

# I circuiti stampati fatti in casa

## Disclaimer

*Il contenuto di questo file è fornito AS IS, a solo titolo didattico e senza garanzia alcuna, implicita o esplicita. Tutti i nomi di prodotti e ditte sono proprietà dei legittimi proprietari.*

*La distribuzione di questo file è, fatti salvi i diritti di terzi, libera e gratuita a condizione di non apportare modifiche e di citare la fonte. E' vietato l'uso commerciale di tutto o parte del presente file, salvo espressa autorizzazione scritta.*

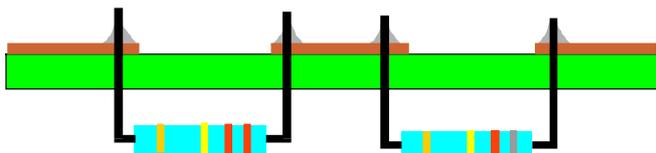
In queste pagine cercherò di descrivere alcune metodologie per realizzare in casa i propri circuiti stampati. Si tratta della prima versione di questo tutorial: alcuni argomenti sono in via di preparazione e verranno inseriti appena pronti. Altri argomenti (la metallizzazione dei fori ed il montaggio SMT, per esempio) sono ancora in via di studio: ogni contributo è gradito.

E prima di iniziare, una precisazione: questo tutorial non vuole essere una raccolta di tutti i metodi conosciuti per fare CS; ho qui inserito solo quelli più semplici e da me utilizzati normalmente.

## Cosa è un circuito stampato

Prima di costruire un circuito stampato dobbiamo capire come è fatto. Si tratta, in estrema sintesi, di un insieme di piste in rame, "disegnate" su un supporto isolante; queste piste servono per collegare tra loro i componenti che costituiscono il circuito elettronico.

Nella figura si può vedere un semplicissimo circuito (due resistenze in serie) montate su circuito stampato: in verde è rappresentato il supporto isolante, in bruno il rame che realizza i collegamenti, in grigio la saldatura tra i reofori delle resistenze e le piste in rame. Il montaggio rappresentato è quello detto "a singola faccia" o "single layer": il rame sta da una sola parte del circuito (il lato saldature) mentre i componenti sono dall'altra parte (il lato componenti). Le connessioni sono realizzate attraverso fori passanti da parte a parte (THT, through hole technology).



In alternativa è possibile costruire circuiti stampati con le piste sui due lati del supporto o anche in ulteriori layer all'interno (tecnologie, rispettivamente, a doppia faccia e multilayer), con i componenti da entrambi i lati, oppure ancora con componenti, piste e saldature tutte dallo stesso lato e quindi senza fori di passaggio tra le due facce, almeno in teoria (tecnologia SMD o SMT). Purtroppo quasi tutte le attrezzature necessarie per utilizzare queste tecniche di montaggio non sono facilmente accessibili all'utente privato, a meno di ricorrere a servizi professionali.

Per realizzare un circuito stampato sono necessarie diverse fasi di lavorazioni, più o meno complesse

- Il progetto delle connessioni necessarie per realizzare il circuito
- Il [disegno diretto](#) su rame del circuito o, in alternativa, la [fotoincisione](#)
- L'[incisione](#) del circuito stampato, per via chimica
- La saldatura e altre [lavorazioni meccaniche](#)

In questa nota applicativa mi limiterò a descrivere le ultime tre delle fasi appena citate. Il cosiddetto sbroglio (cioè il passaggio da uno schema elettrico alle connessioni fisiche dei vari componenti) è un'operazione in cui, più che un tutorial, serve esperienza personale. Non escludo che in un futuro più o meno lontano potrò comunque scrivere qualcosa sull'argomento.

## Il trasferimento diretto

Il metodo più "antico" per fare circuiti stampati in casa è quello del cosiddetto trasferimento diretto: si tratta di un metodo decisamente poco efficace ma, per cominciare, almeno un'esperienza è opportuna per tutti; tra l'altro non richiede particolari attrezzature.

Il metodo funziona discretamente solo a condizione che si voglia costruire un circuito molto semplice ed in singolo esemplare. Altrimenti è opportuno ricorrere alla [fotoincisione](#), descritta successivamente.

Il materiale di base è costituito dalla **scheda ramata** (copper clad board), detta familiarmente "basetta", costituita da un supporto dallo spessore di circa 1,6 mm, in materiale isolante (vetronite, bachelite o altre materie plastiche), su cui è depositata una lamina di rame dallo spessore di 35 micron. Questo materiale è ampiamente disponibile e costa, nel formato classico di 100x160 mm (Eurocard), meno di mille lire. Esistono anche schede con uno spessore minore o maggiore di rame (fino a 70 micron), ma si tratta di materiale meno reperibile e comunque inutile nella maggior parte delle applicazioni. Sono inoltre in commercio basette con uno spessore complessivo inferiore al millimetro, praticamente introvabili per l'hobbista.

L'idea è quella di utilizzare una tecnica "sottrattiva", cioè togliere tutto il rame che non serve per realizzare il circuito, lasciando invece quello necessario per creare i collegamenti elettrici. Pur essendo possibile realizzare ciò con sistemi meccanici (esistono in commercio delle frese per questo scopo, dal costo di *appena* poche decine di milioni) in genere si procede per via chimica.

Per fare ciò si procede proteggendo il rame che deve rimanere con una pellicola resistente ed aggredendo l'intera basetta con sostanze chimiche capaci di rimuovere il rame non protetto, la cosiddetta [incisione](#). Ovviamente il rame protetto dalla pellicola non viene intaccato, rimanendo sul supporto isolante a formare le piste necessarie per collegare i vari componenti.

L'oggetto necessario per proteggere il rame è costituito da un **pennarello** capace di lasciare una traccia adeguatamente resistente: in commercio, nei negozi di componenti elettronici, se ne trovano diversi tipi (p.e. il DALO33). In alternativa si può utilizzare smalto o altre vernici idrorepellenti ed appositi pennini ad imbuto (se qualcuno ha esperienza nel disegno a china può provare con gli stessi pennini e usando smalto per unghie diluito). Anche i normali pennarelli indelebili sono adatti.

Il procedimento può essere così schematizzato:

1. Si disegna su carta il circuito che si vuole realizzare in scala 1:1.
2. Si pulisce accuratamente la basetta. Vanno bene le normali pagliette metalliche da cucina, anche quelle saponate; occorre invece evitare le sostanze chimiche usate per lucidare i metalli a causa gli effetti imprevedibili sulle lavorazioni successive. Alla fine lavare abbondantemente con acqua corrente e far asciugare per bene in un ambiente poco polveroso. Il rame deve apparire perfettamente lucido ed omogeneo. Attenzione alle "ditate": il grasso depositato dalle impronte digitali potrebbe infatti compromettere il risultato finale. Questa operazione deve precedere immediatamente le seguenti fasi: il rame infatti si ossida in poche ore, rendendo inutile la pulizia effettuata troppo in anticipo.
3. Si riporta il disegno direttamente sul rame, disegnandolo il percorso delle piste. Per seguire fedelmente lo schema è possibile utilizzare una carta carbone oleosa (quella nera non è adatta in quanto praticamente non lascia un segno visibile, ne serve una blu) oppure un piccolo punteruolo per segnare i punti notevoli del circuito attraverso il disegno in scala uno a uno, per poi procedere a mano libera. Vi consiglio di fare una fotocopia del disegno prima di procedere con questa fase. Durante questa operazione è bene fissare la

basetta sul piano di lavoro con del nastro adesivo e poi, al di sopra e sempre con nastro adesivo, il disegno del circuito. Piccola nota, banale ma spesso causa di errori: ricordarsi che in genere il disegno delle connessioni è fatto per essere visto dal "di sopra" della basetta mentre voi state disegnando dal "di sotto": il disegno deve quindi essere specchiato rispetto al circuito che si vuole ottenere. Se sbagliate e ve ne accorgete solo alla fine, non disperatevi: succede a tutti di perdere mezza giornata per una stupida distrazione...

4. Si disegnano con cura le piste usando il pennarello apposito oppure i pennini. Lo strato di vernice deve essere ben compatto e perfettamente coprente in quanto deve proteggere il rame dall'aggressione dell'acido. Da evitare anche, al contrario, uno spessore eccessivo di vernice in quanto, durante l'essiccazione, potrebbero crearsi piccole crepe. Gli errori si correggono, ad inchiostro perfettamente asciutto, con una lametta (l'esperienza insegna che la correzione dei piccoli errori con acetone o simile in genere porta a dover rifare il circuito da capo)
5. Si attende la perfetta asciugatura della vernice: almeno 15 minuti, secondo le indicazioni del produttore della vernice o del pennarello. Una vernice poco asciutta non è in grado di proteggere il rame sottostante e quindi porterebbe a risultati disastrosi. Durante questa fase vanno evitati i luoghi polverosi
6. Si procede con l'[incisione](#), come descritto più avanti.

Come ho già detto, questo metodo è adatta solo per circuiti semplici e per i quali non è richiesta precisione. Per quei particolari per i quali sono invece necessarie elevate precisioni dimensionali (per esempio nell'uso di circuiti integrati) si consiglia l'utilizzo di **trasferibili**, da scegliersi tra quelli resistenti all'incisione (non tutti lo sono e quindi è opportuna una verifica: in caso contrario tutto il lavoro è da buttare). Esistono anche trasferibili per tracciare le piste ma, francamente, non mi sento proprio di consigliarli: meglio il pennarello. Purtroppo i trasferibili resistenti all'incisione sono sempre più difficili da trovare in commercio in quanto sempre meno utilizzati.

## La fotoincisione

Quando il circuito ha più di qualche resistore oppure si vuole fare una piccola serie, l'uso del metodo del [trasferimento diretto](#) diventa improponibile. A livello hobbistico la soluzione più praticata si chiama fotoincisione: anche se il nome potrebbe trarre in inganno, non sostituisce l'[incisione](#) con il cloruro ferrico ma è solo un metodo per "disegnare" sul rame le piste, usando la luce; il passaggio nel bagno di incisione è comunque necessario.

I vantaggi della fotoincisione rispetto al trasferimento diretto sono molti:

- Una volta fatto il master, risulta facile riprodurre più esemplari dello stesso circuito stampato
- È possibile usare piste e piazzole con dimensioni ridotte e notevolmente precise
- L'utilizzo del PC (peraltro non indispensabile) è comodo e semplifica il lavoro, sia usando software generico di disegno (da AutoCad a CorelDraw) sia software specificatamente dedicato alla progettazione di circuiti stampati, quali OrCad, CirCad, Protel e altri
- La qualità complessiva del circuito stampato risulta migliore, anche di molto

Ovviamente ci sono anche svantaggi:

- È necessario un maggior numero di passaggi chimici
- È necessario l'uso di un bromografo
- È vivamente consigliato ricorrere a basette pre-trattate, più costose

Inutile dire che i vantaggi coprono abbondantemente gli svantaggi in quasi tutti i casi, al punto di fare della fotoincisione l'unica alternativa per l'hobbista alla produzione industriale

In breve, per realizzare un circuito tramite fotoincisione occorre:

1. Disegnare il [master](#)
2. [Esporre](#) ai raggi ultravioletti la basetta, utilizzando il bromografo
3. [Sviluppare](#) la basetta
4. Procedere all'[incisione](#), alla [foratura](#), alla saldatura

## Il master

Il master di un circuito stampato è costituito dal disegno in scala 1:1 delle piste su un supporto più o meno trasparente: può essere usato un foglio di acetato oppure carta da lucido per disegni tecnici. E' importante che il foglio sia trasparente non tanto alla luce visibile quanto ai raggi ultravioletti: i due materiali di cui sopra lo sono sufficientemente anche se una verifica quantitativa non l'ho mai fatta.

L'**acetato** ha il vantaggio di essere perfettamente trasparente anche alla luce visibile ma è più difficile realizzare i disegni in quanto servono strumenti di disegno specifici, peraltro facilmente reperibili in un negozio fornito di articoli tecnici. Se si intende stampare o fotocopiare il disegno, è necessario ricorrere a prodotti specifici per stampanti laser o a getto di inchiostro oppure per fotocopiatrici. **Attenzione:** un foglio di acetato normale, inserito in una stampante laser o in una fotocopiatrice, rovina seriamente il tamburo di fusione in modo permanente, con danni molto elevati.

È possibile invece usare la **carta da lucido** con normali strumenti, in particolare stampanti laser e fotocopiatrici. Da notare che i fogli da lucido non appaiono trasparenti alla luce (nel senso che sono traslucidi e non si vede chiaramente cosa c'è dall'altra parte) ma lo sono rispetto agli UV, che è quello che a noi interessa.

La caratteristica fondamentale del disegno è che le tracce devono essere perfettamente opache alla luce ultravioletta; ciò implica due cose:

- La vernice deve essere assolutamente non trasparente ai raggi ultravioletti: il colore visibile è irrilevante (normalmente si usano inchiostri neri, ma a volte anche rossi). Ovviamente nessuno è capace di misurare a casa, neppure orientativamente, questa trasparenza se non provando direttamente a realizzare un circuito. Per nostra fortuna però quasi tutte le sostanze che appaiono nere ai nostri occhi (trasferibili, china e inchiostro di ink-jet nero, toner di stampanti e fotocopiatrici) sono effettivamente opache agli UV (o almeno così ho sempre riscontrato). Ciò non vale invece per un generico inchiostro rosso che, in genere, è trasparente agli UV: occorre il cosiddetto rosso attinico, reperibile solo presso rivenditori altamente specializzati.
- La vernice deve essere stesa in modo molto accurato, cioè senza "buchi" o sbavature.

Per una verifica della qualità del master è possibile usare un apposito piano luminoso oppure, più semplicemente, appoggiarsi al vetro di una finestra verso l'esterno in una giornata luminosa: il master deve apparire perfettamente nero e omogeneo dove è stato annerito e trasparente dove manca l'inchiostro. I difetti principali sono i seguenti:

- Il nero è poco opaco, almeno alla luce visibile. Questo difetto è presente in master ottenuti con molte stampanti ink-jet ed anche con alcune laser di fascia bassa, soprattutto sulle ampie superfici. In assoluto non è affatto detto che una vernice che, nel visibile, appare semitrasparente lo sia anche nel campo degli ultravioletti: l'unica soluzione vera è provare con un [test](#) come quello che in seguito descrivo.
- Il nero appare "bucherellato". Questo succede a volte con alcune laser e fotocopiatrici se il supporto non è perfettamente compatibile con l'inchiostro della stampante. In questo caso un "buco" nel master diventerà un "buco" anche nel rame e, se presente su una pista sottile, rischia di interromperla.
- Nello spazio bianco appaiono punti o linee neri. Succede se la stampante non è perfettamente pulita o è difettosa o ancora stampante e supporto non sono tra loro perfettamente compatibili

Inutile dire che se sono presenti i difetti sopra riportati, la qualità del lavoro risulta in tutto o in parte compromessa, ovviamente in funzione della gravità di tali difetti. Qualcuno consiglia di sovrapporre due o più fogli con lo stesso disegno: è l'ultima spiaggia ma è applicabile solo se le piste e gli isolamenti sono piuttosto grossi. In alternativa un ritocco con pennarello nero indelebile a punta fine o raschietto è sempre possibile, a condizione che i difetti siano pochi e la pazienza tanta. Con il tempo, provate anche con altri tipi di supporto e/o stampanti, alla ricerca dei migliori risultati.

Personalmente, dopo alcuni esperimenti in tempi antichi con trasferibili (risultati ovviamente sempre perfetti, ma che pazienza...), utilizzo ormai esclusivamente una stampante laser HP 6MP con carta da lucido.

Per quello che possa servire, qualche risultato dei miei esperimenti:

1. HP 6MP a 600 dpi: quasi perfetta con lucido. Discreta con acetato specifico per laser
2. HP IIP a 300 dpi: quasi perfetta con lucido. Meno che discreta con acetato
3. HP 5L e 6L a 600 dpi: discreta con lucido. Meno che discreta con acetato
4. Fotocopiatrici varie: da buono a cattivo sia con lucido che con acetato. Dipende dalla manutenzione della fotocopiatrice oltre che dalla qualità della macchina e del supporto
5. HP 550C: pessima su lucido
6. Fujitsu B100: pessima su lucido

Molte esperienze che spesso si leggono sui gruppi di discussione di elettronica amatoriale riportano successi utilizzando molte stampanti ink-jet (in particolare HP ed Epson di ultima generazione) o laser. Veramente importante è usare un foglio adatto al tipo di stampante, anche se a volte costoso, ed impostare la stampante come consigliato dal produttore (in genere tutti i driver sotto Windows hanno una modalità specifica per i lucidi e/o acetato)

Una soluzione: portate il vostro file ad una tipografia e chiedete di farvelo stampare su di un fotoplotter o con una macchina da fotolitografia: risultato eccezionale anche se è un po' scomodo (non ho ancora provato questa soluzione ma nei gruppi di discussione viene spesso segnalata come la migliore scelta nel caso in cui non si possieda una stampante adeguata).

## La basetta con vernice fotosensibile

Il materiale di base è costituito da una normale basetta per circuito stampato su cui è stesa in modo omogeneo una particolare pellicola resistente all'incisione (**photo-resist coated board**); se si illumina la basetta con luce ultravioletta il polimero che costituisce la struttura della vernice diventa solubile in una soluzione basica e quindi può essere facilmente rimosso.

L'idea che sta alla base è questa: illumino la basetta con UV solo nei punti che mi interessano, cioè nei punti da cui voglio togliere in rame, rimuovo per via chimica la vernice esposta e infine incido con cloruro ferrico, togliendo il solo rame rimasto scoperto.

Spesso il supporto usato per la fotoincisione viene indicato come basetta presensibilizzata positiva. A voler essere pignoli esistono vernici fotosensibili che funzionano esattamente al contrario (diventano resistenti all'incisione dove arriva la luce UV e sono quindi chiamate negative): le ultime basette di questo tipo le ho però usate una decina di anni fa e non mi risulta siano più reperibili in commercio.

La cosa più comoda è quella di comprare una basetta con già la vernice fotosensibile stesa sopra. La basetta è venduta con una pellicola autoadesiva oppure in busta di alluminio sottovuoto, a scopo protettivo: fin quando è tenuta in questo modo la si può trattare senza particolari attenzioni. Unica avvertenza è quella di comprarne una quantità ragionevole perché, con il tempo, tende ad invecchiare, soprattutto se lasciata ad alta temperatura; non è certamente il caso di preoccuparsi: ho utilizzato con successo basette lasciate in un armadio un paio di anni, in un locale chiuso che in estate raggiunge facilmente anche i 40 °C; certo un po' di attenzione è opportuna ma sicuramente non vanno tenute in frigorifero, come ho letto da qualche parte.

Un'alternativa è quella di stendere da soli la vernice. Se proprio volete provare, trovate in commercio bombolette spray tipo **Positiv20** (diciamo 10.000 lire a bomboletta). Francamente ve lo sconsiglio, soprattutto per le prime volte. Se proprio volete provarci, occhio alle istruzioni, alla polvere, alla stesura in uno strato sottile ed omogeneo, alla perfetta essiccazione al buio. E auguri...

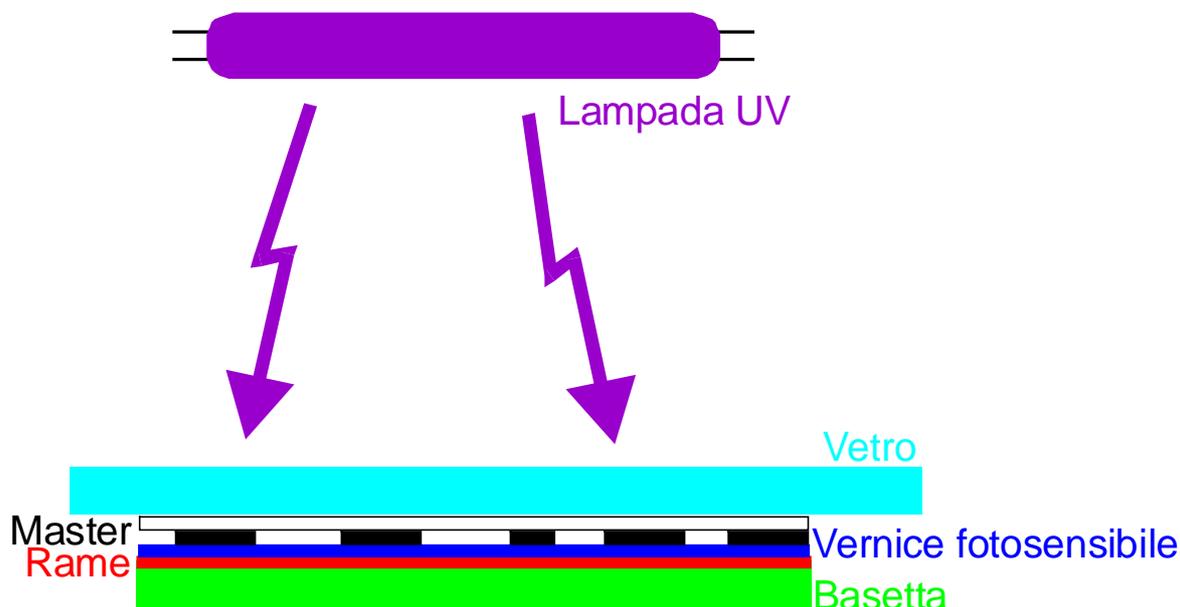
Quando si toglie la pellicola protettiva, la basetta diventa decisamente più delicata in quanto sensibile alla luce ambiente. Non si tratta di carta fotografica, quindi scordatevi la necessità di una camera oscura, ma qualche attenzione è necessaria:

- Evitare assolutamente la luce solare diretta; vi consiglio vivamente di accostate le imposte o chiudete le tende, soprattutto se la giornata è luminosa
- Evitate attese sotto lampade molto luminose, soprattutto se tubi al neon o alogene
- Fate le lavorazioni in modo ragionevolmente rapido, togliendo la carta protettiva solo quando effettivamente serve (in un mezzo minuto comunque non succede molto...)
- Ovviamente, come sempre, evitate ditate o graffi sulla basetta.

## L'esposizione

Il **bromografo**, come dice il nome ( ? ), è lo strumento che permette di stampare attraverso la luce sulla basetta presensibilizzata l'immagine del master. In sostanza si tratta di una sorgente di luce UV che illumina attraverso il master la basetta, inducendo le modificazioni chimiche solo alla parte di vernice illuminata. Ovviamente la luce può passare solo dove il master è trasparente: in pratica il master proietta sulla basetta la propria ombra.

Purtroppo questo strumento è piuttosto costoso (più di 100.000 lire, molto di più se con caratteristiche professionali quali timer digitale, pompa a vuoto, illuminazione contemporanea dai due lati, grandi dimensioni). Volendo è possibile anche costruirselo da soli (in futuro penso di aggiungere un paragrafo su questo argomento)



Il disegno rappresenta in modo schematico il funzionamento del bromografo. Alcune osservazioni;

- Gli UV non sono visibili (anche se i tubi normalmente usati appaiono quando accesi debolmente di colore violetto o verde/bluastro) ma possono essere altamente dannosi alla retina ed alla pelle, soprattutto gli UVB e gli UVC. Per questo è assolutamente necessario usare i tubi in una scatola a tenuta e comunque non

guardarli durante il funzionamento. Leggere attentamente le istruzioni di sicurezza riportate sul bromografo prima di usarlo; personalmente, pur avendo un apparecchio certificato a tenuta, quando i tubi sono accesi vado a fare un giro in un'altra stanza: tra l'altro distende i nervi e rende più attenti. Se usate sorgenti meno pericolose (per esempio le lampade solari o quelle alogene) le precauzioni necessarie sono minori ma non sottovalutatele.

- È necessario che il master sia ben aderente alla basetta. Per questo si ricorre ad una lastra di vetro o di plexiglas (non troppo spessa però: i normali vetri perfettamente trasparenti alla luce visibile sono poco trasparenti ai raggi ultravioletti e le lastre di vetro al quarzo non sono esattamente un oggetto facilmente reperibile a basso costo) oppure ad un sistema con pompa a vuoto, un po' complesso per l'autocostruzione ma spesso adottato nei bromografi commerciali.
- Al fine di una maggiore aderenza tra disegno e basetta vi consiglio di inserire il master capovolto (cioè con l'inchiostro del disegno a diretto contatto con la basetta): non dimentichiamo infatti che un foglio di acetato ha uno spessore paragonabile a quello di una pista sottile e quindi si rischia di rendere poco nitida l'ombra proiettata. Ovviamente il disegno dovrà in questo caso essere adeguatamente stampato al rovescio (opzione **mirror** in molti programmi di stampa).
- L'uso di un **timer** elettronico o di un cronometro a mano è assolutamente necessario: tempi troppo lunghi o troppo brevi rischiano infatti di compromettere tutto il lavoro. Per determinare con precisione i tempi di esposizione necessari, potete seguire la procedura di [test](#) descritta più avanti.

Prima dell'esposizione il photoresist appare di colore verde o bluastro con sfumature varie dovute al produttore (o anche alla partita di materiale usato). Dopo l'esposizione ai raggi UV, invece... pure! In effetti ad occhio non si vede nessun cambiamento nella vernice anche se, non sempre però, guardando con attenzione la basetta si intravede una leggera traccia del disegno del master. Per vedere chiaramente il disegno occorre procedere allo sviluppo con un apposito bagno chimico.

## Quanto tempo per l'esposizione ?

La determinazione dell'esatto tempo di esposizione è un'operazione delicata e purtroppo influenzata da molti fattori, spesso poco controllabili e/o misurabili. Solo per citarne alcuni elementi di disturbo:

- Il tipo di sorgente UV
- La distanza tra basetta e sorgente UV
- La trasparenza agli UV del vetro e del foglio di acetato
- L'opacità del disegno
- La qualità del photoresist
- Lo spessore del photoresist

Diffidate da chi dice che per una corretta fotoincisione serve un'esposizione di 3'20", senza aggiungere altro...

Di seguito riporto una tabella con indicati alcuni tempi ma voglio sottolineare che si tratta di tempi largamente indicativi e da verificare con la procedura di [test](#) che vi propongo nel successivo paragrafo (i tempi sono tratti in parte dall'esperienza personale, in parte da test ed in parte da interventi vari trovati su gruppi di discussione).

Tipo lampada	Potenza	Distanza	Tempo
Lampada solare	300W	25 cm	30" – 5 minuti
Lampada solare	60W	20 cm	5 – 30 minuti
Philips TLAD 15W/05	15 W	10 cm	30" - 3 minuti
Philips photolita	250W	20 cm	2 - 10 minuti
Lampada alogena (senza filtro UV)	150W	20 cm	5 - 20 minuti
Lampada kripton	100 W	10 cm	5 – 30 minuti
Lampada a vapori di mercurio	1000W	50 cm	3 – 15 minuti

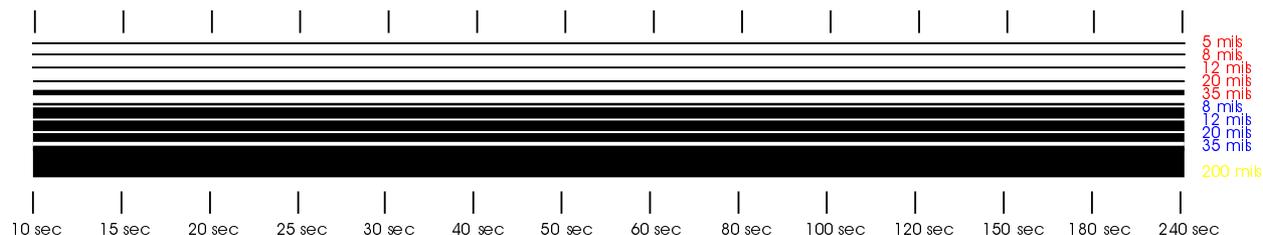
Da notare che molte di quelle sopra riportate sono lampade che emettono luce visibile, oltre che UV: per questo sono relativamente meno nocive dei tubi che emettono soprattutto UV e quindi si possono usare senza eccessivi timori. Vi invito comunque a seguire scrupolosamente le indicazioni di sicurezza riportate sulle confezioni.

Se invece siete tra i "fortunati" che, come me, hanno a disposizione un bromografo "vero", leggetevi il libretto di istruzioni: in genere troverete indicati tempi dai 20 secondi ad un paio di minuti, anche in questo caso largamente indicativi.

## Test del tempo di esposizione

Per trovare il tempo di esposizione corretto è sempre necessario fare una prova, sprecando una basetta nuova. Vi consiglio fortemente di farla almeno una volta e, se possibile ripeterla ogni volta in cui si cambia qualcosa nei dispositivi o nei materiali utilizzati. Con la stessa prova, è possibile anche verificare gli spessori delle piste ottenibili, le distanze di isolamento, l'effettiva trasparenza/opacità del master. Il tempo ed il materiale persi nella prova verranno rapidamente recuperati.

Si crea un master come quello più avanti riportato a titolo di esempio (attenzione: l'immagine non è in scala 1:1) . Da un po' di tempo io utilizzo solo master realizzati con PC ma, se lo credete opportuno, lo potete realizzare in tutto o in parte a mano con diversi pennarelli o pennini oppure con i trasferibili.



Osservando il master si nota che:

- Sono presenti varie linee sottili, utilizzate per verificare lo spessore minimo delle piste che possono essere stampate. Normalmente io uso piste con spessore 20 mils, cioè poco più di mezzo millimetro (un mils è un millesimo di pollice, cioè circa 0,025mm). Non si hanno grossi problemi con piste maggiori di 12 mils; scendendo a volte si ottengono circuiti stampanti con piste interrotte. Nel disegno sono riportate, in rosso, le dimensioni delle piste.
- Una serie di piste separate da isolamenti piuttosto piccoli (in blu le dimensioni). Normalmente la distanza tra le piste può scendere senza problemi a 10 mils o meno. E' meglio rimanere un poco più distanti nei pressi dei pin dove verranno fatte le saldature se non volete rischiare pasticci al momento della saldatura.

- Una linea molto grossa per testare come la stampante o la fotocopiatrice lavora con le grandi aree annerite (almeno 200 mils, circa 5mm)
- Una serie di linee a tratti verticali con indicati i tempi di esposizione. I tempi indicati sono adatti per l'uso con un bromografo standard; qualora utilizzate altre fonti di luce i tempi devono ovviamente essere adeguati, secondo la tabella indicativa riportata in precedenza: orientativamente servono non più di una decina di tacche intermedie, con sulla destra il tempo massimo, sulla sinistra quello minimo riportati sulla tabella. Qualora abbiate un'idea precisa sui tempi di esposizione anche solo tacche sono adeguate.
- La prima volta potete inserire anche una lunga striscia parallela alle altre fatta in un materiale sicuramente opaco agli UV e molto sottile, per esempio un pezzo di stagnola. Questo per verificare quanto l'inchiostro da voi usato nel disegno sia davvero "nero"
- Potete anche lasciare un pezzo di basetta senza master sovrapposto, oppure con doppio strato di acetato, per vedere quanto questo è trasparente agli UV
- Infine, più per curiosità che altro, provate a lasciare un pezzo di basetta non coperta dal vetro che, come ho già detto, è solo parzialmente trasparente agli UV

Per utilizzare questo master di test è necessario utilizzare una basetta con photoresist dello stesso tipo di quelle che intendete utilizzare, dalle dimensioni di circa 150x50 mm (diciamo mezzo eurocard diviso a metà per il lato lungo, o anche meno). A questo punto occorre:

1. Inserisce la basetta nel bromografo oppure sotto la lampada UV che intendete utilizzare.
2. Sovrapporre il master. È importante che durante tutto il processo non vi sia il minimo spostamento relativo tra basetta e master. Nel dubbio un po' di nastro adesivo ben fissato ai bordi
3. Pressare per bene il master contro la basetta, bloccando il vetro di copertura con dei pesi oppure azionando la pompa per creare il vuoto, se disponibile. Verificate che non ci siano bolle d'aria o simili imperfezioni. Il "sandwich" così realizzato non dovrà più essere aperto fino alla fine del test
4. Coprire il tutto con un cartoncino nero ben spesso (tipo cartolina illustrata), un foglio di alluminio o un altro materiale perfettamente opaco agli UV, lasciando scoperto solo il breve tratto di linee alla destra della tacca con scritto 180 secondi. Per bloccare il cartoncino potete, se necessario, usare un pezzo di nastro adesivo.
5. Chiudete il bromografo ed accendetelo per 60 secondi ( $240 - 180 = 60$ ). Qualora la vostra sorgente di UV non permetta l'accensione e lo spegnimento per brevi periodi (molte lampade UV hanno questo comportamento), potete semplicemente schermarla, spostarla oppure sfilare tutto il sandwich, facendo sempre attenzione ad evitare spostamenti relativi tra il master e la basetta (e attenzione agli occhi se aprite il bromografo a luce accesa)
6. Spostate il cartoncino nero posto sopra il vetro in corrispondenza della tacca con scritto 150 secondi, scoprendo così un tratto maggiore di linee
7. Chiudete il bromografo ed accendetelo per 30 secondi ( $180 - 150 = 30$ )
8. Continuate così, scoprendo una alla volta tutte le tacche. Alla fine vi troverete con una basetta che, nel tratto all'estrema destra è stato esposto per 240 secondi alla luce UV (quindi per un tempo eccessivo), nel tratto all'estrema sinistra per 10 secondi (quindi per un tempo troppo breve). Le zone intermedie saranno invece state esposte per tempi via via crescenti.
9. Procedere con lo sviluppo e l'[incisione](#), verificando il risultato; solo nella zona centrale le piste e gli spazi tra le piste saranno perfettamente definiti: nella tacca corrispondente si potrà leggere l'esatto tempo di esposizione. Eventualmente ci si può aiutare con un ohmetro per misurare la resistenza delle piste più sottili ed evidenziare così microinterruzioni non riscontrabili con l'ispezione visiva



Riporto qui sopra, a titolo di esempio, il master (che ovviamente... non si vede nelle parti trasparenti) e la basetta già incisa che ho utilizzato in una prova (il master è diverso da quella dell'immagine di esempio ed è ottenuto su carta da lucido con stampante HP Laser Jet 6MP). Sono presenti sei linee orizzontali con spessori, dall'alto, di 8, 12, 20, 45, 45 e 100 mils. La distanza tra le due piste da 45 mils è pari a 10 mils. Purtroppo l'immagine non riproduce chiaramente le piste più sottili. I tempi di esposizione utilizzati sono stati:

- 10 secondi la fascia più a destra: il tempo di esposizione è insufficiente; infatti, come si osserva chiaramente, quasi tutto il rame è rimasto anche se le parti esposte agli UV appaiono come corrose in superficie
- 20 e 30 secondi nelle due fasce centrali: i tempi sono ambedue adeguati, anche per le piste più sottili. Con questa serie di basette, più sensibili della media in verità, ho poi sempre usato 20 secondi di tempo di esposizione
- 50 secondi: il tempo eccessivo: le piste, sono un po' troppo irregolari ed ossidate in superficie. Le linee più grosse non hanno problemi a livello elettrico ma quella da 8 mils è praticamente inutilizzabile per il rischio di microinterruzioni..

Più sotto, un ingrandimento della zona centrale della basetta (scusatemi per la qualità dell'immagine: è il massimo che sono riuscito ad ottenere con uno scanner a 600 dpi ottici): le piste, anche quelle sottili (come già detto lo spessore della pista più sottile, a sinistra, è di circa 0,2 mm) appaiono perfette, sia all'ispezione ottica che alla verifica strumentale. Lo stesso può essere detto per l'isolamento tra le due piste da 45 mils.



Normalmente io utilizzo piste da 20 mils se non mi serve far passare piste tra i pin degli integrati e 12 mils nelle piastre più dense. Lo spessore di 8 mils lo lascio solo ai casi "indispensabili" in quanto, occasionalmente, ho avuto

problemi di continuità elettrica. Per gli isolamenti preferisco non scendere sotto i 10 mils (non ci sono problemi insormontabili a scendere ulteriormente se non si hanno saldature nei pressi degli isolamenti); è meglio comunque usare almeno 20 mils, se possibile. Ovviamente per problemi particolari (alte correnti, alte tensioni), uso spessori e distanze maggiori ed adeguati alle circostanze.

## Lo sviluppo

Per evidenziare il disegno delle piste dopo l'esposizione è necessario utilizzare l'apposita soluzione: lo sviluppo non fa altro che sciogliere la vernice fotosensibili illuminata dagli UV, lasciando intatta la parte rimasta in ombra.

I prodotti chimici necessari sono venduti a caro prezzo nei negozi di elettronica. In realtà si tratta di comunissima **soda caustica** (NaOH) reperibile in qualunque laboratorio di chimica a poche mille lire al Kg (ma a voi ne bastano pochi grammi). Se avete un amico chimico: problema risolto. Altrimenti provate in una ferramenta. O ancora potete recarvi in un supermercato nel reparto dei detersivi e cercare tra disgorganti per impianti idraulici: leggete la composizione e ne troverete certamente uno a base di NaOH (io ho comprato un vasetto di Niagara®: perfetto).

Qualche avvertenza:

- La soda caustica è... caustica e quindi corrode violentemente molte sostanze ed è pericolosa ad esempio per gli occhi: seguite scrupolosamente le avvertenze, e attenzione ai bambini
- La soda caustica se in grani tende ad essere igroscopica, diventando una poltiglia inutilizzabile nel giro di pochi anni. Se diluita tende a precipitare (mi sembra che diventi carbonato di calcio ma non ne sono sicuro) e diventa inutilizzabile nel giro di qualche mese. Quindi non pensate a quantità industriali.

La soluzione di sviluppo va preparata sciogliendo indicativamente dai 5 ai 20g di NaOH in un litro di acqua (se quella del rubinetto è molto calcarea, molti consigliano di prenderla distillata). Ho parlato di una quantità indicativa perché non penso nessuno abbia la possibilità di pesarla a casa e, del resto, è un'operazione che non serve. Io faccio così: prendo un cucchiaino scarso di soda, la metto in una bacinella con qualche bicchiere d'acqua tiepida e la faccio sciogliere con molta cura. A parte preparo una soluzione molto concentrata di NaOH (anche 100 grammi per litro), eventualmente scaldandola, e curando attentamente che non vi siano granuli non disciolti (**attenzione**: quando concentrata la soda è altamente corrosiva). Quindi procedo con lo sviluppo con la soluzione più diluita; se troppo lento, aggiungo lentamente un po' di soluzione concentrata, facendo attenzione che non investa direttamente la bassetta. La preparazione della soluzione è leggermente esotermica: è quindi normale un certo riscaldamento.

Da notare che una volta preparata la soluzione basica, questa può essere riutilizzata per molto tempo, praticamente fin tanto che rimane abbastanza trasparente oppure si cominciano a notare depositi sul fondo. Mi raccomando: tenerla fuori portata dei bambini e scrivere chiaramente sul contenitore di cosa si tratta.

La bassetta si immerge nella soluzione di sviluppo con il rame verso l'alto, usando le opportune precauzioni per evitare schizzi o graffi; in pochi secondi si nota l'inizio della reazione: la superficie della bassetta diventa di un colore verde o blu molto scuro, quasi nero. È opportuno agitare molto delicatamente con un pennello morbido la soluzione sulla superficie della bassetta, in modo tale da rimuovere la patina nerastra presente e quindi poter vedere in modo molto netto le piste, che devono apparire in 10-20 secondi. Il tempo dello sviluppo deve essere tale da rimuovere completamente il photoresist inutile lasciando però intatte le piste del circuito: l'unico modo di verifica è l'osservazione diretta, tenendo conto che a volte il rame potrebbe sembrare pulito anche se in realtà è ancora ricoperto da una patina semitrasparente. Per una verifica: provate a graffiare una zona di rame pulito per verificare che non vi sia nessuna pellicola ancora presente. Un metodo utile per riconoscere il termine della reazione è verificare che non ci sia più alcuna formazione di liquido nerastro ed attendere quindi ancora qualche istante, sempre usando delicatamente il pennello.

Per questa lavorazione la temperatura della soluzione non deve essere né troppo bassa né troppo alta: diciamo tra i 20 e i 30°C. Un *leggero* aumento del tempo di sviluppo non porta problemi particolari, soprattutto se l'esposizione è stata fatta correttamente e il photoresist è di buona qualità.

Una volta accuratamente lavata la basetta (attenzione a non mischiare la NaOH con i liquidi di incisione), si procede con l'[incisione](#) in cloruro ferrico. È inutile l'asciugatura che tanti consigliano; anzi a volte graffia la superficie, rovinando lo strato protettivo. È meglio non far passare tempo tra l'esposizione, lo sviluppo e l'incisione in quanto con il tempo il photoresist, soprattutto se già sviluppato, perde di resistenza all'incisione. Dopo l'incisione invece la basetta può essere immagazzinata anche per mesi, per poi procedere alla foratura ed alla saldatura. Per la saldatura non sempre è necessario togliere prima il photoresist, operazione da fare comunque all'ultimo momento: a volte è perfettamente saldabile ed aiuta a proteggere il rame dall'ossidazione (prima però fate un test accurato perché non tutti i photoresist sono uguali).

## L'incisione

L'incisione è l'operazione che permette di togliere chimicamente il rame in eccesso. Il rame che deve rimanere deve essere protetto da una vernice resistente alla corrosione, precedentemente stesa attraverso il [trasferimento diretto](#) oppure la [fotoincisione](#), come descritto nei precedenti paragrafi.

**Premessa:** le sostanze chimiche usate per corrodere il rame hanno la malaugurata proprietà di essere dannose agli occhi (quindi non farebbe male un paio di occhiali di sicurezza), di essere corrosive sulla pelle (e quindi un paio di guanti adatto non è inutile), di rovinare i vestiti e tutti gli oggetti metallici (e quindi regolarsi di conseguenza). E, per finire, emettono vapori tossici: se possibile lavorare quindi all'aperto o comunque in locali ben aerati o dotati di aspiratori. Leggere sempre attentamente le istruzioni riportate sull'etichetta delle sostanze chimiche e soprattutto non lasciare nulla incustodito o in confezioni anonime: alcune sostanze sono perfettamente trasparenti e in una bottiglia di acqua minerale potrebbero trarre in inganno chiunque.

Per l'incisione si utilizza un liquido corrosivo, spesso impropriamente chiamato "acido". Personalmente ho sempre usato solo cloruro ferrico: si tratta di un sale relativamente poco corrosivo (se si immerge una mano per un istante nella soluzione l'effetto più fastidioso è il colore giallo-fumatore che rimane per qualche giorno sulle dita e l'odore caratteristico che resiste anche a numerosi lavaggi). L'effetto più devastante è la macchia gialla lasciata sui vestiti: in caso di emergenza e se la macchia non è troppo estesa vanno bene i prodotti venduti nei supermercati e normalmente usati per pulire gli abiti dalle macchie di ruggine (ma possono rovinare le stoffe e quindi meglio prevenire).

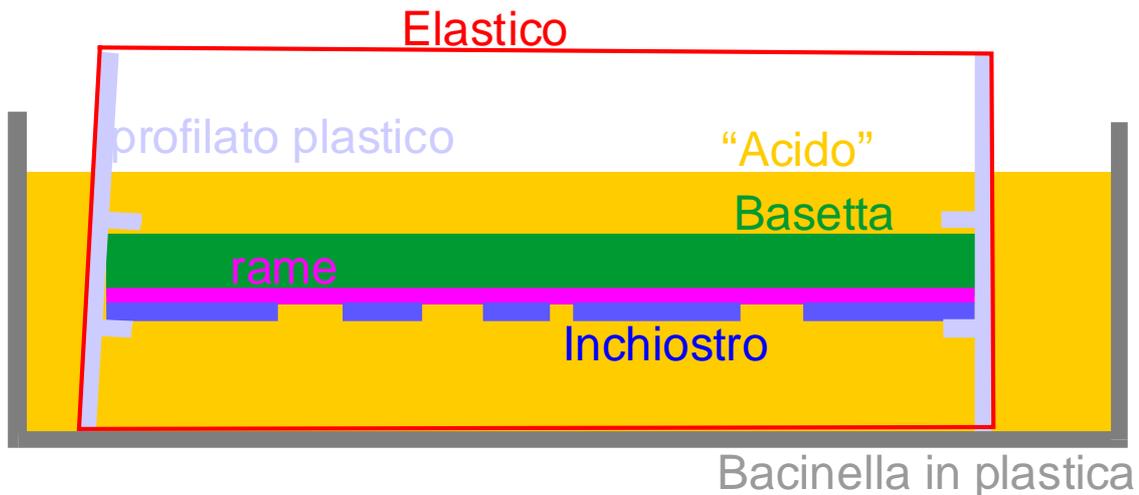
Da notare che il cloruro ferrico corrode, oltre al rame, anche tutti i metalli di uso comune in particolare l'alluminio: tutti i contenitori e gli attrezzi che vengono a contatto con esso devono quindi essere in plastica o vetro.

Il **cloruro ferrico** (qualche mille lire al kg) si compra nei negozi di elettronica sotto forma di scaglie giallo-bruno da sciogliere in acqua (seguire le indicazioni e le quantità riportate sulla confezione) oppure già in soluzione; quando il liquido è nuovo appare semitrasparente (tipo coca-cola, senza bollicine ovviamente) ma dopo due o tre volte che si usa tende a diventare più scuro e denso. Un litro è sufficiente per diversi metri quadri di circuiti stampati. Per lo smaltimento occorrerebbe utilizzare ditte specializzate: personalmente ne sto accumulando diversi litri da conferire assieme ad altri rifiuti tossici prodotti nel laboratorio chimico della mia scuola. Qualcuno semplicemente lo butta nel lavandino o, previa essiccazione o precipitazione, tra i rifiuti solidi urbani: no comment.

Il tempi di incisione, seguendo le opportune strategie, varia da pochi minuti al quarto d'ora. Alcuni consigli:

1. Il cloruro ferrico è maggiormente attivo a temperature elevate: meglio quindi riscaldare il contenitore a 40-50°C se si ha fretta. Temperature più elevate possono creare qualche problema allo strato protettivo, soprattutto se avete utilizzato i trasferibili. Attenzione: le temperature elevate fanno aumentare i vapori tossici emessi.
2. Il contenitore deve essere in plastica o vetro tipo pirex (perfette le **bacinelle** usate dai fotografi). Assolutamente da evitare contenitori metallici: si scioglierebbero nel giro di pochissimo tempo, inondando il tavolo di liquido giallastro e corrosivo.
3. Per ottenere una maggiore velocità molti consigliano di agitare la bacinella o immettere bolle d'aria: la cosa funziona ed effettivamente i tempi di riducono almeno di cinque volte. Personalmente preferisco però tenere la basetta con il rame rivolto verso il basso ma non appoggiato sul fondo della bacinella: in questo modo i tempi di incisione si riducono ulteriormente, con l'effetto non secondario di evitare nel modo più assoluto schizzi di

acido, visto che tutto rimane fermo. Inoltre si evita in modo quasi totale un problema sempre presente usando altri metodi: l'erosione più veloce dei bordi dello stampato rispetto al centro e la difficoltà nel togliere rame dalle grandi aree. L'unica avvertenza sta nell'evitare il formarsi di bolle d'aria sotto il circuito stampato: è sufficiente nel momento dell'immersione un piccolo movimento orizzontale al fine di far uscire tutta l'aria eventualmente presente. Il disegno qui sotto rappresenta l'oggetto che io utilizzo: due profilati dotati di scanalatura in plastica, serrati intorno alla bassetta da un elastico (quest'ultimo da cambiare spesso in quanto tende a corrodarsi dopo pochi utilizzi): in questo modo è anche facile sollevare lo stampato per guardare come procede l'incisione. Il sistema è integrabile, volendo, con un piccolo compressore da acquario che soffia aria nell'acido oppure con un motorino elettrico con riduttore di velocità (1 giro/secondo) con eccentrico che genera onde nel liquido. Queste cose non sono necessarie ma accelerano di un poco il processo .



4. Il tempo di incisione è di un paio di minuti con il cloruro ferrico fresco, anche 15-20 minuti quando è molto vecchio; oltre è meglio buttarlo a meno di avere molta pazienza. Da notare che questi tempi sono riferiti all'uso di cloruro tiepido e circuito stampato rovesciato in quiete. In caso contrario: aggiungete anche uno zero...

L'incisione termina quando tutto il rame non protetto dalla vernice viene asportato. Vi consiglio, durante l'incisione, di controllare ogni tanto a che punto è arrivato il processo: infatti un'eccessiva immersione rischierebbe di asportare anche il rame protetto dalla vernice:

- anche la vernice più resistente è intaccata, con il tempo, dall'acido
- l'azione dell'acido avviene non solo con un attacco diretto dal di sotto, ma anche dal fianco laterale, scavando sotto la vernice che rimane intatta. Questo effetto è particolarmente sentito nelle piste molto sottili

Da evitare anche il rischio opposto, cioè il lasciare la bassetta per un tempo troppo breve: occorre che tutto il rame scoperto sia stato perfettamente corroso. Per questo basta l'osservazione visiva.

Un abbondante lavaggio in acqua corrente è opportuno al termine, soprattutto perché non è comodo maneggiare un oggetto che anche dopo diversi giorni sporca tutto ciò con cui viene a contatto. A questo punto è possibile procedere alle varie [lavorazioni meccaniche](#).

Una nota che potrebbe sembrare ovvia: occorre lavare sempre molto accuratamente tutti i materiali usati con il cloruro ferrico in quanto, dopo che si è seccato, diventa di difficile rimozione.

## Le lavorazioni meccaniche

### La foratura

La foratura viene fatta in corrispondenza delle apposite piazzole con un **trapano** ad alta velocità (almeno 10.000 rpm): in commercio si trovano modelli adatti a poche decine di mille lire, con alimentazione in continua di un paio di decine di volt.

Il diametro delle punte normalmente usate è di 0,8 mm (o anche 1 mm, più facile da trovare anche se un po' troppo grandi per un impiego generico). Ottime anche quelle da 0,6 mm, soprattutto per i circuiti integrati, e 1,3 mm (o anche 1,5 mm) per i componenti di grosse dimensioni.

Naturalmente il diametro della piazzola deve essere adeguato al foro che si intende fare: nella tabella riporto i valori che normalmente utilizzo, tenendo conto che una piazzola più grande non ha particolari problemi, almeno entro limiti ragionevoli; l'unica cosa da evitare sono i fori all'interno di ampie aree di massa in quanto è facile ottenere "saldature fredde" a causa della notevole dispersione di calore.

Punta	Forma piazzola	Dimensioni piazzola
0.6 mm	Tonda	Ø 63 mils (1.6 mm)
0.8 mm	Quadrangolare	63 x 100 mils (1.6 x 2.5 mm)
0.8 mm o 1 mm	Tonda	Ø 75 mils (1.9 mm)
1.3 mm	Tonda	Ø 100 mils (2.5 mm)

Esistono punte apposite al **carburo di tungsteno** o in altri materiali particolarmente duri, caratterizzate da un angolo di spoglia di 100-110°; essendo molto fragili, sono adatte solo con trapani di precisione a colonna. Sono piuttosto costose (anche 10.000 lire l'una). Se si usa un trapano a mano meglio le normali punte **HSS** per metalli anche se durano per solo un centinaio di fori o poco più con laminati plastici o addirittura meno se lo stampato è in fibra di vetro: dopo infatti perdono il filo, rovinando eccessivamente il foro e la piazzola. In compenso si trovano ovunque e costano meno di mille lire.

Al fine di favorire la centratura della punta si consiglia vivamente di indicare con un piccolo foro nel rame al centro della piazzola: la cosa è semplice solo se per il disegno si usa un CAD oppure i trasferibili. Nel caso in cui non sia segnato il punto in cui forare si può procedere con una leggerissima bulinatura: non c'è nulla di più incontrollabile di una punta dal diametro di 0,6 mm che ruota a 10.000 rpm.

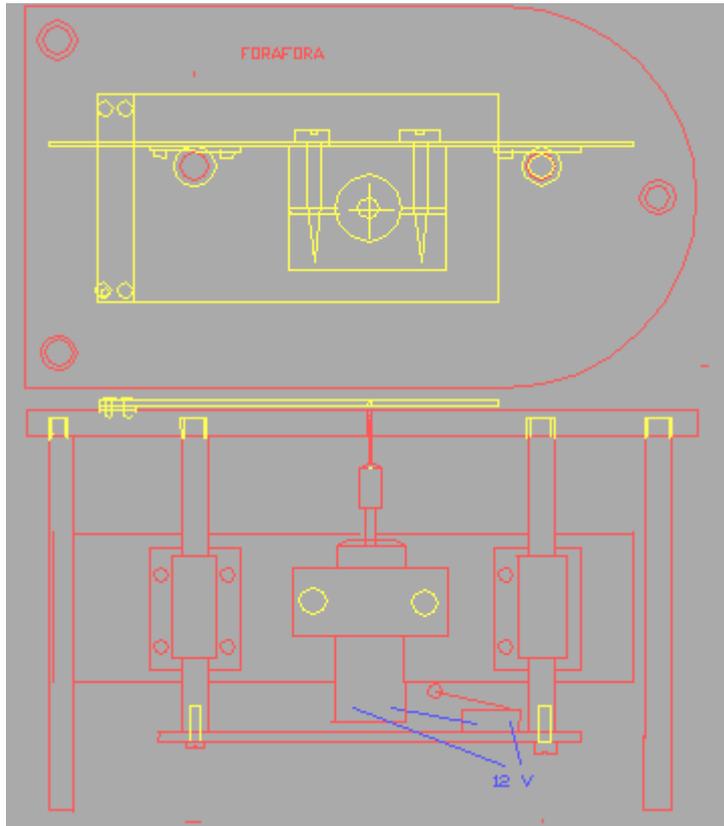
Prima o dopo la foratura è opportuno tagliare la basetta nella dimensione definitiva con una **forbice per lamiere** (circa 20.000 lire), una taglierina robusta o un utensile elettrico. Attenzione che i bordi del circuito stampato si rovinano facilmente e quindi è bene mantenere una certa distanza rispetto alle piste. Per le finiture è perfetta la carta vetrata grossa o un utensile elettrico.

### Il fora-fora (un'idea di Giorgio Montaguri)

Il fora-fora è una macchina semplice ma nel contempo efficace che permette di forare i circuiti stampati senza troppa fatica, con notevole precisione e, soprattutto, senza il rischio di rompere le punte. Certo la realizzazione è lasciata a chi ha una certa familiarità con le costruzioni meccaniche di precisione (non è in vendita...).

Nel disegno sotto riportato, due viste dell'oggetto (le linee gialle sono tratteggiate)

Come si può vedere, si tratta di un normale trapanino da circuiti stampati montato su una slitta che permette lo scorrimento verticale della punta. Un finecorsa attiva automaticamente la rotazione solo quando è necessario, cioè quando la punta si sta avvicinando allo stampato. Una particolarità distingue il fora-fora da un normale trapano a colonna con interruttore di avvio automatico: la punta non effettua il foro dall'altro in basso, cioè in quello che



sembra essere il modo più naturale, ma esattamente al contrario; la punta sale da sotto, fora la vetronite, fora il rame ed infine appare alla vista.

Il vantaggio è ovvio: la superficie da forare è sgombra dalla presenza della punta e quindi può essere osservata in modo più naturale. Inoltre sulla superficie dello stampato non si forma quel mucchietto di trucioli piuttosto fastidioso e che deve essere continuamente asportato soffiandoci sopra.

Il problema è solo capire dove spunterà la punta, visto che è decisamente scomodo "prendere la mira" guardando sotto il tavolo... E qui arriva l'idea: la punta sale dal basso attraverso un superficie metallica a cui è sovrapposto un piano in plexiglas trasparente, tenuto sollevato a sbalzo per poco meno di 2 millimetri, cioè esattamente lo spessore di un circuito stampato. La prima volta che la punta sale fa un foro nel metallo e quindi uno nel plexiglas, lasciando un segno chiaramente visibile. Inserito uno stampato da forare tra la superficie metallica ed il plexiglas è sufficiente far coincidere il centro della piazzola con il foro nel plexiglas, cominciare a far salire il

trapanino (che si accende da solo) e vedere la punta che, uscendo dal solito buco, attraversa lo stampato esattamente al centro della piazzola.

Per una visione ancora più comoda del punto di lavoro è possibile metterci sopra uno specchietto inclinato a 45° in modo da vedere la piazzola attraverso il foro nel plexiglas.

## La pulitura del rame

A questo punto occorre togliere la vernice protettiva: si possono usare sistemi meccanici (paglietta metallica da cucina oppure carta vetrata finissima, usata delicatamente) oppure chimici (trielina, acetone o altri solventi). Un vantaggio dei sistemi meccanici è la superficie leggermente ruvida che lasciano: ciò favorisce la saldatura. Uno svantaggio è invece la possibilità di rovinare il rame se l'operazione è troppo "energica".

Indipendentemente dal sistema utilizzato si consiglia di fare l'operazione di pulizia solo all'ultimo momento, poco prima della saldatura: infatti la vernice protegge il rame dall'ossidazione superficiale, sempre nemica di una buona saldatura. Altrimenti, una bella lucidata con una paglietta da cucina all'ultimo momento ottiene i risultati voluti.

Infine alcune vernici (ma non quella dei pennarelli, né i trasferibili) possono essere lasciate anche durante la saldatura in quanto perfettamente saldabili: occorre però un'attenta verifica preventiva su un punto non critico della bassetta.

## La saldatura

La saldatura a stagno è l'operazione che permette il fissaggio dei componenti al circuito stampato. Consiste nella fusione nel punto di contatto tra rame e componente di una lega metallica che, raffreddandosi, permette la connessione elettrica e meccanica.

Il **saldatore** è lo strumento che permette la fusione della lega saldante. È importante che la punta sia piuttosto sottile, per permettere saldature di precisione, e in nello stesso tempo dotata di elevata massa termica, per mantenere costante la temperatura; soprattutto deve essere "corazzata", cioè internamente in rame e rivestita da un sottile strato ad alta resistenza: la lega fusa è infatti piuttosto aggressiva e finirebbe con il corrodere la punta in solo rame. D'altra parte una punta interamente in acciaio non riuscirebbe a condurre adeguatamente il calore.

La potenza necessaria è relativamente piccola: si va da 15W a 25W o poco più; personalmente a casa lavoro con un saldatore 24V, 24W; a volte, nel caso di grosse superfici, lo alimento a 30V per avere un maggiore riscaldamento nel caso di saldature su ampie superfici. Per lavorare seriamente è meglio usare una stazione di saldatura termostata da almeno 50W: peccato che costi facilmente un centinaio di euro o anche più, soldi sicuramente ben spesi per il lavoro ma a volte difficili da ammortizzare per un hobby; un ripiego di lusso sono le punte termostate. Vanno evitati nella maniera più assoluta i saldatori cosiddetti "istantanei" con impugnatura a pistola. Per casi particolari sono utili i saldatori a gas, poco più grandi di una penna: sono portatili ma non sostituiscono del tutto il saldatore elettrici

Non risparmiate 1000 lire quando acquistate il saldatore: non ve ne pentirete...

La **lega saldante** (il cosiddetto stagno) è costituita da piombo e stagno in percentuali variabili ma generalmente al 60% di stagno. A volte è presente anche un punto percentuale di rame. La temperatura di fusione si aggira intorno ai 180-190°C o poco più. È venduta sotto forma di fili dal diametro di 1 mm (vi sconsiglio per usi generali quello di 1,5mm; per lavori di precisione si trovano anche matasse da 0,7 mm adatto anche per lavori generici se non troppo impegnativi). In realtà si tratta non di un filo massiccio ma di un "tubo" internamente riempito di un liquido semitrasparente (il flussante o colofonia): il suo compito è quello di prevenire la formazione di ossidi ed in definitiva facilitare la saldatura.

Purtroppo ha la caratteristica di emettere il caratteristico fumo bianco (è nocivo, quindi occorre aerare o aspirare i fumi) e sporcare circuito stampato e punta del saldatore.

Qualche accessorio minore, ma importante:

- un **supporto** a cui appoggiare il saldatore caldo quando non lo si usa (non l'ho detto sopra, ma mi sembra ovvio che scotta, molto...)
- una **spugna** umida con cui pulire la punta ancora calda sporca di scorie (ne vendono di molto comode ma va bene anche uno straccio inumidito).
- in mancanza di un dissaldatore elettrico, sempre utile una **pompetta succhiastagno** o l'apposita paglietta in rame. In caso di emergenza potete anche usare la calza in rame di un cavo schermato.
- un **tronchese a lame piatte** di piccole dimensioni per il taglio dei reofori dei componenti (ne esistono di specifici per circuiti stampati)

La saldatura di ciascun punto deve durare pochi secondi, ma senza fretta.

1. Si inserisce il componente nei fori e si tagliano i reofori, lasciandoli sporgere un paio di millimetri. A volte è più comodo tagliare i componenti solo dopo la saldatura perché girando lo stampato tendono meno facilmente a cadere fuori. In genere io faccio un mix dei due sistemi, come capita.
2. Si gira lo stampato in modo da vedere il lato rame. Piccola nota: i componenti si saldano partendo da quelli più bassi perché in questo modo è possibile appoggiare lo stampato sul tavolo senza far scivolare fuori i componenti.
3. Si appoggia la punta del saldatore in contemporanea al rame della piazzola ed al reoforo del componente per un preriscaldamento (1 secondo o anche più, in funzione delle dimensioni della piazzola e del componente)
4. Si appoggia il filo di stagno al rame o al reoforo, non alla punta del saldatore. Lo stagno fonde e, da solo, deve scorrere e coprire tutta la superficie del rame e il reoforo (1-2 secondi). Se non scorre vuol dire che il rame è sporco o freddo (o che lo stagno è scadente). Dopo 10 secondi di inutile tentativi di saldatura in un singolo punto, meglio sospendere, far raffreddare il tutto e cercare di calmarsi

5. Si toglie il filo di stagno, lasciando però ancora il saldatore per un secondo.

La quantità di stagno deve essere appena sufficiente per coprire interamente la piazzola. La saldatura deve assumere la forma di un piccolo cono. Assolutamente cattive sono le saldature che assumono la forma di una pallina: in questo caso meglio rimuovere tutto lo stagno con il succhiastagno e rifare da capo la saldatura,

Nel caso di ponticelli tra la saldatura e una pista vicina, meglio usare il succhiastagno (e ricordarsi la volta dopo di mettere meno stagno).

Malgrado quello che a volte si legge sulle riviste o si sente raccontare è praticamente impossibile bruciare un componente durante la saldatura, almeno mantenendo i tempi nell'ordine della decina di secondi. È invece abbastanza facile distaccare una piazzola dalla basetta con una saldatura troppo prolungata o, più frequentemente, durante la dissaldatura di un componente.

Sulla punta del saldatore si forma sempre un po' di stagno: se troppo può essere tolto picchiando con decisione il polso sul tavolo (attenzione a dove cade la goccia di metallo fuso: scotta e rovina le materie plastiche).

Se la punta è sporca di residui neri lasciati dal fluxante, pulitela a caldo con una spugnetta umida e "lavatela" con abbondante stagno fuso, da togliere con il solito colpo sul tavolo. Una cosa da evitarsi in modo assoluto è la pulitura meccanica della punta con lime o carta vetrata, pena la distruzione del rivestimento protettivo e la drastica riduzione della vita della punta.

I vapori emessi durante la saldatura sono tossici e quindi occorre lavorare in un luogo aerato.

Dopo la saldatura di tutti i componenti ed il collaudo, una bella spruzzata di lacca isolante, previa protezione dei connettori e dei potenziometri e degli altri dispositivi meccanici. Anche per questa operazione meglio lavorare all'aperto.

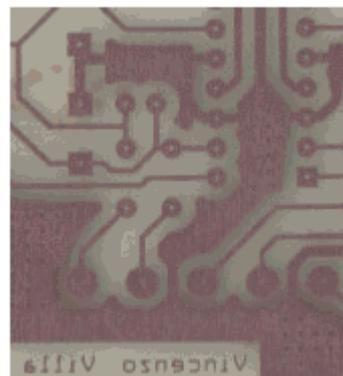
A questo punto il circuito stampato è finito ed arriva l'impresa per me più difficile: realizzare il contenitore (ma qui, scusate, mi fermo: in materia sono una frana).

## ***Gli errori più comuni***

La produzione dei circuiti stampati è un processo abbastanza lungo e complesso, soprattutto se si usa la [fotoincisione](#). Di seguito qualche tentativo di prevenzione, di diagnosi e di cura degli errori più comuni. Ovviamente presuppongo la lettura completa delle metodologie da seguire precedentemente descritte e l'esecuzione attenta della prova di esposizione precedentemente descritte.

### **Qualche errore legato al master**

- Il disegno ha **errori nei collegamenti** tra i componenti: c'è poco da fare e occorre rifarlo. Se fatto a mano e l'errore non è troppo esteso si prova con lametta e pennarello. Se ci si accorge solo alla fine degli errori e si tratta di errori veramente molto piccoli è possibile intervenire con il trapano per tagliare le piste in eccesso ed uno spezzone di filo per crearne di nuove
- Il master usato per la [fotoincisione](#) è **troppo trasparente** e di scarsa qualità. Un problema che spesso si ha con master ottenuti con stampanti o inchiostri poco adatti. Provate a cambiare stampante o a cambiare tipo di foglio. A volte qualcuno consiglia di sovrapporre due master uguali ma ritengo sia una soluzione da lasciare come ultima spiaggia: personalmente non ho mai usato questo metodo.
- Il disegno dei collegamenti è stato usato in modo **capovolto**. Succede molto spesso a tutti, anche ai più esperti, sia usando la [fotoincisione](#) che riportando il disegno con il pennarello. Per questo si mettono sempre



in evidenza delle scritte (sono evidentemente inutili quelle simmetriche quali +, -, A...). Da buon megalomane, io ci metto il mio nome. Ed infatti a volte sbaglio, malgrado tutte le attenzioni, come dimostra il circuito qui riportato...

- Le piste sottili sono tutte **corrose** ed interrotte. Le piste utilizzate sono troppo sottili (scendere sotto i 10 mils è possibile con la [fotoincisione](#) ma prima è bene farsi un po' di esperienza), oppure l'esposizione è stata eccessiva, oppure ancora lo sviluppo è stato troppo prolungato o fatto con soluzione troppo concentrata. O ancora l'immersione nel bagno di [incisione](#) è durato veramente troppo.

### Qualche errore legato all'esposizione e allo sviluppo

Purtroppo gli errori di esposizione si vedono solo dopo lo sviluppo o addirittura dopo l'[incisione](#).

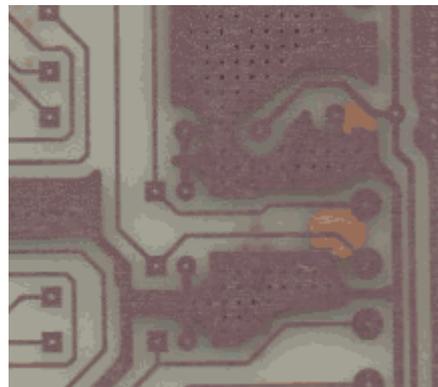
- Dopo l'esposizione sulla basetta non si vedono le piste. È normale...anche se guardando in trasparenza si vede qualcosa, in modo evanescente
- I bordi delle piste, sottoposti a forte ingrandimento, sono irregolari a causa dell'imprecisione delle ombre proiettate dal master. In genere è meglio realizzare l'esposizione tenendo il master con il disegno a diretto contatto del rame per avere ombre più nette (master capovolto). Oppure vi erano bolle d'aria (ma in questo caso le irregolarità sono concentrate solo in alcuni punti) o ancora il master non era sufficientemente pressato contro la basetta.
- Durante lo sviluppo le piste sono sparite tutte. Il problema più comune ed anche quello più difficile da diagnosticare. Potrebbe essere l'esposizione troppo lunga oppure il master realizzato con vernici troppo trasparenti agli UV. Rifare il [test](#) è indispensabile per trovare l'esatto tempo di esposizione, soprattutto se si sono cambiate le basette o la lampada UV. Per verificare che non sia colpa dell'esposizione (o del master), potete provare a mettere sopra un angolo del master un pezzo di cartoncino spesso, una striscia della pellicola adesiva incollata sulle basette o di stagnola ripiegata diverse volte, materiali sicuramente opachi agli UV: se anche la zona coperta viene corrosa, probabilmente è un errore di sviluppo o, più difficilmente, di [incisione](#). Potete provare anche a lasciare un pezzo di basetta non coperta dal master e dal vetro: infatti uno dei due potrebbe essere non sufficientemente trasparente. Oppure potrebbe essere lo sviluppo con soluzione troppo concentrata o durato troppo a lungo: in uno corretto sviluppo si nota la formazione di un liquido nerastro dopo una decina di secondi di immersione e deve costantemente osservato per individuare il momento in cui termina
- Il photoresist non è venuto via in nessun punto. L'esposizione è stata troppo breve e vi conviene rifare il [test](#). Oppure vi siete dimenticati di accendere la lampada (succede !): ricordate che dopo l'esposizione un leggerissima traccia delle piste deve essere visibile sulla basetta; eventualmente provate a guardare il photoresist di lato. Oppure il vetro utilizzato è troppo opaco agli UV: provate un mini-test di esposizione senza vetro. O ancora la vostra soluzione è troppo diluita (anche se una piccola reazione con la formazione di un liquido nero deve vedersi comunque)
- Il centro della basetta appare perfetto ma i bordi sono irregolari. Spesso le basette realizzare con lo spray (procedimento che comunque sconsiglio), ma a volte anche quelle industriali, hanno depositi di photoresist molto irregolari sui bordi: usate sempre una basetta più grande del master, lasciando un margine di almeno mezzo centimetro
- Piste interrotte in punti specifici o solo in alcune zone ma basetta complessivamente perfetta. Probabilmente la soluzione conteneva granuli di NaOH non perfettamente disciolti o avete versato direttamente la soluzione concentrata sulla basetta. Oppure le basette sono difettose. Oppure ancora avete graffiato la superficie della basetta, che è piuttosto delicata dal punto di vista meccanico

### Qualche errore legato all'[incisione](#)

- Il rame fatica ad essere rimosso. Potrebbe essere l'uso di cloruro ferrico ormai esaurito o troppo freddo. Oppure la superficie del rame è ossidata a causa dell'eccessiva esposizione all'aria dopo il disegno. O

ancora, lo sviluppo è durato un tempo troppo breve: infatti quello che a volte appare essere rame scoperto è in realtà ancora ricoperto da una sottilissima patina semitrasparente di photoresist.

- Le piste sono troppo corrose. Ricordate che una incisione troppo lunga corrode comunque le piste, soprattutto quelle sottili. In genere comunque qualche minuto di troppo nel cloruro ferrico non è dannoso
- A volte rimangono cerchietti in rame non presenti nel master, di colore rossastro: si tratta del segno lasciato da una bolla d'aria. Il cloruro ferrico è un liquido piuttosto denso e, se si lavora di fretta, è facile che rimanga intrappolata un po' d'aria che impedisce la corrosione. Per evitare il problema occorre inserire con calma la basetta nel bagno di incisione, con un movimento tale da far fuoriuscire tutta l'aria da sotto la basetta. Nell'immagine: quel giorno avevo fretta... Ben due bolle...
- Spesso al termine dell'incisione appaiono impronte digitali o altre macchie: ricordate che la superficie del rame non va toccata.
- Rimangono alcune zone con rame che deve essere tolto che appare "sfumato". Lasciate ancora un po' la basetta nel bagno di incisione.



#### Qualche errore legato alla saldatura

- Se lo stagno non aderisce al rame e tende a formare “palline” potrebbe trattarsi di rame ossidato (usare la paglietta prima di cominciare), di stagno scadente o, peggio, senza disossidante (potrebbe essere parzialmente utile l'uso dell'apposita pasta saldante), saldatore freddo, magari a causa di un'area di rame eccessiva da saldare per la potenza applicata, o soprattutto una procedura sbagliata in cui lo stagno viene fuso sulla pinta del saldatore.
- Se le piazzole si staccano la saldatura è durata troppo a lungo, oltre 10-20 secondi. Purtroppo la cosa avviene spesso durante la dissaldatura di un componente con molti pin o di grosse dimensioni ed in questo caso c'è poco da fare.
- Se si formano “ponti” tra due piazzole adiacenti e tra una piazzola ed una pista, probabilmente si è usato troppo stagno. A volte succede anche che la difficoltà nasca da un disegno troppo denso e da insufficienti distanze tra le piste.

#### Norme di sicurezza

Fermo restando l'uso del buon senso, la lettura attenta delle etichette ed il rispetto scrupoloso delle norme di sicurezza, qualche consiglio per il vostro bene e quello dei vostri familiari/amici/vicini e volendo anche del gatto e delle vostre piante:

- Il saldatore scotta: tenerlo sempre sott'occhio quando è caldo. Non lasciatelo acceso quando non lo utilizzate
- I fumi di saldatura sono tossici: lavorare in locali aerati o usate gli appositi aspiratori
- Evitate un eccessivo contatto con lo stagno: contiene piombo
- Attenzione nell'uso degli strumenti alimentati dalla tensione di rete. Verificare costantemente lo stato di manutenzione, soprattutto se usati vicino a liquidi corrosivi

- La luce UV è potenzialmente dannosa agli occhi ed alla pelle; leggere con attenzione e rispettare le norme di sicurezza fornite con le lampade ed il bromografo. Ed è invisibile
- Molte sostanze chimiche (cloruro ferrico, soda caustica, trielina) sono tossiche per inalazione, contatto o ingestione: lavorare sempre in luoghi aerati; evitare il contatto diretto con la pelle e gli occhi, usando guanti ed altri dispositivi di protezione individuale; non conservare in luoghi facilmente accessibili a bambini o estranei; usare sempre i recipienti originali con etichette chiaramente leggibile e comunque mai bottiglie o vasetti per alimenti. Leggere sempre le avvertenze
- Il cloruro ferrico è corrosivo: non usare in recipienti metallici; attenzione agli occhi, alla pelle, ai vestiti. Anche i vapori sono tossici. Leggere sempre le avvertenze
- La soda caustica è corrosiva sia allo stato solido che in soluzione. Leggere sempre le avvertenze
- Le sostanze chimiche esauste andrebbero smaltite con la procedura indicata dal produttore

<b>Cosa è un circuito stampato</b>	<b>1</b>
<b>Il trasferimento diretto</b>	<b>2</b>
<b>La fotoincisione</b>	<b>3</b>
Il master	4
La basetta con vernice fotosensibile	5
L'esposizione	6
Quanto tempo per l'esposizione ?	7
Test del tempo di esposizione	8
Lo sviluppo	11
<b>L'incisione</b>	<b>12</b>
<b>Le lavorazioni meccaniche</b>	<b>14</b>
La foratura	14
Il fora-fora (un'idea di Giorgio Montaguri)	14
La pulitura del rame	15
La saldatura	15
<b>Gli errori più comuni</b>	<b>17</b>
<b>Norme di sicurezza</b>	<b>19</b>

*Per qualunque comunicazione potete rintracciarmi all'indirizzo di e-mail: [VincenzoVilla@iname.com](mailto:VincenzoVilla@iname.com). In particolare sarà molto gradita la segnalazione degli errori e delle omissioni nonché dei passaggi che appaiono oscuri e poco comprensibili. Visitate il mio sito <http://VincenzoV.freeweb.org> per eventuali nuove versioni di questo file o per altre informazioni sull'elettronica amatoriale.*

*La distribuzione di questo file è, fatti salvi i diritti di terzi, libera e gratuita a condizione di non apportare modifiche e citare la fonte. E' vietato l'uso commerciale del materiale contenuto nel presente file, salvo espressa autorizzazione scritta*

Vincenzo Villa – I circuiti stampati fatti in casa - versione 1.1 – aprile 1999