle stampanti 3D FDM, che compongono il modello desiderato deponendo strati sovrapposti di plastica fusa. La tecnica delle fresatrici CNC sottrattiva può apparire poco efficiente rispetto a quella additiva, ma consente di raggiungere livelli di precisione molto elevati a costi ragionevoli. Di contro, le fresatrici a 3 assi non possono effettuare lavori in sottosquadra e sono più pericolose da utilizzare.

Con una fresatrice CNC si possono lavorare molti materiali, ma è importante però sceglierli di buona qualità, che presentino cioè un’alta temperatura di fusione, ed evitare le materie plastiche o le leghe di alluminio comunemente in vendita nei centri per il “fai da te” che viceversa, in genere fondono a temperature troppo basse.

Questo manuale tratta in particolare le caratteristiche di lavorazione delle fresatrici **CNC a 3 assi**, ovvero quelle più comuni e con costi più accessibili, [con particolare riferimento alla fresatrice Aero CNC in dotazione al FabLab Imperia](#).

ATTENZIONE!

- Una fresatrice CNC **non è una macchina che può essere utilizzata “a intuito”, ma è necessario studiare e conoscerne almeno i concetti base descritti in questo manuale per ridurre il rischio di danni a persone o alla stessa macchina.**

L’hardware

Anzitutto vediamo di cosa è composta una fresatrice e la corretta terminologia

- **Fresatrice CNC:** è la macchina nel suo complesso
- **Fresa:** anche detta “utensile”, è la “punta” usata per fresare.
- **Telaio:** è composto da un piano di lavoro e da un ponte mobile. Deve avere rigidità e robustezza proporzionate al tipo di lavori, sollecitazioni e vibrazioni che la macchina deve sostenere; in genere è costruito in legno o alluminio.
- **Meccanica:** consente il movimento preciso e senza “giochi” delle parti mobili su 3, 4 o 5 assi tramite **motori passo-passo** (stepper), guide lineari, cuscinetti, viti e chiocciolate (trapezie o a ricircolo di sfere), con o senza l’intermediazione di pulegge.

- **Elettromandrino:** è una sorta di trapano con velocità di rotazione variabile e coppia adeguata che è in grado di sostenere forti trazioni laterali e garantire tuttavia un alto livello di precisione concentrica. E' dotato di colletto e pinze che consentono di montare frese di diverso diametro. Il motore elettrico può essere di tipo convenzionale o HF (Vedi Appendice 1).
- **Elettronica:** agisce direttamente sui motori, governandone con precisione il movimento secondo gli impulsi ricevuti dal computer, gestisce le protezioni e gli interruttori di sicurezza, i relè di potenza, gli eventuali sensori di homing e i finecorsa. Opzionalmente può essere dotata di pulsanti per il controllo diretto della macchina.
- **Computer di controllo:** è consigliabile dedicare un computer esclusivamente al controllo della macchina, in modo tale da evitare pericolose interferenze tra operatori.

Il software

In genere, per usare una fresatrice CNC si adoperano:

- Un **CAD** (Computer Aided Design) con cui si progetta il modello desiderato (DraftSight, FreeCad, OpensCad tra quelli liberi; AutoCAD, SolidWorks tra quelli proprietari; Eagle o Fritzing per i circuiti elettronici).
- Un **CAM** (Computer Aided Manufacturing) tramite il quale si stabiliscono i tipi di frese da utilizzare, i percorsi utensile, i parametri di velocità e le strategie di lavorazione più adeguate per realizzare il nostro modello scavando un dato materiale. Il CAM produce un file di testo contenente il **G-Code**, cioè tutto l'insieme di comandi che è necessario passare all'elettronica della CNC per far sì che il modello sia realizzato secondo i parametri prescelti.
- Un **Software di controllo CNC** che gestisce direttamente la macchina, ricevendo ed elaborando il G-Code e trasformandolo in impulsi da trasferire all'elettronica; permette inoltre di muovere arbitrariamente gli assi, impostare riferimenti assoluti o relativi, gestire i cambi utensile, affinare parametri globali della lavorazione, ed effettuare operazioni di interpolazione sul G-Code (riduzioni/ingrandimenti, ribaltamenti, rotazioni, piano Z variabile ecc...). E' l'unico software che deve necessariamente trovarsi sul computer collegato direttamente alla fresatrice.
Il software di controllo, in certi casi, lavora in abbinamento a una particolare scheda di controllo che diventa parte integrante dell'elettronica della fresatrice.

Il CAD e il CAM possono coesistere entrambi in un unico software (es. Heeks tra i liberi; ArtCam tra quelli proprietari).

La Fresatrice Aero CNC del FabLab Imperia

Si tratta di una macchina autocostruita che consente di effettuare lavorazioni medio-leggere. Queste le sue caratteristiche:

- **Telaio** in lastre di alluminio Avional da 12mm e profilati da 30x30 mm
- **Piano di lavoro** in multistrato di betulla
- **Area utile:** 30x54 cm circa
- **Quota massima** in Z (da colletto a piano): 9 cm
- **ElettroMandrino** Kress 1050-FME1 - 1 kWatt, regolabile a mano da 5.000 a 25.000 rpm
- **Meccanica** a 3 assi su guide lineari supportate
- **Viti** a ricircolo di sfere
- **3 Motori stepper** bipolari da 2,8 A
- **Risoluzione teorica:** 0,0062 mm (160 step/mm)

La scatola dell'elettronica comprende:

- **Scheda driver** 3 assi AMW-102 optoisolata
- **Scheda di controllo** USB CNC Planet Mk2/4 con:
 - autolivellamento piano Z a griglia di punti
 - sensore tastatore a chiusura di contatto
 - microcamera di puntamento
 - microswitch finecorsa sugli assi X-Y
- **Scheda 2 relè di potenza** da 8A
- **DRO a display LCD** (digital read out) autocostruito
- **Scheda per controllo LCD e pulsantiera** Jog autocostruita basata su Teensy2++
- **Trasformatore** AC-AC 220V-19V
- **E-Stop** di emergenza

La macchina è inoltre corredata di software di controllo USB CNCPlanet e di webcam per posizionamento ottico.

Cosa può fare una fresatrice CNC a 3 assi

Con tecnica sottrattiva, sfruttando i 3 assi si possono effettuare lavorazioni:

cosiddette in **2,5D** (in cui i tre assi non si muovono mai tutti insieme):

- Spianature e svuotamenti ("tasche")
- Tagli ("profilature")
- Incisioni (convenzionali o V-Carve)
- Forature
- Spallamenti

o in **3D** (in cui tutti e tre gli assi si muovono contemporaneamente):

- Bassorilievi

Si possono effettuare lavorazioni "fronte/retro" a patto di usare riferimenti precisi (es. spine). Se necessario il percorso utensile va opportunamente ribaltato, riposizionando lo zero XY sul nuovo punto di origine.

Limiti della fresatrice

- La fresatrice a 3 assi lavora **solo dall'alto verso il basso** scavando un materiale grezzo. Non si possono quindi effettuare lavorazioni in sottosquadra (con fori interni o laterali), e va sempre tenuto presente il fattore di forma della lunghezza della fresa e del colletto del mandrino.
- Il **diametro della fresa** influenza il livello di dettaglio della lavorazione: una fresa non potrà ovviamente creare solchi né passare in interstizi di larghezza inferiore rispetto al suo diametro. Inoltre, per quanto piccolo sia, il **diametro della fresa impedisce di fresare angoli interni "vivi"**, che resteranno quindi sempre smussati (o "raggiati"). Per questa ragione eventuali progettazioni a incastro dovranno prevedere incavi aggiuntivi dove alloggiare lo spigolo vivo del pezzo adiacente.
- La fresatura avviene solo su **un lato alla volta**, è quindi impossibile ottenere oggetti modellati in completamente in 3D ("tutto tondo") da una sola lavorazione; per questo tipo di lavori si dovrà procedere ribaltando il pezzo o utilizzando una fresatrice a 4 o più assi.
- Il materiale grezzo non può essere lavorato nella sua interezza in quanto le staffe o le viti di fissaggio che lo tengono ancorato al piano rappresentano **ostacoli** al movimento della fresa che

devono essere considerati quanto si preparano i percorsi utensile. A questo proposito non vanno dimenticate le possibili collisioni **anche durante i movimenti in “rapido”** della fresa da un punto all’altro della lavorazione e l’ingombro del colletto del mandrino. Il materiale grezzo dovrà quindi essere di dimensioni maggiori rispetto alla lavorazione che si vuole ricavare.

- Bisogna sempre usare un **piano “martire”** di materiale sacrificabile da inserire tra il pezzo da lavorare e il piano di lavoro, per evitare che quest’ultimo possa essere rovinato dal contatto con la fresa.

La Sicurezza

ATTENZIONE! La fresatrice CNC è una macchina potenzialmente pericolosa sotto diversi aspetti:

- **Rischio meccanico:** ci sono organi in movimento (ponte mobile, carrello mandrino) e rapida rotazione (mandrino e stepper). E’ fondamentale **non** operare direttamente sulla macchina quando i motori sono in tensione o possono essere attivati inavvertitamente. Si dovranno quindi approntare protezioni automatiche e verificarne periodicamente l’efficienza. In via precauzionale è consigliabile non operare sulla macchina quando si indossano indumenti con maniche larghe e tenere i capelli raccolti. Durante la fresatura, inoltre, frammenti di materiale o pezzi di fresa possono rompersi e schizzare via con violenza. Per tale ragione è consigliabile evitare di portare il viso nei pressi del piano di rotazione del mandrino o, in alternativa, si può provvedere a inscatolare la macchina.
- **Rischio acustico:** la fresatrice è una macchina molto rumorosa, specialmente durante la lavorazione di certi materiali. E’ quindi importante indossare protezioni acustiche adeguate, prevedere supporti in gomma per limitare il diffondersi delle vibrazioni, ed eventualmente inscatolare la macchina in un contenitore con pareti fonoassorbenti.
- **Rischio elettrico:** come per tutte le macchine collegate alla tensione di rete, è necessario collegare il telaio in alluminio di una fresatrice a una buona presa di terra per ottenere protezione nel caso di guasti elettrici ed evitare shock elettrici. E’ consigliabile inoltre utilizzare sempre fusibili dove possibile.
- **Rischio incendio:** i materiali fresati possono scaldarsi molto e non si può escludere che parti di questi (o le loro polveri) prendano fuoco. **La fresatrice va sempre tenuta sotto controllo durante il suo funzionamento!**
- **Rischio chimico:** il surriscaldamento dei materiali, può causare l’evaporazione di fumi, vapori o polveri nocive ed è quindi necessario prevedere una buona aerazione o l’utilizzo di adeguate protezioni per la respirazione. (Verificare eventualmente sulla scheda tecnica del materiale i vari rischi connessi).

Inoltre, alcuni materiali, quando vengono fresati, disperdono fibre di lana di vetro o altre polveri che, se inalate, sul lungo periodo possono causare gravi danni respiratori (es. le polveri vetronite o bachelite, che compongono le basette ramate per la produzione di circuiti stampati, possono essere cancerogene). Sarà quindi necessario prestare particolare attenzione al contenimento di queste polveri tramite un’adeguato sistema di aspirazione e alla accurata pulizia delle parti dopo la lavorazione.

Per tutte queste ragioni e per evitare ogni possibile pericolo è opportuno che sulla fresatrice, la sua scatola dell’elettronica, e sul relativo computer di controllo **lavori un solo operatore per volta.**

Lavorare con una fresatrice CNC

Disegnare il progetto

Partendo dal proprio progetto su software di grafica vettoriale/CAD è necessario estrapolare un file contenente le geometrie da associare ai percorsi utensile. In genere per le lavorazioni 2,5D si utilizzano i formati DXF o DWG, mentre per le lavorazioni 3D si può partire da un file in formato STL, ma molti CAM consentono di importare e rielaborare anche altri formati, compresi file immagine (jpg, bmp, tif...).

Impostare i parametri nel CAM

Una volta preparato il nostro file vettoriale è necessario importarlo nel CAM (Computer Aided Manufacturing) dove stabilire i tipi di lavorazione, quali utensili (frese) saranno usati, le velocità e le strategie di fresatura. Vediamoli più in dettaglio:

Tipo di lavorazione:

Profilature (o tagli) e svuotamenti (o tasche)

La fresa (a candela) asporta strati sottili di materiale passando più volte sullo stesso percorso a profondità via via maggiori fino ad asportare o separare intere porzioni di materiale.

Forature

La fresa (appuntita o a candela) effettua dei fori lavorando verticalmente, compiendo un unico affondo o più affondi successivi per dare modo al materiale e alla fresa di raffreddare durante le retrazioni.

Sgrossature

Si tratta della fase preliminare di un lavoro in cui è necessario asportare molto materiale. La sgrossatura si effettua con frese a candela più grosse e consente di abbreviare i tempi di lavorazione predisponendo il materiale grezzo per le passate di finitura.

Finiture

Con una fresa più piccola e precisa, si passa in tutte quelle zone in cui è necessario asportare il materiale residuo. A seconda del tipo di lavoro di finitura si userà una fresa di tipo diverso.

Incisioni

La macchina lavora come per gli svuotamenti, ma asporta solo una minima quantità di materiale in superficie, talvolta asportando solo sottili strati di vernice o rame, usando frese con punte molto piccole e precise (bulini), ma anche molto fragili.

V-Carve

La macchina scava un solco di sezione conica con una fresa a "V" di dimensione e angolo variabile, effettuando una o più passate.

Bassorilievi (o 3D)

E' un'operazione di finitura che si esegue con frese a punta sferica o semisferica, tipicamente dopo una appropriata sgrossatura.

Tipi di frese:

Esistono frese di vario tipo ma quelle più comuni sono fabbricate in materiali duri come il carburo di tungsteno (carbide) o le cosiddette HSS. E' importante tenere presente che il materiale più duro è anche più fragile agli urti e quindi sopporta meno eventuali vibrazioni.

I principali tipi di frese sono:

- **Frese a candela:** frese cilindriche a testa piatta. Possono avere da 1 a 4 taglienti ("flutes" in inglese) o in alternativa presentare un profilo laterale zigrinato a seconda del tipo di materiale da lavorare. Si usano principalmente per effettuare tagli ma possono essere adoperate per creare svuotamenti, piccoli fori su materiale tenero, e sgrossature.
- **Frese da foro:** più simili alle comuni punte da trapano, e differiscono da quelle a candela per la loro forma appuntita. Lavorano a "tuffo" e sono particolarmente utili per la foratura delle leghe di alluminio.
- **Frese per V-Carve:** frese a sezione conica robuste, vengono utilizzate per effettuare incisioni profonde con pareti inclinate. Si usano tipicamente per realizzare scritte incavate su legno.
- **Bulini:** frese a sezione conica molto piccole, con punte larghe da 0,1 mm a 2 mm circa e angoli di apertura in genere compresi tra 10° e 90°. Sono frese molto fragili e vengono utilizzate per effettuare incisioni superficiali di alta precisione (per asportare rame nella realizzazione di circuiti stampati o per incidere testo e linee su materiale pre-verniciato).
- **Frese da spianatura:** sono frese a testa larga e piatta (anche 2 cm di diametro) che si utilizzano per asportare sottili strati superficiali di un materiale per renderlo perfettamente piano e adatto per essere usato come piano martire.
- **Frese a punta sferica** o semisferica: si usano principalmente per la finitura di lavorazioni in 3D come bassorilievi.
- **Frese per spallamenti:** sono frese di diametro generoso che consentono di rifinire i metalli, lavorandone le pareti laterali.
- **Frese a disco con inserti:** si usano su fresatrici professionali per la lavorazione pesante dei metalli.

(Le ultime due non si usano praticamente mai su fresatrici di livello amatoriale.)

Nei software CAM è possibile creare una propria libreria degli utensili associando loro specifiche caratteristiche e parametri di lavorazione (vedi prossimo paragrafo).

I taglienti delle frese a candela e da foro sono orientati in modo da asportare il truciolo di materiale verso l'alto. Se questa trazione verticale dovesse creare problemi di vibrazioni del materiale di difficile eliminazione, è possibile usare frese con taglienti "sinistrorsi" che spingono il truciolo anzichè tirarlo. Dovranno essere però osservati alcuni accorgimenti per scaricare opportunamente il truciolo e non creare pericolosi tasamenti.

E' sempre consigliabile esaminare i taglienti delle frese con una lente di ingrandimento prima e dopo la lavorazione per verificare eventuali scheggiature che ne possano ridurre l'efficacia.

ATTENZIONE!

- Il mandrino non è un trapano! Le pinze per il montaggio delle frese sul mandrino sono progettate per lavorare con frese **precisamente dello stesso diametro!** Se non si dispone di una pinza di diametro identico al gambo di una certa fresa che si vuole usare, bisogna procurarsela, ma mai

usare quelle simili anche se di diametro molto vicino! C'è il rischio infatti di danneggiare sia le pinze che la fresa, oltre ad ottenere difetti di lavorazione.

- Quando si stringe il colletto del mandrino per fissare una fresa è **non bisogna mai stringere con forza**, per serrare la fresa è sufficiente applicare una forza modesta, diversamente il colletto filettato del mandrino può essere ripetutamente sollecitato in modo eccessivo fino a rompersi.

Parametri di lavorazione

Le velocità di lavorazione in genere sono espresse in mm/min e, a parte la velocità in rapido, dipendono tutte dal tipo di fresa e dalle caratteristiche del materiale da lavorare.

- **Velocità in rapido:** la massima velocità lineare di spostamento permessa da motori e meccanica senza che avvengano stalli o perdita di passi. Viene stabilita una volta per tutte e va sempre utilizzata dopo aver sollevato l'utensile dal materiale, a una quota Z di sicurezza.
- **Velocità di avanzamento** (o Feed rate): è la velocità lineare di lavorazione sul piano XY durante la fresatura, cambia per ogni lavorazione.
- **Velocità di affondo:** è la velocità di lavorazione in verticale. E' quasi sempre inferiore alla velocità di avanzamento perchè, a seconda del materiale da fresare, l'affondo sollecita maggiormente la fresa.
- **Velocità di rotazione** del mandrino (RPM): espressa in giri al minuto, può essere necessario impostarla manualmente sul potenziometro del mandrino.
- **Passo laterale:** si intende la distanza laterale tra una passata e la successiva adiacente (o "impegno % della fresa"). Per evitare lavori poco uniformi e non sovraccaricare la fresa si usa quasi sempre un valore inferiore al suo diametro, così da sovrapporre sempre una passata a parte della passata precedente. Il passo laterale può essere espresso in percentuale rispetto al diametro della fresa.
- **Passo in Z:** stabilisce in mm la profondità delle varie passate necessarie a completare la lavorazione e quindi il loro numero. Effettuando più passate si sollecita di meno la fresa, ma i tempi di lavorazione si allungano.

(Alcuni CAM consentono di impostare parametri specifici per diverse fasi delle lavorazioni, ad esempio una velocità più ridotta per le passate di finitura.)

Un occhio all'efficienza

Calcolo del truciolo

Per determinare i parametri di lavorazione bisogna trovare un compromesso tra la sollecitazione della fresa (intesa come sforzo meccanico), surriscaldamento del materiale e tempo di lavorazione.

Per ottenere la massima efficienza si dovranno scegliere volta per volta le frese più adatte. E' possibile procedere per tentativi ascoltando la macchina e osservando la forma del truciolo, ma volendo si possono effettuare precisi calcoli per determinare quanto materiale viene asportato ad ogni rotazione della fresa e per ogni tagliente.

A questo proposito si rimanda a http://www.dimautensili.it/sp/tec/formule_fresatura.pdf

Strategie di fresatura

A seconda del tipo di lavorazione da effettuare è possibile stabilire, sempre tramite il CAM, quali strategie di lavorazione adottare per ottimizzare la lavorazione.

A titolo di esempio si citano:

- il taglio concorde o discorde;
- differente impegno della fresa (% del diametro);
- lavorazione per passate parallele o, come di norma, seguendo i profili delle geometrie;
- affondi a “tuffo” o a “rampe”;
- angoli di “approccio” ai percorsi utensile;
- l'uso dei “ponticelli” per mantenere il pezzo in posizione durante un taglio, da rimuovere a mano dopo il lavoro.
- ecc...

Quando si usano strategie mai provate prima è sempre bene effettuare un test su un materiale di poco valore per osservarne i diversi comportamenti e i risultati ottenuti.

Lo spazio di lavoro

Lo spazio di lavoro della fresatrice CNC si può intendere sia come spazio fisico all'interno del quale lavora la macchina, sia come la rappresentazione virtuale sul computer dello stesso spazio sui 3 piani dello spazio cartesiano X, Y e Z. A ogni posizione dell'utensile nello spazio di lavoro fisico sarà quindi associabile una posizione rappresentata dalle tre coordinate spaziali.

Vediamo quindi come sono organizzati lo spazio fisico e la sua rappresentazione geometrica.

Il sistema di riferimento

Il piano, gli assi X e Y

Il piano di lavoro orizzontale viene definito dagli assi X e Y. A causa dei limiti di movimento della meccanica e degli ingombri sul carrello del mandrino, **la superficie utile** (fresabile) di lavoro della macchina **è sempre inferiore rispetto all'intera dimensione del piano**. Il punto di origine “utile” degli assi X e Y si trova quindi spostato internamente allo spigolo reale del piano di lavoro e deve essere reso noto all'elettronica ad ogni accensione. Questo può avvenire tramite un software di controllo, in modo automatico tramite appositi sensori di homing, o in loro assenza, operando manualmente sul software.

In genere i software di controllo possono conservare sia un riferimento assoluto (dove lo zero cade in un punto di massima escursione della meccanica) che uno relativo cui farà riferimento il G-Code per la lavorazione.

ATTENZIONE!

- Se non si usa una procedura automatica di homing o sensori di finecorsa, è necessario verificare che **i percorsi utensile non eccedano le misure del piano utile di lavoro. Se questo dovesse accadere, infatti, si verificherebbe una collisione tra i carrelli della meccanica e il telaio con il rischio di danneggiare seriamente i motori stepper e la meccanica.**
- **Gli interruttori finecorsa attualmente montati sulla fresatrice Aero sono destinati a evitare collisioni ma non consentono una procedura di homing di precisione centesimale.**

L'asse Z

Le coordinate sull'asse Z definiscono le posizioni perpendicolari al piano di lavoro. Visto che la lunghezza della fresa e l'altezza del pezzo (ancorato sul piano martire) sono di volta in volta sempre differenti, non è possibile stabilire una posizione "zero" assoluta che sia sempre valida per la macchina.

Lo "zero pezzo"

Si possono prendere diversi riferimenti relativi sull'asse Z, ma il più importante è il cosiddetto **"Zero pezzo"**, che è definito nel punto di contatto tra la fresa e la superficie del pezzo da lavorare.

Convenzionalmente, tutte **le posizioni Z al di sotto di questo punto sono negative** e definiscono gli affondi in lavorazione, viceversa si considerano positive le posizioni al di sopra del pezzo.

Lo "zero pezzo" può essere ricavato con precisione tramite un tastatore di spessore noto, o più sommariamente a mano, aiutandosi con un foglio di carta da interporre tra fresa e superficie del pezzo.

La "Z di sicurezza"

Inoltre è importante impostare nel CAM una generosa **quota Z di sicurezza**, che sarà utilizzata per tutti gli spostamenti in rapido, ovvero per tutti quei movimenti che la macchina compie sollevando l'utensile per spostarsi da un punto all'altro senza fresare, prendendo come riferimento il più alto ostacolo che la fresa può incontrare (viti, staffe, ecc...).

Problemi comuni

Si citano a titolo di esempio alcuni problemi in cui si può incorrere nell'ambito dei sistemi di riferimento.

Perdita dei riferimenti

Una volta cominciata una lavorazione, nel caso la si interrompa per aggiustamenti o cambi utensile, bisogna fare molta attenzione a non perdere l'allineamento tra posizione fisica della fresa e le relative coordinate sul software di controllo. Se questo accade, infatti, a meno di non avere un sistema assolutamente preciso per recuperare il riferimento originale, il disallineamento, può rendere impossibile continuare il lavoro.

Si verifica una perdita di riferimenti quando:

- Si **azzerano accidentalmente i riferimenti** degli assi (è sufficiente cliccare sull'icona "Azzerà XY" invece di "Vai a XY" del software di controllo).
- Si **sposta fisicamente il pezzo** dopo aver iniziato la lavorazione.
- **Uno dei carrelli collide** con il telaio.
- Si forza manualmente la rotazione di una delle viti che muovono i carrelli.
- Uno dei motori stepper **perde passi o va in stallo** (per velocità o sforzo eccessivi, difetti nella meccanica o ai motori).
- Si continua un lavoro **dopo aver spento e riacceso l'elettronica**.

ATTENZIONE: nonostante il software possa conservare i riferimenti anche dopo aver spento e riacceso il computer, **tutte le volte che viene tolta e ridata alimentazione all'elettronica si può verificare una perdita di passi**. Ciò è dovuto al fatto che, sulle macchine amatoriali, le bobine dei motori possono riallinearsi con le ghiere interne in maniera differente dopo aver perso e riacquisito tensione. Per tale ragione quindi, soprattutto per quanto riguarda lavori in cui è importante un alto livello di precisione, le **lavorazioni devono essere completate senza interruzioni che comportino lo spegnimento dell'elettronica**. In parole povere, nella maggior parte dei casi **non si può dire "adesso interrompo e finisco domani"**.

La perdita dei riferimenti è particolarmente insidiosa sulle lavorazioni su due facce, dove è necessario ricollocare il pezzo sul piano dopo averlo ribaltato. La cosa migliore in questi casi è usare delle “spine” che consentano di mantenere sia la posizione relativa che l'allineamento con gli assi. In alternativa, se disponibile, ci si può servire di funzioni avanzate del software come l'allineamento tramite una webcam collegata al carrello del mandrino (vedi manuale del software di controllo).

“Zero pezzo” irregolare

Specialmente quando si deve fresare un circuito elettronico (PCB) o in tutti i casi in cui si deve effettuare una lavorazione piuttosto estesa, può capitare che lo “zero pezzo” in Z preso su un lato differisca in modo significativo nell'estremità opposta del materiale. Questo può portare a differenze notevoli nell'affondo delle frese, specialmente se coniche come i bulini, che possono incidere tracce molto più spesse di quanto programmato, rovinando tutto il lavoro.

Ciò può accadere nonostante si sia provveduto a spianare il piano martire perchè molto spesso le materie prime che si acquistano possono avere grosse tolleranze nello spessore o anche nel caso in cui lo staffaggio del pezzo lo porti a deformarsi o a flettere.

In questi casi, se non è possibile spianare direttamente il pezzo prima di lavorarlo, e se il software di controllo e l'elettronica lo consentono, ci si può servire di un tastatore che registri una griglia di punti zero in Z e crei, per interpolazione, una superficie curva sulla cui forma vengono modellati i percorsi utensile. Così facendo la lavorazione può essere adattata alla superficie irregolare del materiale.

L'area fisica di lavoro

Gli ostacoli

La fresatrice ha bisogno di poter disporre di uno spazio libero intorno a sè, libero da oggetti e qualsiasi altro ostacolo alla sua libertà di movimento.

ATTENZIONE!

- Bisogna periodicamente **controllare che al di sotto della macchina non vi siano rimasti oggetti nascosti** (come staffe, bulloni o utensili come chiavi o cacciaviti) che se dovessero restare incastrati durante il movimento, potrebbero danneggiare seriamente la meccanica. Durante il movimento dei carrelli, inoltre, **i cavi di alimentazione** dei motori, del mandrino ed eventuali altri collegamenti elettrici **devono potersi muovere senza restare impigliati o intrappolati tra carrelli e telaio con il rischio di rompersi** causando rischio di shock elettrico e guasti irreparabili all'elettronica. Se possibile è opportuno dotare la macchina di apposite guide avvolgicavo.

Ingombro delle staffe di fissaggio del pezzo

Durante la lavorazione, i materiali che vengono fresati sono sottoposti a notevoli vibrazioni e forze di trazione laterali. Per evitare ogni eventuale spostamento del pezzo si devono usare **staffe di fissaggio o viti che lo tengano saldamente ancorato** al piano martire. Nel caso si debbano effettuare tagli o scontornature di materiali che ne separino completamente una o più parti, anche queste dovrebbero essere preventivamente ancorate al piano per evitare che si stacchino in modo incontrollato o che urtino sulla fresa in lavorazione.

A meno di non aiutarsi con del nastro biadesivo retato, tutti questi elementi di supporto costituiscono un ostacolo al movimento della fresa e vanno tenuti presente durante la definizione dei percorsi utensile e i movimenti “in rapido”.

Il piano “martire”

Al fine di preservare l'integrità del piano della macchina ed evitarne possibili collisioni con la fresa che lo rovinerebbero (in caso di piano in legno) o porterebbero alla rottura della fresa (con il piano in profilati di alluminio), **bisogna sempre interporre una lastra di materiale sacrificabile** tra il piano della macchina e il pezzo da lavorare, che consenta di effettuare in sicurezza tagli e fori puliti da parte a parte. A tale scopo si può adoperare del compensato multistrato non troppo sottile (es. >1 cm, per evitare che possa flettersi significativamente). Il piano martire dovrebbe essere opportunamente spianato prima di posizionarci sopra il materiale grezzo da lavorare per garantirne la planarità rispetto alla macchina ed evitare irregolarità di lavorazione. (Vedi a questo proposito il capitolo “Spianature”).

Workflow e casi particolari

Flusso di lavoro tipico

1. **Leggere tutti capitoli precedenti!**
2. Preparare una geometria desiderata con un CAD
3. Importare la geometria in un CAM per decidere quali utensili (frese) usare, le caratteristiche e strategie di lavorazione e i relativi percorsi utensile.
4. Verificare eventuali incompatibilità fra diametro della fresa e geometrie, nel caso correggere il progetto nel CAD e produrre il G-Code.
5. Accendere prima il PC, e solo dopo l'avvio del sistema operativo accendere l'elettronica.
6. Controllare che non ci siano ostacoli al movimento degli assi e che i cavi si possano muovere liberamente seguendo i carrelli negli spostamenti.
7. Preparare la macchina fissando al piano uno spessore di materiale sacrificabile (martire) ed eventualmente spianarlo.
8. Decidere le modalità di staffaggio e fissare il pezzo grezzo sul martire
9. Effettuare la procedura di homing, se disponibile
10. Impostare lo zero XY e verificare sul software o tramite simulazione che le staffe e i supporti non collidano con l'utensile, neanche nei movimenti in rapido, e impostare una adeguata Z di sicurezza.
11. Montare il primo utensile (senza stringere eccessivamente il colpetto del mandrino) e prendere la quota zero sul pezzo.
12. Caricare il G-Code nel programma di controllo
13. Verificare che gli spostamenti massimi del programma sui 3 assi cadano all'interno della superficie lavorabile dalla macchina, eventualmente effettuare una simulazione.
14. Chiudere il box di protezione
15. Controllare che il mandrino sia alimentato (led verde sul pannello)
16. Indossare le protezioni (cuffie e occhiali)
17. Azionare l'aspiratore (o prevedere l'accensione automatica)
18. Lanciare il programma
19. In caso di piccoli problemi, mettere in pausa, sollevare asse Z, spegnere mandrino manualmente.
20. In caso di gravi problemi, azionare lo Stop di emergenza (può comportare perdita di passi).
21. Al cambio utensile è necessario riprendere la quota zero sull'asse Z e cambiare manualmente la velocità di rotazione sul potenziometro del mandrino.
22. Al termine della lavorazione, togliere l'alimentazione al mandrino,

23. Spostare il carrello distante dal pezzo lavorato.
24. Inserire lo stop di emergenza (E-Stop) o spegnere l'elettronica se il lavoro è terminato.
25. Quindi aprire il box e procedere alla rimozione del pezzo fresato.

Fresare un circuito stampato (PCB)

Per realizzare un circuito stampato con una fresatrice, si incidono i bordi delle tracce del circuito direttamente su una basetta ramata dello spessore di 2mm circa, su cui è steso un sottilissimo strato di rame dello spessore di circa 35 micron, lasciando quindi la traccia di rame isolata dal materiale conduttore circostante.

Per poter realizzare tracce adeguatamente sottili e precise si utilizzano frese coniche con un diametro in punta sull'ordine dei decimi di millimetro (dette "bulini"). In questo caso la fresa dovrà quindi affondare il meno possibile, così da garantire che il solco non sia superiore al raggio nominale della fresa, in quanto ogni affondo maggiore significherebbe ottenere un solco di larghezza maggiore rispetto al diametro nominale riferito alla punta della fresa.

Come spiegato nel capitolo precedente (vedi "Zero pezzo irregolare"), ottenere un simile livello di precisione, specialmente su una superficie estesa è piuttosto difficile ricorrendo solo alla spianatura. E' consigliabile quindi procedere facendo registrare al software di controllo una griglia di punti zero in Z, da interpolare e sfruttare come modello su cui adattare i percorsi utensile.

La progettazione del PCB inizia anzitutto su un software adeguato (es. Eagle o Fritzing) che consenta di esportare le tracce, i contorni e le posizioni dei fori del circuito in un formato vettoriale che possa essere elaborato da un CAM per la definizione dei percorsi utensile.

Per alcuni software di progettazione di circuiti esistono script scaricabili o acquistabili in rete che creano automaticamente opportuni percorsi utensile, ma spesso sono meno versatili di un CAM.

La fresatura di un PCB, a causa della fragilità delle piccole frese adatte a queste lavorazioni, impiega di solito molto tempo. Per ridurre i tempi di lavorazione è possibile utilizzare un ottimizzatore di G-Code che riduce al minimo gli spostamenti in rapido della fresa.

Tipicamente per realizzare un circuito stampato si utilizzano 3 tipi di frese:

- Un bulino, per creare i solchi che definiscono le tracce del PCB.
- Una o più punte a forare di piccolo diametro (es. 0,8 mm) per i fori dei componenti.
- Una fresa a candela piccola, per ritagliare la basetta ramata sui contorni o realizzare fori per viti.

Si ricorda che le polveri dei materiali di supporto delle basette ramate rappresentano un serio rischio per la salute. A questo proposito si rimanda al paragrafo sulla sicurezza.

Raccomandazioni

Probabilmente qualcosa andrà storto. Speriamo per il meglio, ma prepariamoci al peggio.

Quando una fresa è troppo sollecitata o collide con un supporto di fissaggio, nella maggior parte dei casi si rompe, e al massimo si perde il valore di quella fresa o si rovina il pezzo.

Il rischio maggiore è che il colletto del mandrino collida con un ostacolo. In quel caso, infatti, i motori sono sufficientemente potenti da sollecitare l'asse del mandrino fino a rovinarlo o fargli perdere la sua

elevata precisione concentrica. Se questo dovesse accadere, molto probabilmente il mandrino dovrà essere mandato in riparazione o sostituito, con costi elevati, quindi è importante fare molta attenzione a tutti i potenziali ostacoli, ed evitare qualsiasi rischio di collisioni con il colletto del mandrino.

Si riassumono i potenziali rischi connessi alle collisioni:

- Fresa troppo sollecitata o contro un supporto -> si rompe la fresa, **pazienza**.
- Carrello contro telaio -> **MALE**, si può rovinare il motore stepper e si sollecita eccessivamente la meccanica diminuendo la precisione della macchina e accorciandone la vita.
- Colletto del mandrino contro supporto -> **MOLTO MALE**, si può rovinare il mandrino, oltre alla meccanica e allo stepper.

Quindi, in assenza di finecorsa è necessario prestare la massima attenzione quando si muovono manualmente i carrelli (evitando di avvicinarsi al punto di massima escursione!). Inoltre va controllato attentamente, nella preparazione dei percorsi utensile (controllando più volte che non eccedano i limiti del piano utile!), specialmente quando sul piano ci sono supporti o ostacoli ingombranti.

Piuttosto che rischiare, chiedete prima allo staff!

Si ricorda che il Fab Charter, cui si ispira il FabLab fa esplicito riferimento al dovere di evitare di danneggiare macchinari o persone. Il direttivo del FabLab si riserva di impedire l'uso dei macchinari a quei soci che li utilizzino in modo imprudente.

Appendici

Appendice1 - Il Mandrino

- Standard o "HF"
- Rapporto coppia/rpm
- Il Mandrino Kress 1050-FME1

Potenza nominale d'inserimento	1.050	Watt
Numero di giri a vuoto	5.000 – 25.000	1/min.
Pinza di serraggio	8	mm
Ø del collo di serraggio	43	mm
Peso della macchina	1,7	kg

Caratteristiche

- Avviamento morbido e limitatore della corrente di avviamento
- Avvolgimento del motore corazzato per proteggerlo contro la polvere e particella
- Flangia del motore in acciaio inossidabile con sistema di supporto doppio per una maggiore forza di fresatura
- Protezione elettronico contro i sovraccarichi evita il surriscaldamento del motore
- Spazzole di carbone autostaccante per proteggere il motore
- ...

[Maggiori informazioni, manuali, dati tecnici](http://www.kress-elektrik.com) (<http://www.kress-elektrik.com>)

Appendice2 - La meccanica [DA FARE]

- Il rapporto passi/mm
- Esempio di calcolo dei passi/mm,
- Rapporto forza del motore e forza applicata al carrello.

Appendice4 - I motori passo-passo

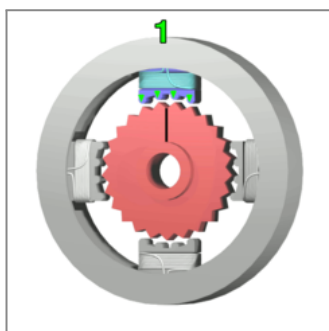
A differenza dei motori elettrici convenzionali, i motori passo-passo offrono una coppia più elevata quando girano lentamente, di conseguenza, più girano veloci più è facile che vadano in stallo. Per questa ragione, oltre una certa velocità di spostamento, gli attriti della meccanica possono mandare in stallo un motore stepper.

Il principio di funzionamento (da wikipedia)

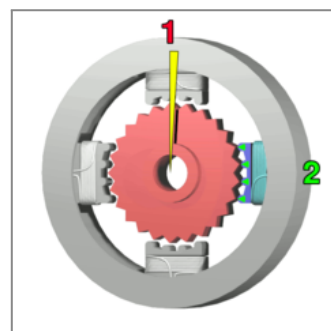
I motori passo-passo sono motori che, a differenza di tutti gli altri, hanno come scopo quello di mantenere fermo l'albero in una posizione di equilibrio: se alimentati si limitano infatti a bloccarsi in una ben precisa posizione angolare.

Solo indirettamente è possibile ottenerne la rotazione: occorre inviare al motore una serie di impulsi di corrente, secondo un'opportuna sequenza, in modo tale da far spostare, per scatti successivi, la posizione di equilibrio. È così possibile far ruotare l'albero nella posizione e alla velocità voluta semplicemente contando gli impulsi ed impostando la loro frequenza, visto che le posizioni di equilibrio dell'albero sono determinate meccanicamente con estrema precisione.

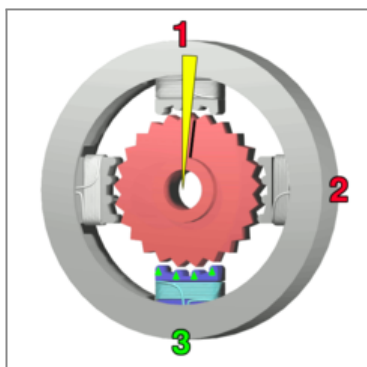
Esempio grafico con un motore a 100 passi



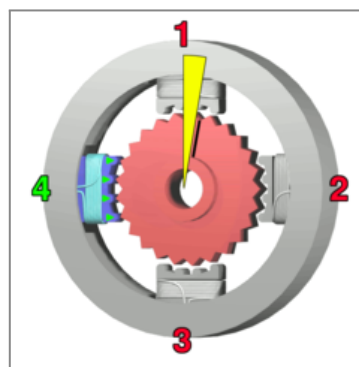
L'elettromagnete in alto (1) viene eccitato, attraendo il dente più vicino di un attrezzo a forma di rotore metallico. Con il dente allineato all'elettromagnete 1, inizierà la rotazione verso l'elettromagnete 2.



L'elettromagnete in alto (1) viene spento e viene eccitato l'elettromagnete a destra (2), tirando il dente successivo leggermente verso destra. Questo processo produce una rotazione di 3.6° in questo esempio.



L'elettromagnete in basso (3) viene eccitato; si verifica un'altra rotazione di 3.6° .



L'elettromagnete a sinistra (4) viene eccitato, si ha un'altra rotazione di 3.6° . Quando l'elettromagnete in alto (1) sarà di nuovo eccitato, i denti del rocchetto dovranno ruotare nella posizione successiva; poiché vi sono 25 denti, occorrono 100 passi per realizzare una rotazione completa.

Appendice5 - Il G-Code [DA FARE]

Si rimanda al manuale del software di controllo dell'elettronica

Appendice 6 - Parametri di lavorazione (max +/- 30%) [DA RIVEDERE!!!] ←-----

Lavorazioni su basette ramate (vetronite) per realizzare Circuiti Stampati (PCB)

Lavorazione e fresa da usare	RPM (giri al minuto)	Avanz. nto (mm/min)	V. affondo (mm/min)	Passo	Passo in Z		note
Tracce - Bulino 0.1 mm - 30°	20000	600	150	0.08	0.15		
Foratura da 0,8 mm	20000	0	500	0	2,5		
Foratura da 0,9 mm	20000	0	350	0	2,5		
Foratura da 1,2 mm	20000	0	200	0	2,5		
Profili - Fresa 1,5 mm 1 flute	20000	1000	500	0,6	0,5		Alto consumo!
Profili - Fresa 3 mm 1 flute	20000	1600	700	1,2	1,25		Alto consumo!

Fresa a candela diametro 3 mm - 1 tagliente

Materiale ¹	RPM (giri al minuto)	Avanz. nto (mm/min)	V. affondo (mm/min)	Passo	Passo in Z	Finitura	note
Legno	18000	1450	800	1,2	2		
PMMA	20000	1600	700	1,2	1,25		
Alluminio ²	15000	1200	500	1,2	0,2		

Fresa a candela diametro 1,5 mm - 1 tagliente

Materiale ¹	RPM (giri al minuto)	Avanz. nto (mm/min)	V. affondo (mm/min)	Passo	Passo in Z	Finitura	note
Legno	20000	1450	800	0,8	2		
PMMA	20000	1400	500	0,6	1		
Alluminio ²	18000	1200	500	0,75	0,1		

Bulino (per incisioni) diametro 0.1 mm - 30°

Materiale ¹	RPM (giri al minuto)	Avanz. nto (mm/min)	V. affondo (mm/min)	Passo	Passo in Z		note
Legno	18000	600	250	0.08	0.2		
PMMA	18000	600	250	0.08	0.2		
Alluminio ²	18000	600	150	0.05	0.1		

Fresa da foro - diametro 3 mm

Materiale	RPM (giri al minuto)	Avanz. nto (mm/min)	V. affondo (mm/min)	Passo	Passo in Z	Retrazione	note
Alluminio ¹ (sottile)	15000	0	1300	0	1	4	

¹ I materiali devono essere di alta qualità. Vanno evitate le plastiche e leghe di alluminio dei grandi centri del fai-da-te.

² Le lavorazioni su alluminio sono da considerarsi in fase di test e devono essere limitate a lavori leggeri.

Appendice 7 - Checklist per operazioni particolari

Processo di creazione PCB con la fresatrice Aero CNC **[DA RIVEDERE - WORK in PROGRESS]**

- Su Eagle

- Verificare ingombri di componenti elettronici anche sul piano verticale
- Net class: clearance uguale a diametro bulino
Aumentare spessore piste e raddoppiare clearance per voltaggi alti (trovare valori corretti)
- Impostare origine PCB a origine assi
- Annotare dimensione su X della PCB
- Creare file Etch e Drill con pcb-gcode (aggiornare diametro bulino se necessario)
- Creare il profilo con gcode2 nella cartella upl di eagle, (dimensionare i ponticelli di tenuta pezzo e diametro fresa se necessario)
- Copiare i file percorsi utensile su PC della macchina
- Aprire il file Etch con PCB-Gcode Wizard, cliccare su "Optimize", salvare e attendere completamento, chiudere dopo

- Sulla macchina

- Disattivare alimentazione mandrino e disattivare motori con E-Stop
- Scegliere basetta (attenzione a non tagliarsi sui bordi, evitare ditate)
- Bloccare rame con le viti o biadesivo (nel caso del biadesivo si possono evitare i ponti di tenuta pezzo nella profilatura)
- Verificare che il sensore sonda per asse Z sia attaccato al rame
- Montare bulino con punta buona
- Pulire PCB da impurità che possono interferire con il sensore asse Z

- Su CNC controller software

(Checklist per griglia punti zero in Z, vedere anche manuale del software)

- Aprire file Etch ottimizzato dal Wizard
- Traslare il lavoro su asse X valore della dimensione del PCB annotata sopra
- Cancellare tutti i punti di misura Grid Z
- Registrare Grid Z offset circa al centro del lavoro
- Impostare griglia (lievemente più grande) e registrarla con passi da 5 mm
- dopo la griglia, controllare se i micro-solchi della punta sul rame sono puntiformi o meno, nel caso cambiare bulino
- Controllare se Z0 è a quota lavoro
- Applicare WARP al programma
- Traslare piano Z in positivo di 0,02 - 0,03 mm per ridurre al minimo l'affondo
- Attivare alimentazione mandrino ed eseguire test rotazione
- Avviare lavoro
- A fine lavoro controllare che tutte le tracce, specialmente quelle ai lati, siano fatte bene

- Disattivare alimentazione mandrino + E-Stop per motori
- Aspirare polveri su coperchio box e intorno al lavoro (materiale pericoloso)
- Montare punta per fori (o la più grossa necessaria, o si inizia con la piccola e si cambia solo per i buchi più grossi, che vengono alla fine)

- Aprire file Drill
- Traslare il lavoro su asse X valore della dimensione del PCB annotata sopra
- Verificare sommariamente l'allineamento dei fori con le piazzole
- Registrare Grid Z offset / Registrare Z 0
- Applicare WARP al programma
- Eventualmente montare aspiratore per trucioli (materiale pericoloso)
- Attivare alimentazione mandrino ed eseguire test rotazione
- Avviare lavoro

- A fine lavoro Disattivare alimentazione mandrino + E-Stop per motori
- Aspirare polveri su coperchio box e intorno al lavoro (materiale pericoloso)
- Montare punta per taglio profilo (su vetronite vanno incontro a usura precoce!) come da impostazione iniziali

- Aprire file del profilo (non ha estensioni particolari, solo .tap)
- Non dovrebbe essere necessario traslare
- Controllare se la dimensione dei ponticelli è adeguata
- Montare aspiratore per trucioli (materiale pericoloso)
- Attivare alimentazione mandrino ed eseguire test rotazione
- Avviare aspiratore
- Avviare lavoro

- A fine lavoro spostare utensile distante per avere spazio per la rimozione delle viti e aspirazione
- Disattivare alimentazione + E-Stop motori
- Eventualmente attendere deposito polveri qualche minuto
- Aspirare polveri su coperchio box e intorno al lavoro (materiale pericoloso)
- Rimuovere pezzo (attenzione a non tagliarsi sui bordi della basetta o intorno al taglio del profilo!)

- Rimuovere eventuali ponticelli premendo con taglierino da alto verso basso

- Dopo saldatura componenti se necessario applicare un antiossidante

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Version log

v. 0.1 - settembre 2014 - prima release

v. 0.2 - aprile 2015 - diverse correzioni



Enrico Galesio (IZ1ZCK) - Fablab Imperia APS

Quest'opera è distribuita con Licenza

[Creative Commons Attribuzione - Condividi allo stesso modo 3.0 Italia](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/it/).

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/it/>