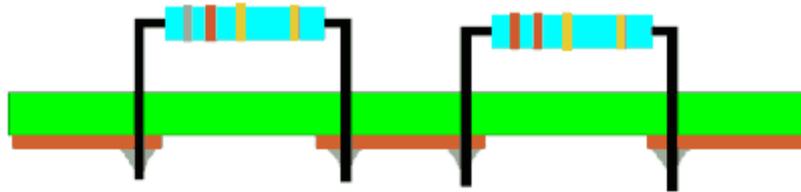


## Cosa è un circuito stampato

Prima di imparare a 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 che conferisce resistenza meccanica all'insieme
- in bruno il rame che realizza i collegamenti
- in grigio la saldatura tra i reofori delle resistenze (nel disegno in nero) e le piste in rame

Il montaggio rappresentato è detto "a singola faccia" o "single layer": il rame sta da un solo lato del circuito (il lato saldature o lato rame o bottom, sotto nella figura) mentre i componenti sono dall'altra parte (il lato componenti o top). Le connessioni sono realizzate attraversando fori passanti da parte a parte (THT, Through Hole Technology, spesso chiamato anche "metodo tradizionale").

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 su cui è incollata o depositata elettroliticamente una lamina di rame dallo spessore di 35 micron, corrispondenti a 305 g/m<sup>2</sup> o, come dicono in alcuni paesi extracomunitari, ad 1 oncia per piede quadrato.

Il materiale isolante più economico ma anche di minori prestazioni, soprattutto in alta frequenza, è la resina fenolica (bachelite o SRBP) che appare come un materiale uniforme di color giallo/marrone. Ha il vantaggio che si lavora facilmente dal punto di vista meccanico. Quando sono richieste migliori prestazioni viene usata la vetronite (FR4 o vetro epossidico) che, ovviamente, è più costoso e purtroppo tende a rovinare le punte del trapano durante la foratura in quanto contiene fibre di vetro. Alla vista appare come un materiale verdastro e traslucido.

Le basette sono disponibili presso i negozi di componenti elettronici e costano, nel formato classico di 100x160 mm (Eurocard). Esistono anche schede con uno spessore minore o maggiore di rame (per circuiti ad alte correnti a volte si usa rame con spessore di 70 micron), ma si tratta di materiale meno reperibile e comunque inutile nella maggior parte delle applicazioni hobbistiche. Sono inoltre in commercio basette con uno spessore complessivo inferiore al millimetro, adatte per esempio per produrre simcard, ma anche queste sono praticamente introvabili nei comuni negozi.

Per disegnare le piste viene normalmente utilizzata la cosiddetta tecnica sottrattiva: partendo da una superficie completamente coperta di rame, viene tolto tutto il materiale 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 qualche migliaio di euro) in genere si procede per via chimica. Per fare ciò si deve prima proteggere il rame che deve rimanere con una pellicola resistente ed e successivamente aggredire l'intera basetta con sostanze chimiche capaci di rimuovere il rame non coperto:

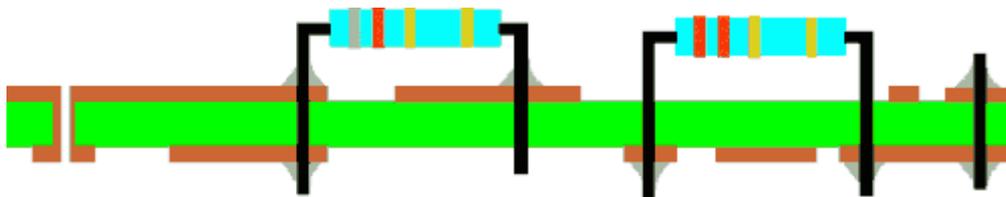
ovviamente il rame protetto dalla pellicola non viene intaccato, rimanendo sul supporto isolante a formare le piste necessarie per collegare i vari componenti.

## Circuiti stampati a doppia faccia

Quando un circuito stampato ospita numerosi componenti può essere complesso realizzare tutte le connessioni necessarie disegnando le piste da un solo lato della basetta. Una soluzione parziale consiste nell'usare i cosiddetti ponticelli (jumper) cioè degli spezzoni di filo che permettono di "saltare" gli ostacoli presenti sul lato saldature passando attraverso il lato componenti. Non sempre però i ponticelli sono sufficienti, soprattutto perché sono vincolati ad essere rettilinei e non troppo lunghi, pena eccessive difficoltà di montaggio.

La soluzione è l'utilizzo di basette le cui piste sono realizzate su entrambe le facce, cioè dual layer: in questo modo risulta più facile completare lo sbroglio, scegliendo il lato su cui far passare i vari segnali. Il materiale di partenza è costituito da una basetta su cui il foglio in rame è incollato ad ambedue le facce.

La figura seguente mostra un circuito stampato a doppia faccia.



Da sinistra verso destra possiamo vedere:

- Un foro metallizzato cioè un foro al cui interno è stato depositato uno strato di rame tale da realizzare il collegamento elettrico e meccanico tra le due facce, creando una sorta di rivetto. Purtroppo a livello hobbistico questo tipo di fori non sono realizzabili in modo affidabile e comodo, neppure usando gli appositi liquidi in commercio (costosi, abbastanza laboriosi da usarsi ed introvabili).
- Una resistenza i cui collegamenti (e relative saldature) sono realizzati sul lato componenti. Il reoforo di sinistra ha una doppia saldatura che garantisce anche il collegamento elettrico tra una pista del lato superiore ed una del lato inferiore
- Un resistore montato esattamente come se fosse saldato su un circuito a singola faccia
- Il collegamento tra una pista posta sul lato componenti (sopra in figura) ed una posta sul lato saldature realizzato con un filo lungo qualche millimetro che attraversa lo stampato da parte a parte. Da notare la doppia saldatura, una anche sul lato componenti, necessaria per realizzare il contatto elettrico. Analogamente è possibile utilizzare gli appositi cunei che hanno il vantaggio di bloccarsi meccanicamente durante la saldatura e lo svantaggio di costare una cifra (quando si trovano...)

Nei circuiti industriali spesso i layer sono 4, 6 o anche più (multilayer) ma ovviamente solo i due esterni sono visibili. I collegamenti tra i vari layer sono realizzati attraverso fori metallizzati, a volte anche ciechi, cioè non passanti.

## Circuiti stampati SMT

La tecnica di montaggio superficiale (SMT: Surface Mount Technology o anche SMD dove D sta per Device) dei componenti permette la saldatura senza realizzare un foro nella basetta in quanto le piste ed i componenti da saldare sono sullo stesso lato. Nella figura è riportato lo schema del montaggio di un resistore (in blu) e di un circuito integrato (in nero): la saldatura (in grigio scuro) appare come una sorta di goccia che realizza il collegamento elettrico.



I componenti a montaggio superficiale sono poco utilizzati in ambito hobbistico per una serie di motivi:

- la non semplice reperibilità dei componenti elettronici, discreti in particolare (provate ad entrare in un negozio a cercare 10 resistori SMD...)
- le piccole dimensioni che rendono a volte problematica la saldatura (anche se spesso è facile classificare questo problema come di natura psicologica)
- la necessità di utilizzare disegni ad altissima precisione per il master e materiali di ottima qualità
- l'impossibilità pratica di riutilizzare componenti una volta saldati

L'attuale produzione industriale è invece indirizzata quasi esclusivamente su questa tecnologia (soprattutto per le dimensioni, il costo ed il miglior funzionamento ad alta velocità) e questo fatto rende a volte non disponibili integrati moderni in tecnologia "tradizionale".

In genere i circuiti i circuiti SMD sono almeno dual layer, con componenti saldati su uno o su entrambi i layer e con fori metallizzati che hanno lo scopo di creare un collegamento elettrico tra di essi. A volte sullo stesso circuito stampato convivono componenti THT e SMT.

## 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 di questo tipo è opportuna per tutti; tra l'altro non richiede particolari attrezzature e quindi è utilizzabile senza alcun problema anche da chi inizia.

Il metodo funziona discretamente solo a condizione che si voglia costruire un singolo esemplare di un circuito molto semplice. Altrimenti è opportuno ricorrere alla fotoincisione, descritta successivamente, o ad altre tecniche.

L'oggetto necessario per proteggere il rame è costituito da un semplice pennarello capace di lasciare una traccia adeguatamente resistente: in commercio, nei negozi di componenti elettronici, se ne trovano diversi tipi specificamente prodotti per questo uso (per esempio il DALO33). In alternativa, con risultati alterni, si può utilizzare smalto o altre vernici idrorepellenti con appositi pennini ad imbuto (se qualcuno ha esperienza nel disegno a china può provare con gli stessi pennini, usando vernici diluite quanto basta). Anche molti dei 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. Esistono apposite spugnette abrasive, ma vanno più che bene anche le normali pagliette metalliche da cucina; meglio evitare le sostanze chimiche usate per lucidare i metalli a causa gli effetti imprevedibili sulle lavorazioni successive; meglio evitare anche la carta vetrata: troppo energica. 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 successive 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, in genere quelle utili sono di color blu); in alternativa è possibile usare un piccolo punteruolo per segnare alcuni punti di riferimento del circuito direttamente attraverso il disegno, 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 direttamente sul rame usando il pennarello 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 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 o un altro oggetto appuntito (l'esperienza insegna che la correzione dei piccoli errori con acetone o simili solventi 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 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 possibilmente evitati i luoghi polverosi
6. Procedere immediatamente all'incisione e successivamente alla foratura e alla saldatura dei componenti elettronici

Come già detto, questo metodo è adatto solo per circuiti semplici e per i quali non è richiesta particolare precisione dimensionale. Usando circuiti integrati o connettori direttamente saldati sullo stampato si consiglia caldamente 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 non sono consigliabili: meglio il pennarello. Purtroppo i trasferibili resistenti all'incisione sono sempre più difficili da trovare in commercio in quanto sempre meno utilizzati.

## **Il circuito a doppia faccia**

Normalmente non si realizzano circuiti a doppia faccia con il trasferimento diretto in quanto si userebbe uno strumento estremamente inefficiente per realizzare un prodotto già piuttosto complesso.

Il problema più grosso è costituito dalla difficoltà di allineare le due facce in modo preciso. Una tecnica è la seguente:

1. Si disegna una faccia con un pennarello. L'altra faccia deve essere protetta attraverso una pellicola adesiva impermeabile o nastro adesivo da pacchi.
2. Si procede all'incisione della prima faccia
3. Si procede alla foratura
4. Si toglie la pellicola protettiva e la si mette sulla faccia già incisa
5. Si disegna con il pennarello la seconda faccia usando i fori come riferimento e si procede nuovamente all'incisione

## La fotoincisione

Quando il circuito stampato che si vuole realizzare è formato da 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 forse 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 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, PCB e altri. La qualità complessiva del circuito stampato risulta migliore, anche di molto, paragonabile a schede industriali di qualche anno fa

Ovviamente ci sono anche svantaggi:

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

Inutile dire che i vantaggi coprono abbondantemente gli svantaggi in quasi tutti i casi.

Per realizzare un circuito tramite fotoincisione occorre:

1. Disegnare il master
2. Esporre ai raggi ultravioletti la basetta
3. Sviluppare chimicamente la basetta
4. Procedere all'incisione chimica, alle lavorazioni meccaniche e alla saldatura dei componenti (operazioni identiche anche usando altre tecniche)

## 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. In

molti casi anche un foglio di carta comune è adeguato, provare per credere! E' importante che il foglio sia trasparente non tanto alla luce visibile quanto agli ultravioletti.

L'acetato ha il vantaggio/svantaggio di essere perfettamente trasparente anche alla luce visibile ma è più difficile realizzare i disegni in quanto servono strumenti di disegno specifici, peraltro reperibili in un negozio per articoli tecnici. Se si intende stampare o fotocopiare il disegno, è necessario ricorrere a prodotti specifici per stampanti laser o a getto di inchiostro.



**Attenzione:** un foglio di acetato generico, inserito in una stampante laser o in una fotocopiatrice, rovina il tamburo di fusione in modo permanente, con danni molto rilevanti.

È possibile invece usare la carta da lucido con normali strumenti da disegno, ed in particolare stampare con stampanti laser e fotocopiatrici (per le quali esistono peraltro anche supporti specifici). 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 sufficientemente rispetto agli UV, che è quello che a noi interessa.

Infine esiste la possibilità di usare la carta comune per fotocopiatrici, materiale che pur apparendo bianco, è semitrasparente alla luce ultravioletta. Il vantaggio (a parte il costo e la disponibilità...) è la perfetta compatibilità con tutti i sistemi di disegno e le stampanti, fatto che permette di ottenere disegni di altissima qualità. Lo svantaggio è legato al fatto che la non perfetta trasparenza implica elevati tempi di esposizione, da effettuare possibilmente con un bromografo di elevata potenza. La qualità complessiva dei risultati usando la carta comune dipende fortemente dallo spessore della carta usata, dal tipo di sbiancanti utilizzati nella sua produzione, dalla potenza delle lampade usate e soprattutto dalla qualità del sistema di stampa, che deve utilizzare inchiostri perfettamente opachi per non ridurre eccessivamente il contrasto: prima di procedere occorre quindi fare prove molto approfondite, in quanto molti passaggi sono critici e sono necessari diversi tentativi per ottenere buoni risultati. Il vantaggio è la possibilità di ottenere i migliori risultati quando si lavora con piste estremamente sottili o isolamenti elettrici ridotti.

La caratteristica fondamentale del disegno da utilizzare come master 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 specializzati.
- La vernice deve essere stesa in modo molto accurato, cioè senza "buchi" o sbavature.

Per una verifica approssimativa della qualità del master è possibile usare un piano luminoso oppure, più semplicemente, appoggiarsi al vetro di una finestra in una giornata luminosa: il master deve apparire perfettamente nero e omogeneo dove è stato annerito.

Inutile dire che se sono presenti i difetti, la qualità del lavoro risulta in tutto o in parte compromessa, in funzione della gravità di tali difetti.

Qualcuno consiglia di sovrapporre due o più fogli con lo stesso disegno: è l'ultima spiaggia, applicabile solo se le piste e gli isolamenti sono piuttosto grossi; personalmente non ho mai applicato questa tecnica e vi consiglio di fare altrettanto.

Un (piccolo) ritocco con pennarello nero indelebile a punta fine o raschietto è sempre possibile, a condizione che i difetti siano pochi e la pazienza tanta.

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

### **La basetta con vernice fotosensibile**

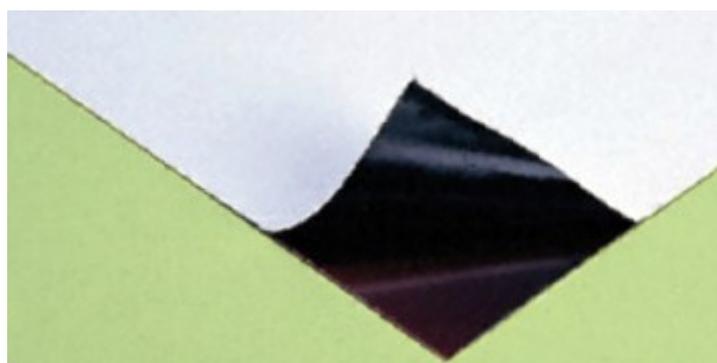
Il materiale di base per usare la tecnica della fotoincisione è costituito da una normale basetta per circuito stampato su cui è stesa in modo omogeneo una particolare pellicola resistente all'incisione (photo-resist coated board o basetta presensibilizzata); se si illumina questo tipo di supporto con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

L'idea che sta alla base è questa:

- illuminazione della basetta con UV solo nei punti che interessano, cioè nei punti da cui si vuole togliere il rame
- rimozione per via chimica della sola vernice esposta alla luce
- infine incisione con cloruro ferrico, togliendo il solo rame rimasto scoperto.

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").

La cosa più comoda è quella di comprare una basetta con già la vernice fotosensibile stesa sopra. La basetta è venduta con una pellicola adesiva oppure in busta di alluminio sottovuoto, a scopo protettivo: fin quando è tenuta in questo modo la si può trattare senza particolari attenzioni.



Un'alternativa finalizzata ad un consistente risparmio economico è quella di stendere da soli la vernice attraverso bombolette spray apposite (un esempio è Positiv20).

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 non vi è necessità di una camera oscura, ma qualche attenzione è necessaria:

- Evitare assolutamente la luce solare diretta;

- Evitare attese sotto fonti luminose artificiali, soprattutto se tubi al neon o lampade alogene
- Fare 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, evitare ditate o graffi sulla basetta.

Lo strumento utilizzato per esporre la basetta è il bromografo.

## **Lo sviluppo**

Per evidenziare il disegno delle piste dopo l'esposizione è necessario utilizzare l'apposita soluzione alcalina: lo sviluppo non fa altro che sciogliere la vernice fotosensibile 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), anche non pura, reperibile in qualunque laboratorio di chimica a pochi euro al Kg (ma ne bastano pochi grammi).

Qualche avvertenza:

- La soda caustica è... caustica e quindi corrode violentemente molte sostanze ed è pericolosa ad esempio per gli occhi: seguire scrupolosamente le avvertenze, e attenzione ai bambini
- La soda caustica se in grani tende ad essere igroscopica, diventando una poltiglia inutilizzabile nel giro di qualche mese
- La soluzione tende a precipitare se esposta all'aria (mi sembra che si formi carbonato di sodio ma non ne sono sicuro) e diventa inutilizzabile nel giro di qualche settimana se tenuta in un recipiente chiuso, molto meno se lasciata all'aria. Quindi non pensate a quantità industriali
- La preparazione della soluzione è esotermica: è quindi normale un certo riscaldamento che diventa una sorta di esplosione se versate un intero sacchetto in una bacinella

La soluzione di sviluppo va preparata sciogliendo indicativamente dai 5 ai 20g di NaOH (i sacri testi dicono 7g) in un litro di acqua; se quella del rubinetto è molto calcarea, molti consigliano di prenderla distillata.

Da notare che una volta preparata la soluzione basica, questa può essere riutilizzata per qualche tempo, praticamente fin tanto che rimane abbastanza trasparente oppure si cominciano a notare depositi sul fondo.

La basetta si immerge nella soluzione di sviluppo con il rame rivolto verso l'alto, usando le opportune precauzioni per evitare schizzi di liquido corrosivo o graffi sulla basetta; in qualche secondo si nota l'inizio della reazione: la superficie della basetta 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 basetta, in modo tale da rimuovere la patina nerastra presente e quindi poter vedere le piste, che devono apparire in 20-30 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: le prime volte provate a graffiare una zona di rame pulito per essere sicuri che non vi sia nessuna traccia ancora presente. Un metodo utile per riconoscere il termine della reazione è verificare che non ci sia più formazione di liquido nerastro ed attendere

quindi ancora qualche istante, sempre usando delicatamente il pennello. 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.

Per questa lavorazione la temperatura della soluzione non deve essere né troppo bassa né troppo alta: diciamo tra i 20 e i 30°C (i sacri testi dicono 21°C ma io non ho mai usato il termometro).

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 o il riscaldamento che tanti consigliano; anzi a volte si rischia di graffiare 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 e, soprattutto, il rame scoperto tende ad ossidarsi. Dopo l'incisione la basetta potrà invece 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).

## **I circuiti stampati a due layer**

Quando si usa la fotoincisione per produrre circuiti stampati a due facce il problema più grosso è costituito dalla necessità di garantire il perfetto allineamento dei due master, quello per il lato superiore e quello per il lato inferiore. Il procedimento è diverso se si dispone di un bromografo a una o due facce.

### **Bromografo a due facce**

Questo tipo di bromografo garantisce la possibilità di esporre contemporaneamente le due facce della basetta in quanto è dotato di un doppio set di lampade UV, uno superiore ed uno inferiore.

Per garantire il perfetto allineamento tra i due master è necessario creare una sorta di busta, incollando con del nastro adesivo i due master (con il disegno rivolto verso l'interno) su due lati opposti ed avendo l'accortezza di garantire il perfetto allineamento. In questa bustina deve essere inserita la basetta.

Non è necessario incollare la basetta in quanto l'esposizione è fatta in una sola operazione. L'unica avvertenza potrebbe essere quella di realizzare una struttura simmetrica evitando per esempio di incollare anche il terzo lato oppure di usare master di dimensioni molto diverse tra loro in quanto lo spessore della basetta indurrebbe degli eccessivi disallineamenti.

Attenzione particolare dovrà essere posta al momento della foratura in quanto l'uso del trapano non perfettamente verticale rischierebbe di far uscire la punta in un punto sbagliato sull'altra faccia.

### **Bromografo a singola faccia**

Questa situazione è più complessa della precedente in quanto è necessario esporre due volte la stessa basetta garantendo nel passaggio la perfetta immobilità meccanica. La bustina presentata nella pagina precedente potrebbe essere (con qualche difficoltà) ancora utilizzata previo fissaggio con nastro adesivo dei due master alla basetta ma la cosa è più facile da dirsi che da farsi.

Una soluzione è nell'uso di una sorta di torchio costituito da due lastre di plexiglas tenute tra loro perfettamente allineate da guide perpendicolari alla superficie e pressate da viti. I due master devono essere incollati con del nastro adesivo all'interno delle due lastre ed allineati prima di inserire la basetta. Le guide devono permettere la separazione delle lastre ma il mantenimento dell'allineamento dopo l'inserimento della basetta e le viti devono garantire la necessaria forza per impedire spostamenti dopo l'inserimento della basetta. Questo sandwich è meccanicamente abbastanza rigido per essere esposto in successione sulle due facce.

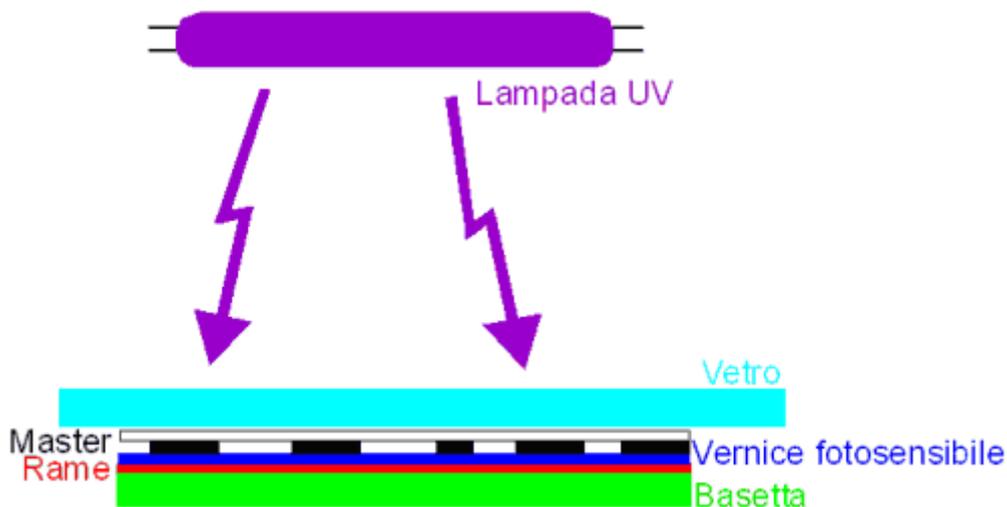
Un'ultima procedura è simile a quella già descritta per il trasferimento diretto: prima si espone e si incide una faccia e si realizzano i fori, dopo si procede sull'altra faccia, previa protezione della prima, usando i fori per garantire l'allineamento. In questo caso vi è anche la facilitazione della pellicola autoadesiva già presente sul rame.

## Il bromografo

Il bromografo 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 ultravioletta che illumina attraverso il master la basetta, inducendo le modificazioni chimiche solo alla parte di vernice effettivamente illuminata. Ovviamente la luce può passare solo dove il master è trasparente: in pratica il master proietta sulla basetta la propria ombra.

Il disegno qui sotto (non in scala) 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 bassetta. 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 alla luce ultravioletta 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 bassetta vi consiglio di inserire il master capovolto (cioè con l'inchiostro del disegno a diretto contatto con la bassetta): non dimentichiamo infatti che un foglio di acetato ha uno spessore paragonabile a quello di una pista sottile e questo 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 bassetta 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:

- Il tipo di sorgente UV
- La distanza tra bassetta e sorgente UV
- La trasparenza agli UV del vetro
- La trasparenza agli UV del foglio di supporto del disegno
- L'opacità dell'inchiostro usato per il disegno
- La qualità del photoresist
- Lo spessore del photoresist

Diffidare 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 testi ed in parte da interventi vari trovati su gruppi di discussione).

Tipo lampada	Potenza	Distanza	Tempo
Lampada solare	300W	25 cm	1 - 10 minuti
Lampada solare	60W	20 cm	5 - 60 minuti
Philips TLAD 15W/05	15 W	10 cm	30" - 3 minuti

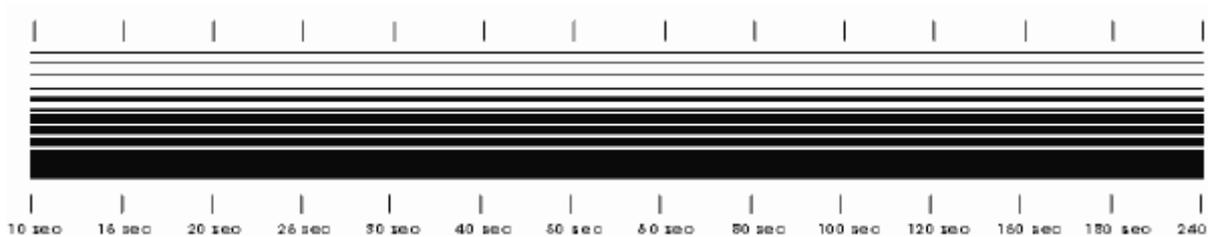
Philips photolita	250W	20 cm	2 - 10 minuti
Lampada alogena (senza filtro UV)	150W	20 cm	5 - 20 minuti
Lampada kripton	100 W	10 cm	5 - 30 minuti
Lampada a vapori di mercurio	1000W	50 cm	3 - 15 minuti

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. E' consigliabile, però, seguire sempre scrupolosamente le indicazioni di sicurezza riportate sulle schede di sicurezza.

### Test del tempo di esposizione

Per trovare il tempo di esposizione corretto è sempre necessario fare una prova, sprecando una bassetta nuova. Il tempo ed il materiale persi nella prova verranno rapidamente recuperati.

Occorre disegnare un master simile a quello sotto riportato a titolo di esempio (attenzione: anche se il file PDF è stampabile vi invito a realizzarlo da voi per poter verificare tutto il processo).



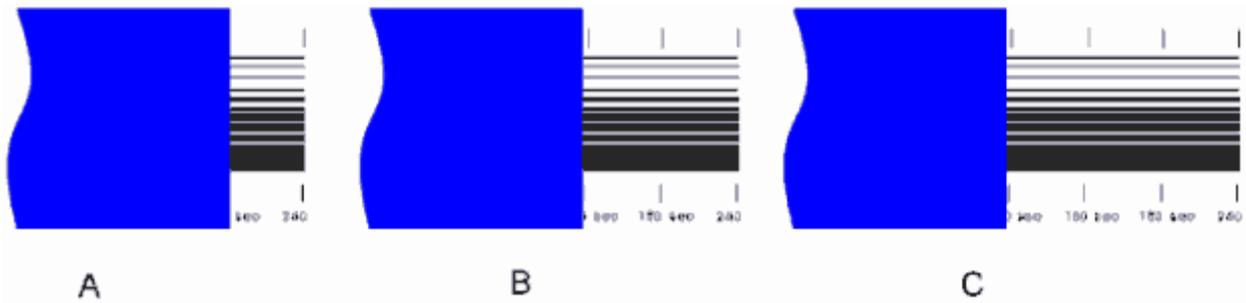
Osservando questo master si nota che:

- In alto sono presenti varie linee orizzontali piuttosto sottili, di diverso spessore, 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 ma ho ottenuto risultati ragionevoli con piste di 8 mils; solo a 4 mils i problemi cominciano ad essere davvero grossi.
- Una serie di piste spesse separate da isolamenti piccoli e di diversa larghezza. Normalmente la distanza tra le piste può scendere senza problemi a 10 mils o anche meno. L'unica avvertenza è rimanere un poco più distanti nei pressi dei pin dei componenti se non volete rischiare troppe complicazioni al momento della saldatura.
- Una linea molto grossa per testare come la stampante o la fotocopiatrice lavora con le grandi aree annerite (10 -20 mm).
- Una serie di linee a tratti verticali con indicati i tempi di esposizione. I tempi indicati nel disegno (poco visibili in figura: 10, 15, 20, 25...120, 150, 180, 240 secondi) sono adatti per il primo esperimento; qualora utilizzate altre fonti di luce o carta comune i tempi devono ovviamente essere adeguati, secondo la tabella indicativa riportata in precedenza: orientativamente servono non più di una decina di tacche intermedie, possibilmente non con incrementi lineari ma geometrici, con sulla destra il tempo massimo e sulla sinistra quello minimo riportati sulla tabella. Qualora abbiate un'idea abbastanza precisa sui tempi di esposizione necessari anche solo 3 o 4 tacche verticali sono adeguate.

- La prima volta potete inserire anche una lunga striscia orizzontale e 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 bassetta senza master sovrapposto, oppure con doppio strato, per vedere quanto questo è trasparente agli UV.

Per utilizzare questo master di test è necessario utilizzare una bassetta 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 bassetta 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 bassetta e master. Nel dubbio un po' di nastro adesivo ben fissato ai bordi.
3. Pressare per bene il master contro la bassetta, bloccando il vetro di copertura con dei pesi oppure azionando la pompa per creare il vuoto. 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 molto spesso (tipo cartolina illustrata), un foglio di alluminio o un altro materiale perfettamente opaco agli UV, lasciando scoperto solo il tratto di linee alla destra della penultima. Per bloccare il cartoncino potete, se necessario, usare un pezzo di nastro adesivo. La figura successivamente riportata (A) è basata sul master sopra riportato e il cartoncino blu lascia scoperto il tratto di master compreso tra 180 e 240 secondi
5. Chiudere il bromografo ed accendetelo per un tempo pari alla differenza tra il tempo indicato sulla linea verticale che delimita il cartoncino e quella all'immediata destra. Nell'esempio,  $240 - 180 = 60$  secondi.  
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 bassetta (e attenzione agli occhi se aprite il bromografo a luce accesa)
6. Spostare il cartoncino nero posto sopra il vetro in corrispondenza della tacca a sinistra successiva, Nell'esempio (immagine B) quella con scritto 150 secondi.
7. Chiudere il bromografo ed accendetelo per un tempo pari alla differenza tra il tempo indicato sulla linea verticale che delimita il cartoncino e quella all'immediata destra. Nell'esempio per 30 secondi ( $180 - 150$ ). In questo modo la fascia più a destra sarà stata esposta - fino a questo momento - per 90 secondi, la seconda per 30 secondi
8. Continuare così, scoprendo una alla volta tutte le tacche (l'immagine C, con il cartoncino sulla linea dei 120 secondi, è il terzo passo e produce un'esposizione complessiva di 30, 60 e 120 secondi, rispettivamente, nelle tre fasce)
9. Alla fine vi troverete con una bassetta che, nel tratto all'estrema destra è stato esposto per un tempo pari alla somma di tutti i tempi di esposizione parziale alla luce UV (240 secondi nell'esempio, quindi per un tempo in molti casi eccessivo), nel tratto all'estrema sinistra per la durata dell'ultima illuminazione (10 secondi nell'esempio, quindi per un tempo troppo breve). Le zone intermedie saranno invece state esposte per tempi via via crescenti.
10. 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 al miglior risultato 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 ottica.



Come procedura alternativa (più semplice ma più lunga) potete semplicemente usare due cartoncini in modo da lasciare scoperta la sola fascia compresa tra due tacche verticali: in questo caso l'esposizione semplicemente dovrà durare per il tempo indicato. L'operazione andrà ovviamente ripetuta per tutte le fasce.

Riporto qui sotto, 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 laser).



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 nell'immagine non sono chiaramente visibili le piste più sottili presenti sulla basetta. I tempi di esposizioni 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 sempre usato 25 secondi di tempo di esposizione
- 50 secondi nella fascia a sinistra: il tempo è eccessivo e 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 inutilizzabile a causa delle interruzioni

Più sotto, un ingrandimento della zona centrale della stessa basetta: le piste, anche quelle sottili (come già detto lo spessore della pista più sottile, a sinistra, è di 8 mils, circa 0,2 mm) appaiono

perfette, sia all'ispezione ottica che alla verifica strumentale. Lo stesso può essere detto per l'isolamento di 10 mils tra le due piste da 45 mils.

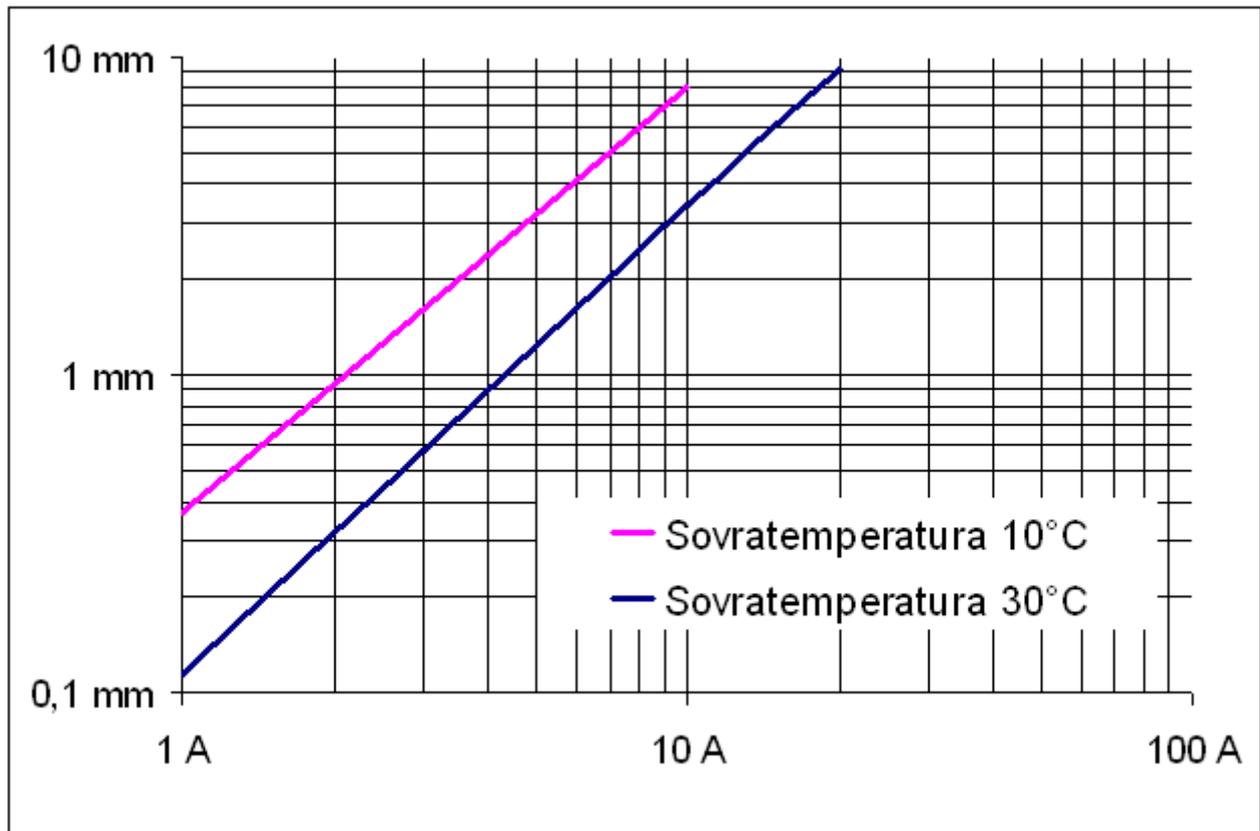


## **La dimensione delle piste**

Quando si realizzano circuiti stampati per alte correnti e/o alte tensioni è necessario usare maggiori larghezze delle piste e maggiori distanze di isolamento rispetto al minimo tecnicamente possibile. Non sempre è facile scegliere le misure corrette: spesso testi differenti riportano misure differenti. Inoltre alcune condizioni ambientali (temperatura, umidità) o legislativi introducono variabili di cui occorre tener conto.

Per quanto riguarda la massima corrente il parametro fondamentale da considerare è legato al riscaldamento delle piste causato dal passaggio della corrente. Usando basette ordinarie (cioè con uno spessore di rame pari a 35 micron) il seguente grafico permette di scegliere la larghezza adeguata in funzione della temperatura raggiunta dalla pista stessa; per ottenere la temperatura superficiale occorre sommare a quella indicata sul grafico la temperatura dell'ambiente in cui il circuito stampato è posto.

Si noti che la corrente indicata è quella media efficace (RMS) e non quella di picco che spesso è molto superiore.



Per esempio si consideri una pista in cui devono passare 10 Arms limitando il surriscaldamento a 10°C. In questo caso la larghezza minimo è di circa 9 mm. Nella stessa pista possono passare circa 20 A causando un surriscaldamento di 30°C (valore alto ma perfettamente accettabile). Oppure posso usare una pista di 2.5 mm se non ho particolari problemi di temperatura massima. Molti testi riportano grafici con sovrature fino a 100°C, valori secondo me eccessivi ma utili per comprendere che i valori indicati possono essere, anche di molto, superati.

Infine, per correnti più alte di quelle indicate (grossi alimentatori, azionamenti di grande potenza) è preferibile ricorrere ad accorgimenti diversi dal semplice allargamento delle piste:

- Usare basette con un maggiore spessore del rame (70 micron praticamente permettono di dimezzare la larghezza a parità delle altre condizioni). Un analogo effetto può essere ottenuto anche stagnando le piste oppure sovrapponendo, saldandolo per tutta la lunghezza, spezzoni di filo alla pista stessa
- Usare interi "piani" o comunque grandi aree in rame. E' infatti utile notare che una superficie in rame collegata direttamente ad una pista permette di abbassarne in modo significativo la temperatura: per questo è possibile utilizzare piste in alcuni tratti (leggermente) sottodimensionate a condizione di collegarle ad aree in rame piuttosto ampie

A volte il problema non è tanto la temperatura raggiunta quanto la resistenza della pista (e quindi la caduta di tensione). Per calcolare tale resistenza può essere adottata la classica legge:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

La resistività del rame a 25°C è di circa 0.018 micro ohm su metro e la sua variazione con la temperatura è piuttosto grande. A titolo di esempio, una pista con di 10 cm ( $l = 0.1$  m), dalla larghezza di 1 mm e lo spessore di 35 micron ( $A = 35 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>) ha una resistenza di circa 0,05 ohm.

La scelta delle distanze di isolamento (clearance se misurata "in aria", creepage se misurata seguendo il contorno della superficie isolante) è molto più delicata a causa delle grande variabilità delle normative e delle condizioni al contorno da considerare (umidità, pressione atmosferica, possibilità di contaminazioni superficiali, tipo di supporto isolante, presenza o meno di lacca protettiva). Le linee guida da seguire sono riassunte nella seguente tabella

Tensione di picco (AC + DC)	Distanza minima
Fino a 30 V	0,25 mm
Fino a 350 V (= 250 Vac)	1,5 mm
Fino a 1000 V	10 mm

Occorre però fare alcune precisazioni:

- Alcuni testi riportano distanze inferiori, anche di molto (la metà)
- A volte queste distanze non possono essere rispettate a causa delle dimensioni fisiche dei componenti (tipico il caso dei triac o transistor per alte tensioni in contenitore TO220: la distanza tra i reofori del componente è inferiore a 1.5 mm ...)
- Se si usa una lacca isolante, le distanze possono essere ridotte, soprattutto perché, osservazione forse non ovvia, è ostacolato il deposito di sporcizia o umidità
- Le norme di sicurezza prevedono a volte distanze ben maggiori anche per applicazioni ordinarie (per esempio la VDE0806 - apparecchiature da ufficio - prevede una clearance minima di 8 mm per dispositivi collegati alla rete)

## L'incisione chimica dei PCB

L'incisione è l'operazione che permette di togliere chimicamente il rame in eccesso da una basetta. Il rame che deve rimanere deve essere protetto da una vernice resistente alla corrosione, precedentemente stesa con una delle tecniche descritte nei precedenti paragrafi.

 **Attenzione:** le sostanze chimiche usate per corrodere il rame hanno la malaugurata proprietà di essere dannose agli occhi (quindi vi consiglio 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). 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 scheda tecnica di sicurezza** 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 cloruro ferrico (FeCl<sub>3</sub>): la soluzione in acqua, intorno al 40%, è relativamente poco corrosiva (se vi cade una goccia sulla mano l'effetto più fastidioso è il colore giallo-fumatore che rimane per qualche giorno e l'odore caratteristico che resiste anche a numerosi lavaggi, se però vi entra in un occhio è sempre meglio consultare immediatamente un oculista). Il danno più "devastante" è spesso la macchia gialla lasciata sui vestiti: in caso di emergenza e se la

macchia non è troppo estesa vanno bene i prodotti 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 si compra nei negozi di elettronica sotto forma di scaglie o palline giallo-bruno da sciogliere in acqua (seguire le indicazioni e le quantità riportate sulla confezione) oppure già in soluzione, eventualmente miscchiato ad altre sostanze. Quando il liquido è nuovo appare semitrasparente 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.

In alternativa al cloruro ferrico sono usate anche altre soluzioni a base di sodio persolfato (si tratta di un materiale chimicamente piuttosto instabile e quindi non adatto ad una lunga conservazione) oppure una miscela casalinga a base di acqua ossigenata a 130 volumi, acido muriatico concentrato (o cloridrico) e acqua in proporzioni variabili ma dell'ordine di 2:1:1.

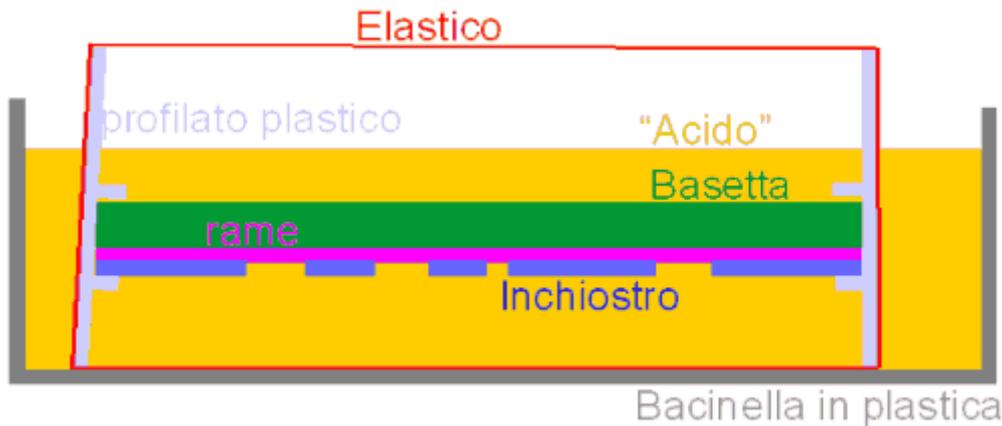
Pur non essendo un materiale estremamente tossico, per lo smaltimento occorre seguire le indicazioni riportate nella scheda tecnica di sicurezza che peraltro fa sempre riferimento alle leggi locali; qualcuno - orrore ! - semplicemente lo butta nel lavandino facendo scorrere abbondantemente acqua per evitare la corrosione degli scarichi metallici. Una procedura corretta prevede:

- la diluizione in acqua
- la miscela con una base quale calce o carbonato di sodio
- il filtraggio meccanico anche semplicemente con un panno
- lo smaltimento della frazione solida così ottenuta presso una ditta specializzata o una piazzola ecologica

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

- Il contenitore deve assolutamente essere in plastica o vetro (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.
- 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 al photoresist o ai trasferibili. Attenzione: le temperature elevate fanno aumentare i vapori tossici emessi.
- Per ottenere una maggiore velocità molti consigliano di agitare la bacinella, magari con un motorino elettrico dotato di riduttore di velocità (1 giro/secondo) ed eccentrico che genera onde nel liquido: la cosa funziona ed effettivamente i tempi di riducono almeno di un fattore cinque. Volendo è anche possibile utilizzare un piccolo compressore da acquario che soffia aria nell'acido.
- Personalmente preferisco tenere la bassetta 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 (semplicissimo!) che io utilizzo: due profilati in plastica dotati di scanalatura, serrati intorno alla bassetta da un elastico (quest'ultimo da cambiare spesso in quanto tende a corrodersi): in questo modo è anche facile sollevare lo stampato per guardare come procede l'incisione.



- 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 ovviamente 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 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.

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.

### La foratura

La foratura viene fatta in corrispondenza delle apposite piazzole con un trapano.

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 quelle da 0,6 mm per i circuiti integrati, e quelle da 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 rame in quanto è facile ottenere "saldature fredde" a causa della notevole dispersione di calore.

<b>Punta</b>	<b>Forma della piazzola</b>	<b>Dimensioni della piazzola</b>
0.6 mm	Tonda	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	75 mils (1.9 mm)
1.3 mm	Tonda	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.

Se si usa un trapano a mano meglio ripiegare sulle normali punte HSS per metalli piuttosto flessibili e quindi praticamente impossibili da rompere anche con un trapano a mano. Hanno il difetto di durare solo per un centinaio di fori o poco più con basette in bachelite o addirittura meno se lo stampato è in fibra di vetro: dopo infatti perdono il filo, rovinando eccessivamente il foro e la piazzola.

Al fine di favorire la centratura della punta vi consiglio vivamente durante il disegno del master di indicare con un piccolo foro nel rame al centro della piazzola: non c'è nulla di più incontrollabile di una punta dal diametro di 0,6 mm che ruota a 10.000 rpm. 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.

Prima o dopo la foratura è opportuno tagliare la basetta nella dimensione definitiva con una forbice per lamiera, 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 dei bordi è perfetta la carta vetrata a grana grossa o un utensile elettrico.

### **La pulitura del rame**

A questo punto occorre togliere la vernice che ha protetto il rame delle piste durante l'incisione nel cloruro ferrico: si possono usare sistemi meccanici (paglietta metallica da cucina, al limite carta vetrata finissima, usata molto 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 usate nella produzione del photoresist possono essere lasciate anche durante la saldatura in quanto perfettamente saldabili: occorre però un'attenta verifica preventiva su un punto

non critico della basetta. Da non sottovalutare neppure la possibilità che vengano generati vapori nocivi.

Una operazione spesso consigliata è quella della stagnatura del circuito stampato cioè il deposito di un leggero strato superficiale di stagno, ottenuto per via chimica attraverso un apposito bagno. Lo scopo è quello di favorire la saldatura ed evitare l'ossidazione superficiale. Io non adotto questa procedura per un motivo semplice: non riesco a trovare facilmente i sali dal mio fornitore.

## **La saldatura a stagno**

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 (a rigore si tratta quindi di brasatura dolce, visto che avviene a temperature relativamente basse, ma nessuno userà mai questo termine in campo elettronico).

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 sua temperatura; soprattutto deve essere "corazzata", cioè internamente in rame ma rivestita da un sottile strato di acciaio, nickel e cromo, ad alta resistenza chimica e meccanica: 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. Il fatto di usare saldatori a bassa tensione evita il rischio, tutt'altro che remoto, di bruciare accidentalmente il cavo di alimentazione e rischiare di conseguenza la folgorazione. 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.

La lega saldante (il cosiddetto stagno) più facilmente utilizzabile 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 o argento. La temperatura di fusione si aggira intorno ai 180-190°C o poco più.

Oggi l'utilizzo di leghe saldanti a base di piombo è però vietato dalla direttiva europea RoHS che impedisce (giustamente!) l'uso di materiali tossici nell'industria elettronica. Purtroppo le nuove leghe saldanti, in genere a base di stagno, argento e rame, hanno una temperatura di fusione più alta di circa 40°, causando qualche problema usando saldatori progettati per temperature considerevolmente più basse.

La lega saldante è venduta sotto forma di fili dal diametro di 1 mm (si sconsiglia per usi generali quello di 1,5mm; per lavori di precisione si trovavano anche matasse da 0,7 mm, abbastanza adatto anche per lavori generici). In realtà si tratta non di un filo massiccio ma di un "tubo" internamente riempito di un liquido semitrasparente (il flussante): 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,

soprattutto se di scarsa qualità, il circuito stampato e punta del saldatore. Inoltre tende a corrodere la punta del saldatore, consumando il rivestimento in acciaio. Le nuove leghe RoHS compatibili contengono un flussante più aggressivo e questo, unito alla maggiore temperatura, causa il più rapido deteriorarsi del saldatore.

Una proprietà dello stagno fuso deve essere tenuta presente per evitare preoccupazioni inutili: esso è attratto dal rame e difficilmente scivola fuori da una piazzola, a meno che sia in quantità eccessiva o il rame sia poco bagnabile (cioè ossidato in superficie). Analogamente una goccia di stagno tende ad essere attratta da un'altra goccia e potrebbe poi essere un problema separarle. Questi due fatti portano ad una sola conclusione: usate meno stagno possibile. Le nuove leghe senza piombo hanno caratteristiche inferiori da questo punto di vista e quindi usandole si incontra qualche maggiore difficoltà.

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 spugnetta umida con cui pulire la punta ancora calda sporca di scorie (ne vendono di molto comode ma va bene anche uno straccio di cotone inumidito)
- in mancanza di un dissaldatore elettrico, sempre utile una pompetta succhiastagno o l'apposita paglietta in rame, purtroppo spesso di scarsa qualità. 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 difficile 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 flussante, 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, è utile una bella spruzzata di lacca isolante, previa protezione dei connettori, 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).

## **La saldatura SMT**

La tecnica di saldatura non è molto diversa da quella tradizionale con le dovute attenzioni a causa delle dimensioni minori del punto di saldatura: in particolare occorre utilizzare stagno di piccolo diametro e buona qualità, un saldatore con una punta molto sottile, soprattutto occorre garantire la massima pulizia del rame al fine di garantire lo scivolamento della lega fusa sotto il componente. Potrebbe essere utile la stagnatura chimica superficiale della basetta.

Per saldare un componente a due terminali occorre:

- prima saldare "provvisoriamente" uno dei terminali, mantenendolo in posizione con un oggetto appuntito o una pinzetta con punte estremamente sottili. In questa fase potrebbe essere utile sporcare un po' la piazzola di stagno, visto che è un problema tenere contemporaneamente in mano il filo di stagno, la pinzetta ed il saldatore. Lo scopo è mantenere il componente fermo e sostituire l'uso del collante industriale
- Saldare l'altro reoforo, con la tecnica solita; in particolare è necessario appoggiare il saldatore alla piazzola e non al componente. Date le dimensioni, inutile dire di non abbondare con lo stagno (che deve essere sottile e lasciare pochissimi residui)
- Appena raffreddata la seconda saldatura, riscaldare nuovamente la prima per ottenere la migliore diffusione della lega saldante sotto il componente

Analogamente è possibile procedere per saldare un circuito integrato, sempre utilizzando un pin per mantenerlo fermo.

In alternativa è possibile saldare in contemporanea tutti i pin di un grosso circuito integrato sfruttando la proprietà dello stagno di aderire solo al rame ed ai pin dell'integrato. L'idea è quella di utilizzare un saldatore con la punta piuttosto grande e far cadere su di essa una grossa goccia di stagno; occorre poi "strofinare" i pin dell'integrato con la goccia che provvederà ad effettuare la saldatura solo dove necessario. Per garantire la riuscita dell'operazione è necessario ricoprire per

bene le piazzole di pasta saldante (possibilmente di tipo specifico per saldature di precisione) e garantire l'assoluta assenza di depositi sia sul rame che sul componente.

Qualora di creassero ponti tra due piste è sufficiente avvicinare la punta del saldatore ben pulita per riassorbire lo stagno in eccesso (se non è troppo, ovviamente).

## 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 e l'esecuzione attenta della prova di esposizione precedentemente descritta.

### 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 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 cambiate 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 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...).
- **Le piste sottili sono interrotte** in uno o più punti. Le piste utilizzate sono forse 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.

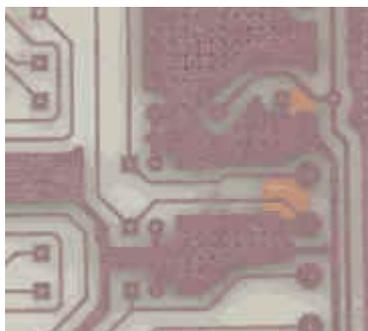
- **Dopo l'esposizione non si vedono le piste.** È normale... anche se guardando di traverso si dovrebbe intravedere qualcosa, in modo piuttosto evanescente
- **Durante lo sviluppo le piste sono sparite tutte.** Il problema più comune ed anche quello più difficile da diagnosticare. Potrebbe essere l'esposizione 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 o di stagnola, materiali sicuramente opachi agli UV: se anche la zona coperta viene corrosa, probabilmente è un errore di sviluppo. 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 bassetta; eventualmente provate a guardare il photoresist di lato. 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 bassetta appare perfetto ma i bordi sono irregolari.** Spesso le basette realizzare con lo spray (procedimento comunque sconsigliabile), ma a volte anche quelle industriali, hanno depositi di photoresist molto irregolari sui bordi: usate sempre una bassetta più grande del master, lasciando un margine di almeno mezzo centimetro
- **Piste interrotte in punti specifici** o solo in alcune zone ma bassetta complessivamente perfetta. Probabilmente la soluzione conteneva granuli di NaOH non perfettamente disciolti o avete versato direttamente la soluzione concentrata sulla bassetta. Oppure le basette sono difettose. Oppure ancora avete graffiato la superficie della bassetta, 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 qualche minuto di troppo nel cloruro ferrico non sono però dannosi.
- **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 bassetta nel bagno di incisione, con un movimento tale da far fuoriuscire tutta l'aria da sotto la bassetta. Nell'immagine sotto 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 bassetta nel bagno di incisione. Quello dell'apparire di ampie zone di rame

ancora non corrosivo solo in alcuni punti della basetta è sintomo di corrosione quasi terminata: ancora qualche decina di secondi ed l'incisione è terminata.

### Qualche errore legato alla saldatura

- **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 un'area di rame eccessiva da saldare per la potenza applicata, o soprattutto una procedura sbagliata in cui lo stagno viene fuso sulla punta del saldatore. Tenete conto che usando leghe senza piombo esiste qualche problema in più da questo punto di vista..
- **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.
- **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.

### Note sulla sicurezza

Realizzare circuiti stampati è abbastanza semplice anche se l'uso di molte sostanze chimiche e di strumenti potrebbe essere fonte di rischio.

Una premessa: è sempre necessaria la attenta lettura delle etichette e delle schede tecniche di sicurezza ed il rispetto scrupoloso delle norme di sicurezza. Di seguito qualche consiglio per il vostro bene, 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, non solo quelli a base di piombo, sono tossici: lavorare in locali molto aerati e magari usate gli appositi aspiratori
- Evitate un eccessivo contatto con lo "stagno": se di tipo tradizionale 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. Inoltre è comune bruciare l'isolante dei cavi di alimentazione con il saldatore
- La luce UV è potenzialmente dannosa agli occhi ed alla pelle; rispettare le norme di sicurezza fornite con le lampade ed il bromografo.
- Molte sostanze chimiche (cloruro ferrico, soda caustica, solventi) sono tossiche per inalazione, contatto o ingestione: lavorare sempre in luoghi ben aerati; evitate il contatto diretto con la pelle e gli occhi, usando guanti ed altri dispositivi di protezione individuale; non conservare materiali 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.
- Il cloruro ferrico è corrosivo: non usare in recipienti metallici; attenzione agli occhi, alla pelle, ai vestiti. Anche i vapori sono tossici.
- La soda caustica è corrosiva sia allo stato solido che in soluzione.
- Le sostanze chimiche esauste vanno smaltite con la procedura indicata dal produttore (se indicata).

Fermo resta ovviamente il fatto che l'uso del buon senso non è facoltativo.