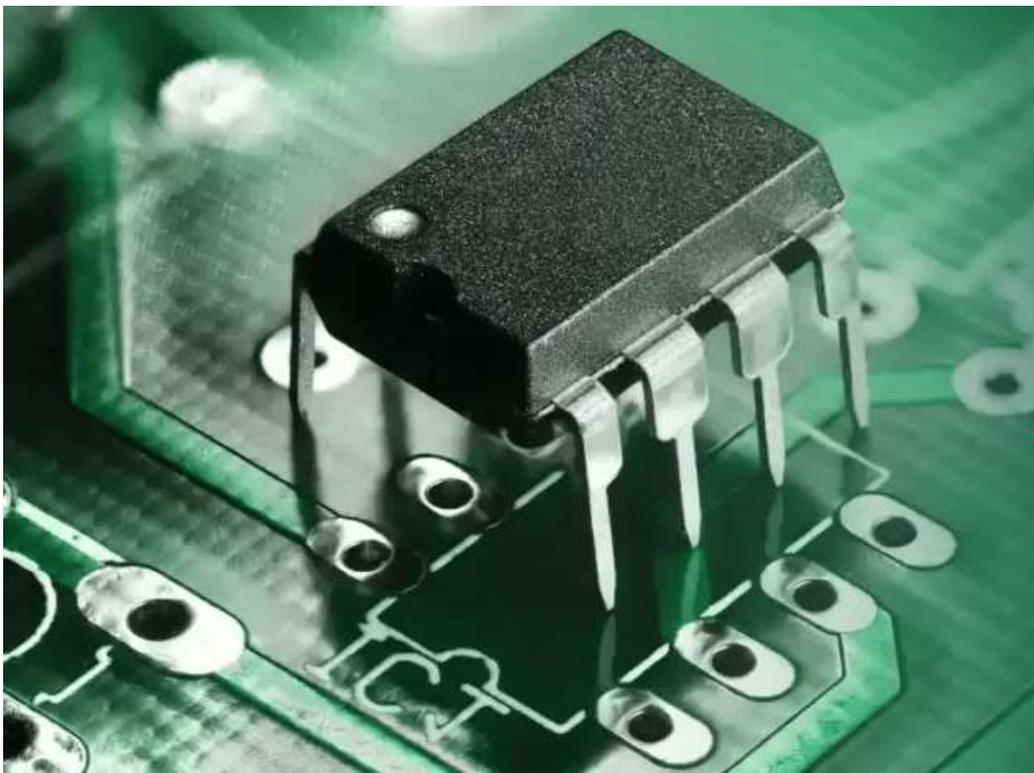
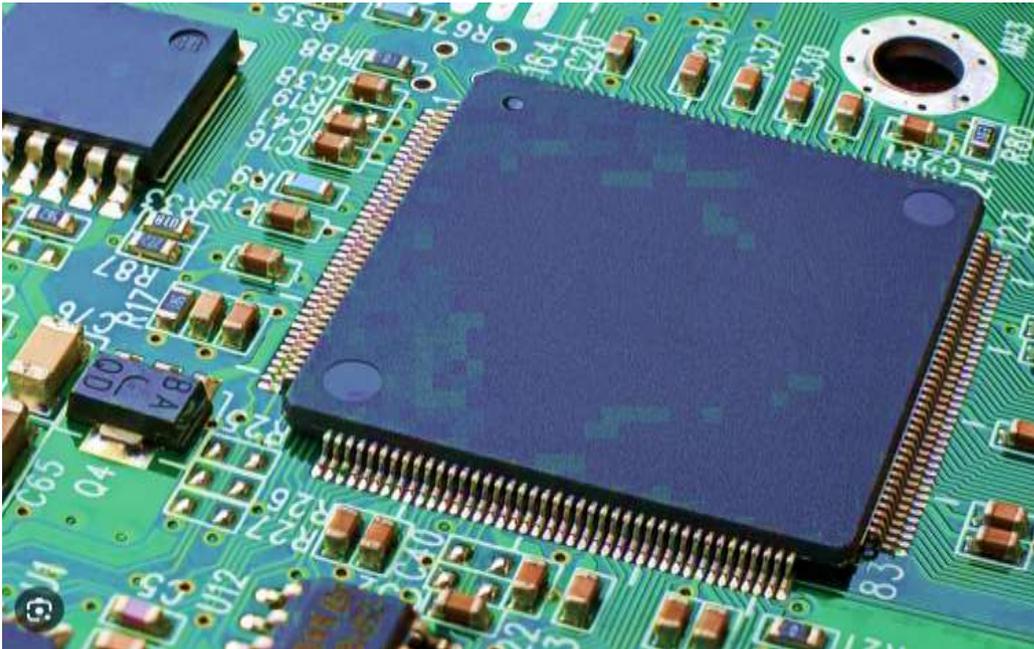


Quaderni di elettronica

Le tecnologie di produzione delle schede elettroniche

THT e SMT



Tecnologia di produzione dei circuiti stampati (PCB)

I principali supporti per PCB

Una scheda elettronica è composta da componenti elettronici opportunamente connessi tra di loro, posizionati su un CIRCUITO STAMPATO, costituito da un supporto isolante dielettrico, generalmente rigido, dove sono presenti piste conduttive di collegamento .

I materiali dielettrici rappresentano la base di ogni circuito stampato, formando il substrato non conduttivo inserito tra i layer conduttivi del PCB, come visibile in Figura 1. I materiali dielettrici devono essere cattivi conduttori di elettricità e fornire uno strato isolante tra i layer conduttivi.

Uno dei materiali dielettrici maggiormente utilizzati è l'FR-4, ma esistono altri tipi di materiale che possono essere utilizzati in base alle caratteristiche della specifica applicazione.

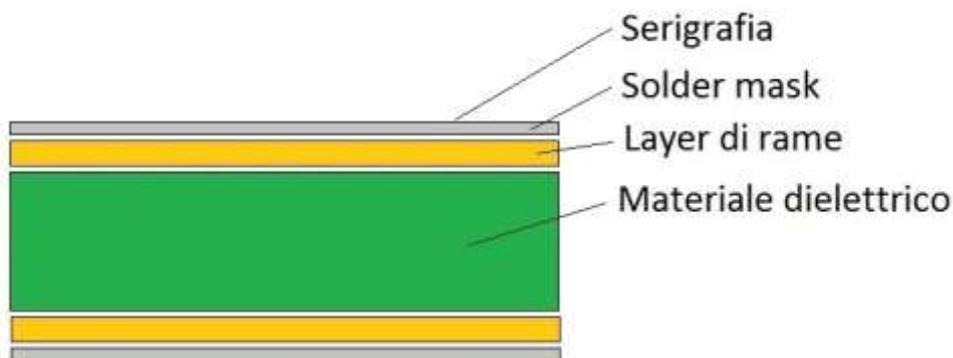


Figura 1: Struttura base di un PCB

FR-4

FR-4, acronimo di flame retardant level 4, è oggi il materiale standard utilizzato per la fabbricazione dei PCB. Questo materiale, composto da laminato epossidico rinforzato con fibra di vetro intrecciata, ha proprietà ignifughe ed è conforme allo standard UL94V-0.

Tuttavia, questo materiale dimostra dei limiti nelle applicazioni con segnali ad elevata frequenza e non è adatto a dissipare elevate quantità di calore. Inoltre, la costante dielettrica dell'FR-4 non si mantiene costante al variare della frequenza e ciò può generare problemi di integrità del segnale dovute alla creazione di capacità parassite indesiderate tra le varie piste.

CEM-1, CEM-2 e FR-3

Dato il suo basso costo, CEM-1 è il materiale maggiormente utilizzato per la fabbricazione di PCB a singola faccia. Si tratta di un materiale composito ottenuto con una combinazione di bachelite a base cellulosa (carta) e un layer singolo di resina epossidica intrecciata con fibra di vetro (FR-4). Questo materiale non supporta l'applicazione di fori placcati through-hole (VIA) e pertanto può essere utilizzato solo per PCB a singolo layer. Come l'FR-4, anche il CEM-1 è

ignifugo, ma le caratteristiche meccaniche sono inferiori data la maggiore fragilità del materiale e soprattutto la maggiore sensibilità all'umidità .

I materiali CEM-2 e FR-3 offrono caratteristiche più elevate rispetto ai materiali CEM-1 e sono composti da un'anima in carta di cellulosa e una maggiore quantità in superficie in fibra di vetro intrecciata. I materiali FR-3 sono composti epossidici di vetro molto utilizzati per PCB a doppia faccia con fori placcati.

PTFE MAS

I materiali in politetrafluoroetilene (PTFE) si propongono come una valida alternativa al più comune FR-4. Ottenuto con un composto di carbonio e fluoro, il PTFE ha una temperatura di transizione vetrosa elevata, pari a circa 120°C.

Il PTFE MAS possiede eccellenti proprietà dielettriche che si mantengono tali anche a frequenze molto elevate, rendendolo una soluzione adatta per le applicazioni ad alta velocità, alta frequenza, microonde e RF ad alta potenza. La perdita di segnale è molto bassa, il controllo dell'impedenza è semplificato e le prestazioni del segnale sono eccellenti

Le fasi principali di produzione di un circuito stampato

Step-1: Deposizione del fotoresist

La maggior parte dei circuiti stampati sono fabbricati applicando uno strato di rame su tutta la superficie del [materiale](#) del [substrato PCB](#) su un lato o su entrambi i lati.

Quindi, un sottile strato di rame viene depositato sulla superficie.

Successivamente il rame indesiderato verrà rimosso con metodi sottrattivi.

Molti circuiti stampati sono costituiti da più strati; questi sono indicati come circuiti stampati **multistrato**. Sono costituiti da diverse piastre sottili o strati di tracce e sono legati insieme attraverso il processo di laminazione.

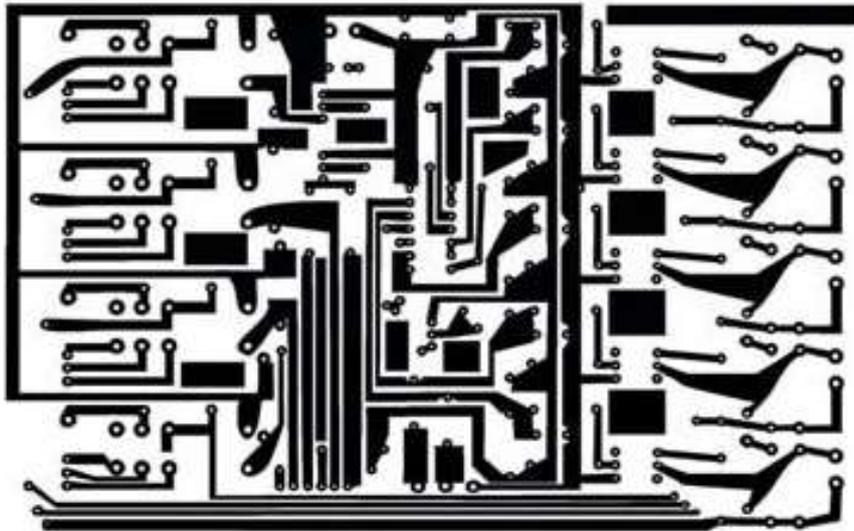
Le piastre ramate verranno immerse in una vernice fotosensibile, detta fotoresist, la cui caratteristica è la polimerizzazione, se sottoposta alla luce ultravioletta.

In parole povere, polimerizzare una vernice significa "disaggregarla a livello molecolare " rendendola una "polvere" facilmente rimovibile.

Step-2: Fotoincisione

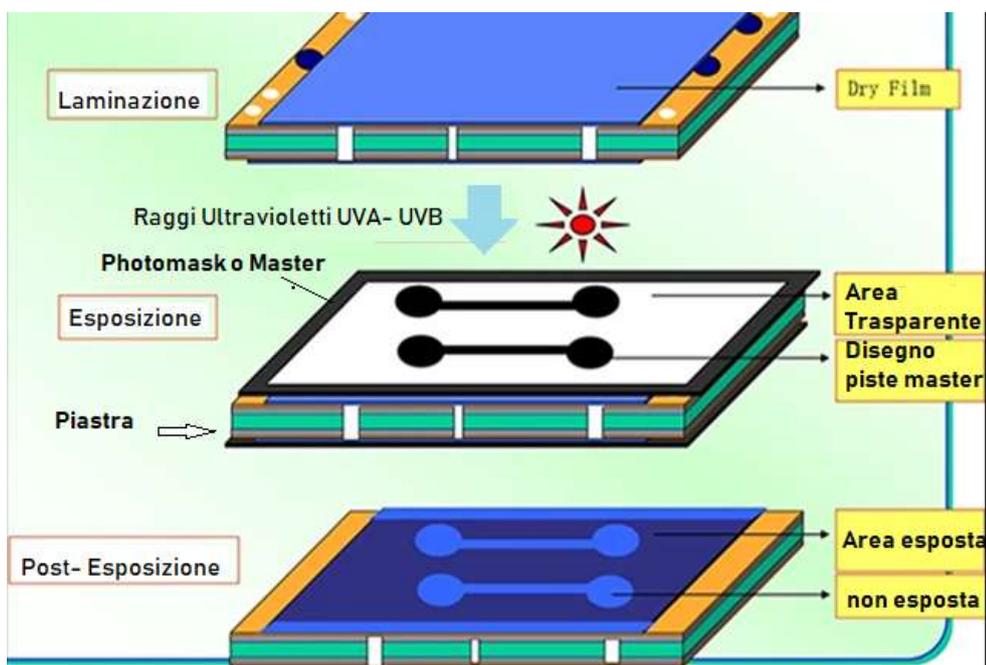
Il processo di fotoincisione utilizza una maschera detta Master o una fotomaschera combinata con l'incisione chimica per sottrarre o rimuovere le aree di rame dal substrato del circuito stampato.

La photomask è creata con un fotoplotter che prende il design da un software CAD PCB, per esempio KiCad . In casi artigianali viene utilizzata una stampante laser a risoluzione inferiore per stampare maschere (detto anche "master") su fogli trasparenti in triacetato.



1 Esempio di Master stampato su foglio trasparente triacetato

Il processo di fotoincisione utilizza una macchina, detta BROMOGRAFO, dotata essenzialmente di lampade di tipo Ultravioletto UVA o UVB .



Step 3 - Sviluppo

Dopo l'esposizione al bromografo, risulta necessario togliere il fotoresist polimerizzato che è stato sottoposto ai raggi Ultravioletti.

Il liquido di sviluppo generalmente è costituito da una soluzione con Soda caustica (NaOH) con concentrazione al 5-7% .

Il fotoresist polimerizzato risulta più solubile nell'idrossido di sodio e quindi più facilmente asportabile.

Step 4 - Incisione del rame

Dopo lo sviluppo , la piastra lavorata, che riporta al momento soltanto il disegno delle piste, viene immersa in un liquido per la corrosione del rame. La sostanza utilizzata per l'eliminazione del rame in eccesso è il Percloruro ferrico Fe_2Cl_3 , un liquido altamente corrosivo nei confronti dei metalli.

Generalmente le attrezzature per l'incisione del rame sono macchine automatiche dotate di sistema di controllo della temperatura (circa 30-35°C) e di agitazione meccanica.

Step 5 - Lavaggio e Lappatura

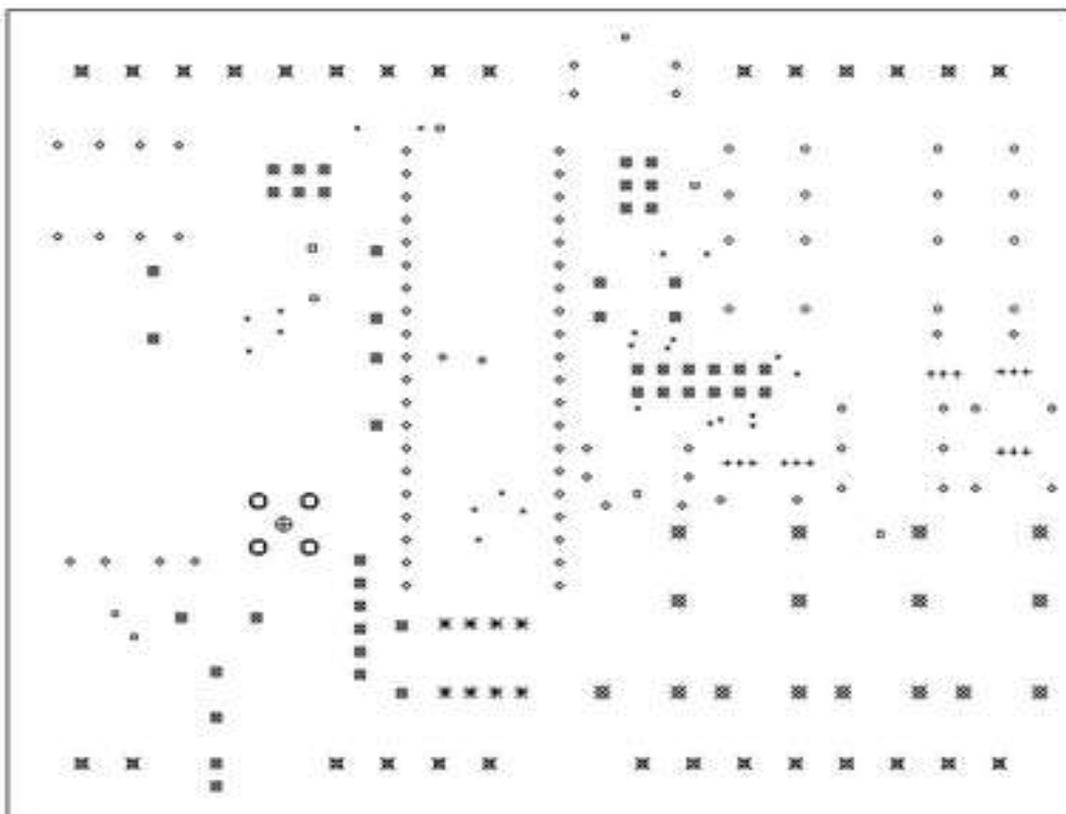
Al termine della fase di incisione con percloruro ferrico, la scheda viene lavata e sgrassata. Successivamente viene effettuata l'asportazione del fotoresist tramite processi meccanici di levigatura delle piste in rame.

Step 6 - Foratura

Nelle schede PIH, è necessario forare la piastra per poter inserire i piedini dei componenti.

La foratura avviene tramite trapani automatici a controllo Numerico multi-mandrino, seguendo la mappa di foratura prodotta da software CAD di progettazione .

Di seguito un esempio di mappa di foratura prodotta con il software KiCad .



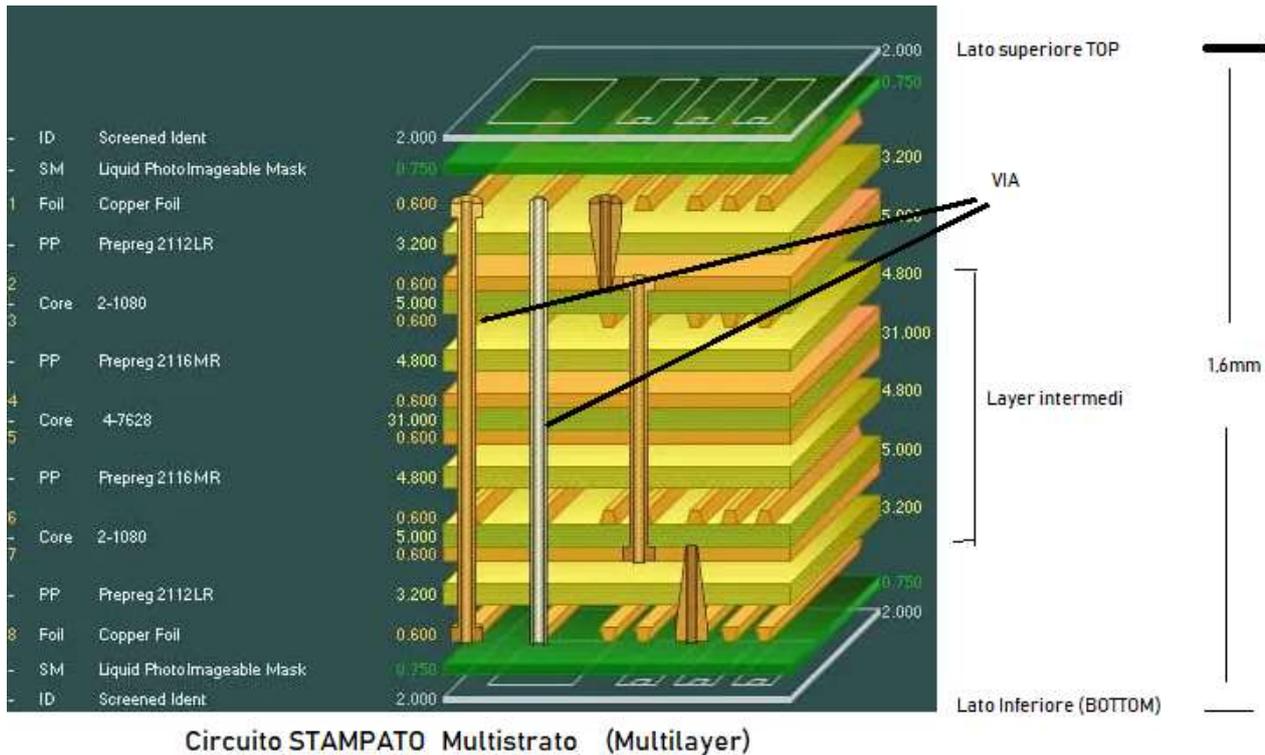
Drill Map:

•	0.400mm	/	0.0157"	(23 holes)
◦	0.700mm	/	0.0276"	(16 holes)
+	0.750mm	/	0.0295"	(15 holes)
◊	0.800mm	/	0.0315"	(11 holes)
◊	0.800mm	/	0.0315"	(76 holes)
■	1.000mm	/	0.0394"	(48 holes)
⊠	1.118mm	/	0.0440"	(8 holes)
⊠	1.300mm	/	0.0512"	(29 holes)
⊠	1.400mm	/	0.0551"	(16 holes)
⊕	1.500mm	/	0.0591"	(1 hole)
⊙	1.700mm	/	0.0669"	(4 holes)

Nella mappa di foratura (Drill Map) sono riportate le posizioni dei fori ed il loro diametro.

Oltre che forare il PCB in corrispondenza delle piazzole dove andranno posizionati i piedini dei componenti, generalmente vengono realizzati ulteriori fori necessari al collegamento dei vari strati di piste presenti sui vari layer. Questi fori metallizzati chiamati "VIAS", permettono un collegamento elettrico tra le piste disposte su più layer del circuito stampato. Vengono utilizzati sia nella tecnologia classica THT che in quelle SMT.

Nei PCB multilayer ,può essere controllata la profondità di perforazione per effettuare fori su alcuni strati.



Nota : Nelle schede in tecnologia SMT, i componenti elettronici sono montati sul lato superiore del PCB e non richiedono fori

Step 7 - Protezione delle piazzole

Dopo la foratura le piste del circuito stampato vengono protette per evitare possibili ossidazione del rame che potrebbero indurre "saldature fredde"

I metodi principali sono :

- Passivazione del rame

La finitura Rame Passivato consiste in un processo di protezione chimica del rame con uno strato formato da particolari sostanze organiche dello spessore indicativo di 0,3 μm . Il risultato è una superficie assolutamente uniforme e planare.

- Rullatura di stagno

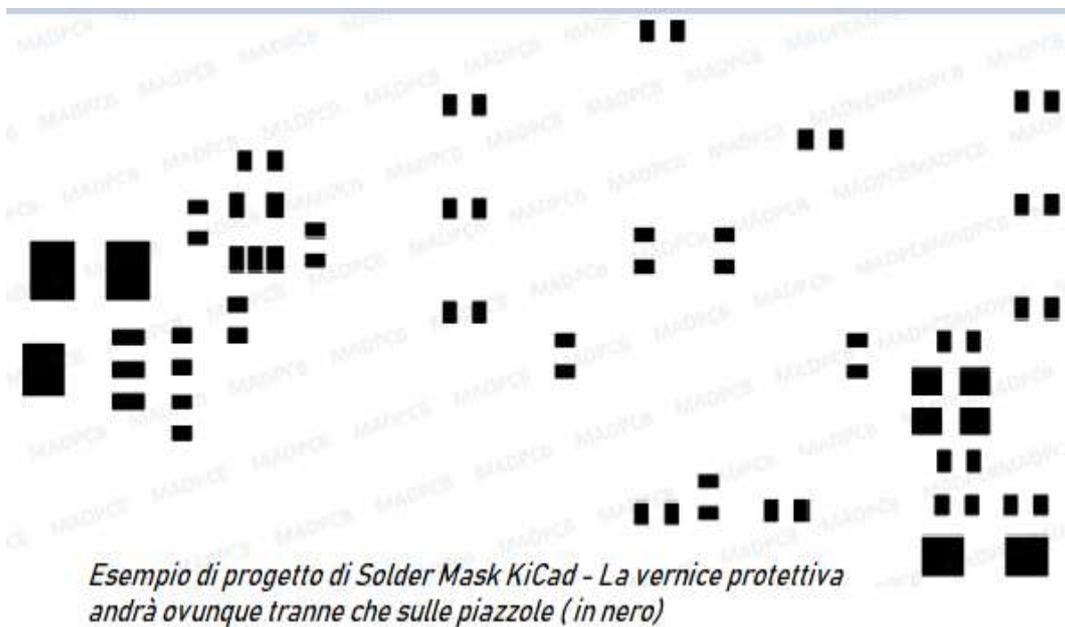
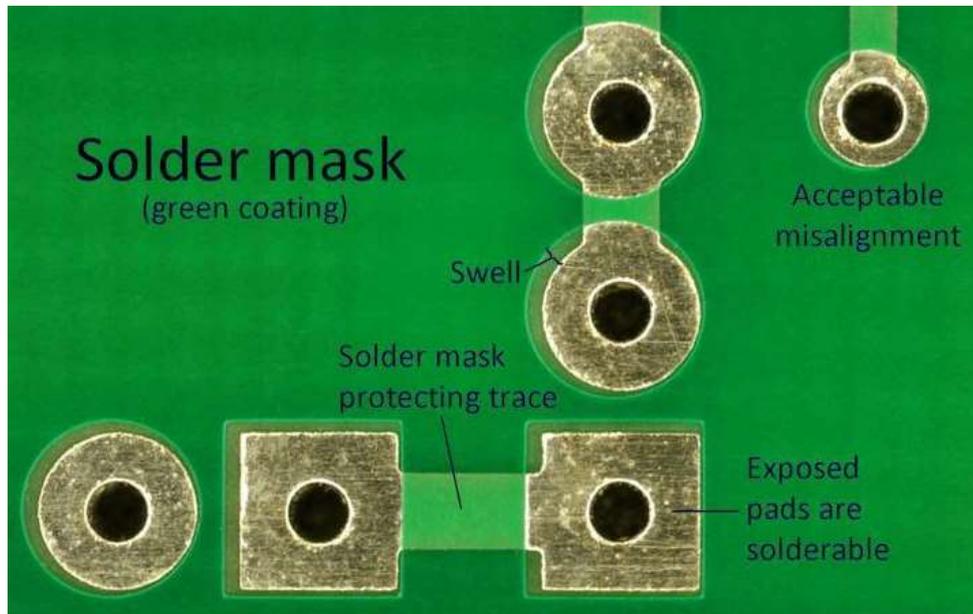
In questo caso viene "rullato" sulle piste dello stagno fuso. Gli spessori dello strato di rame così depositato è di qualche micron.

Step 8 - Deposizione del Solder Resist

La maschera per saldatura (solder Mask) è una vernice di rivestimento applicata a una scheda a circuito stampato (PCB) per proteggere le tracce di rame sulla scheda dall'esposizione all'aria, dall'umidità e per evitare i cortocircuiti elettrici in fase di saldatura.

La maschera di saldatura viene solitamente applicata su entrambi i lati del PCB, ovvero in alto e in basso per garantire affidabilità e prestazioni.

La vernice protettiva, generalmente di colore verde, viene messa dappertutto tranne che in corrispondenza delle piazzole e dei punti di saldatura.



Step 9 - Mappa serigrafica dei componenti

Successivamente alla fase di deposizione della vernice solder, verrà riportata sulla piastra, attraverso un metodo serigrafico, la mappa dei componenti indicanti la loro posizione di montaggio .

Tecnologia di produzione dei circuiti integrati



Il componente base dei componenti elettronici è il SILICIO.

I moderni circuiti integrati vengono realizzati con tecnologie in grado di inserire su chip di silicio di dimensioni molto ridotte (qualche mmq) anche qualche centinaia di milioni di transistor.

Un transistor è un componente elettronico che possiede due giunzioni, cioè 2 aree di contatto tra 2 zone a diverso drogaggio (tipo P e TIPO N); Si ricorda che il silicio è un elemento appartenente al 4° gruppo della tavola periodica e che, per ottenere una zona a drogaggio di tipo N, è necessario inserire atomi appartenenti al 5° gruppo, mentre per il drogaggio di tipo P, vanno inseriti atomi del 3° gruppo.

Viene riportato di seguito sinteticamente , il flusso di fabbricazione dei circuiti integrati :

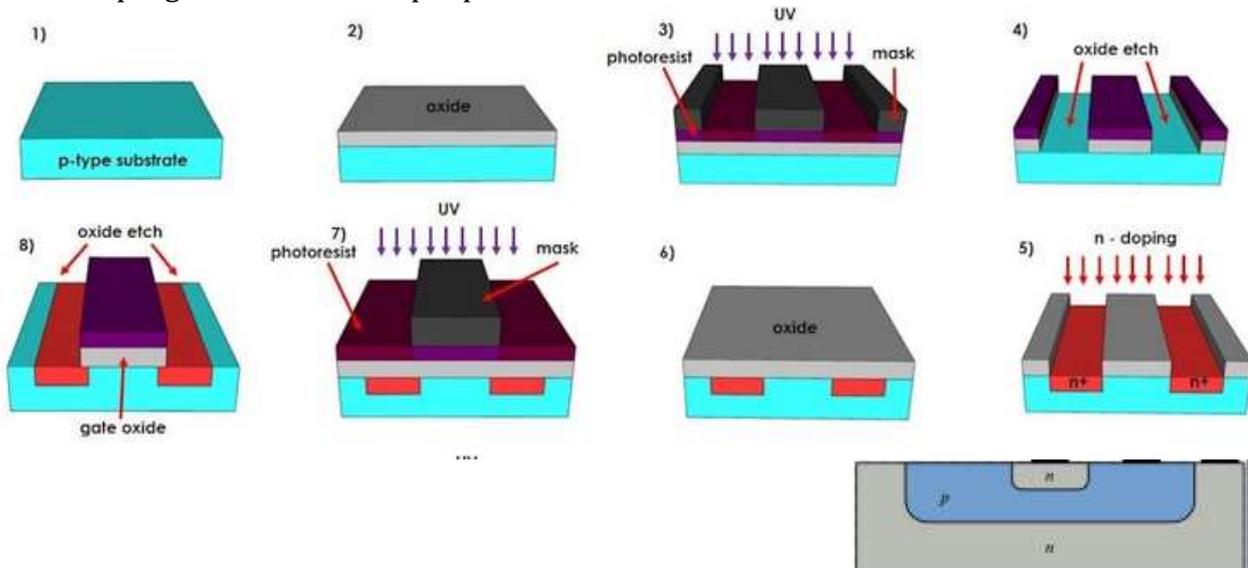
1. La silice, presente in grande quantità sulla terra, per esempio la sabbia ne contiene alte percentuali, viene purificata con un processo di riscaldamento fino a quando non si scioglie in un liquido ad alta purezza e poi si solidifica per [cristallizzazione](#).

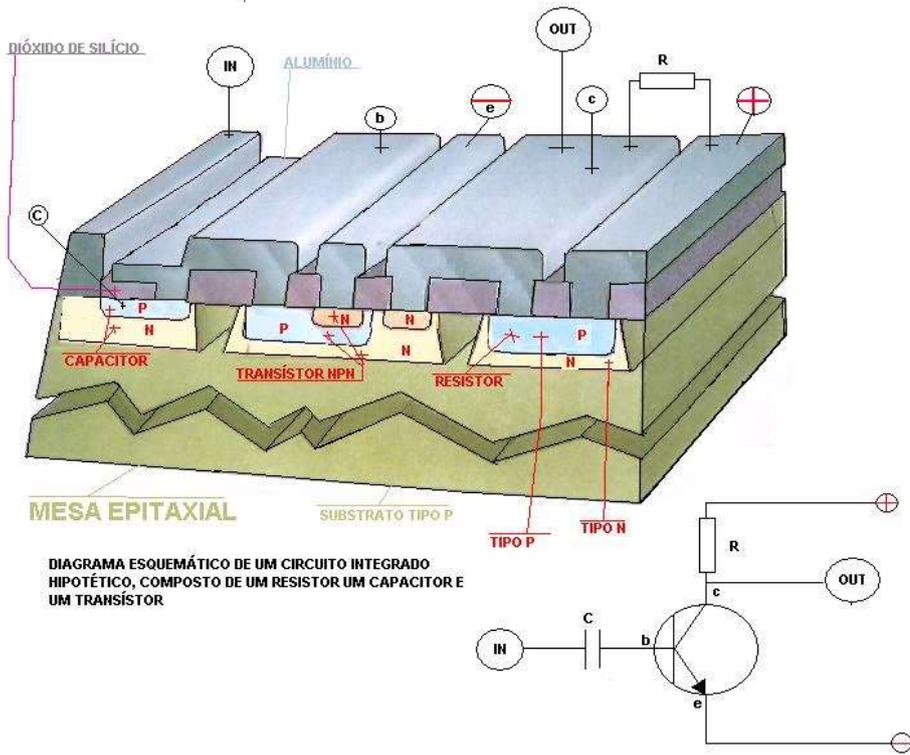
2. L'asta di silicio risultante è chiamata lingotto. Questi lingotti sono affettati in un disco a fette sottili dette slice.
3. Le slices vengono dapprima prefincate e poi posizionate su supporti ad anello detti O-ring



Slides di silicio non ancora drogate

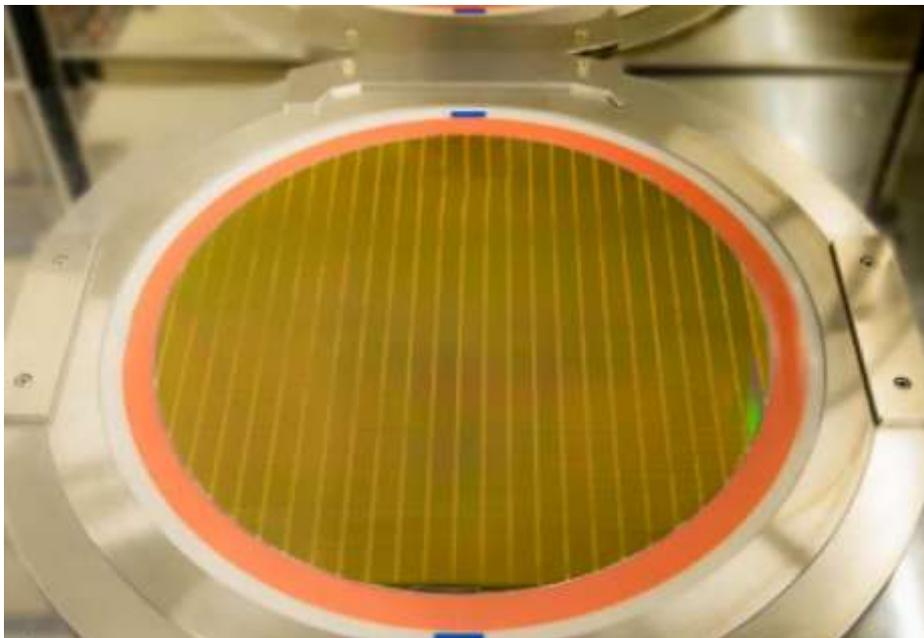
4. Le superfici delle slices possono essere ruvide e contenere difetti, così vengono sottoposte ad un processo di lucidatura superficiale
5. A questo punto ogni slice viene opportunamente drogata con atomi di gruppi diversi tramite un processo di diffusione ionica o di impiantazione ionica, ottenendo così il cosiddetto WAFER. Per inserire più componenti sulle superfici molto ridotte dei chip, si utilizza una tecnologia detta planare-epitassiale che consiste nel drogare il chip, progressivamente su più piani.





Drogaggio per diffusione

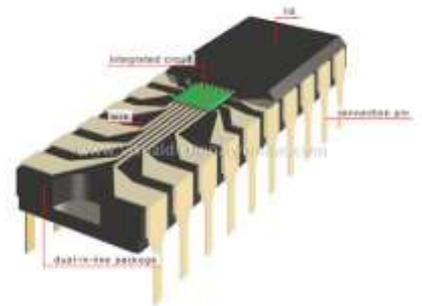
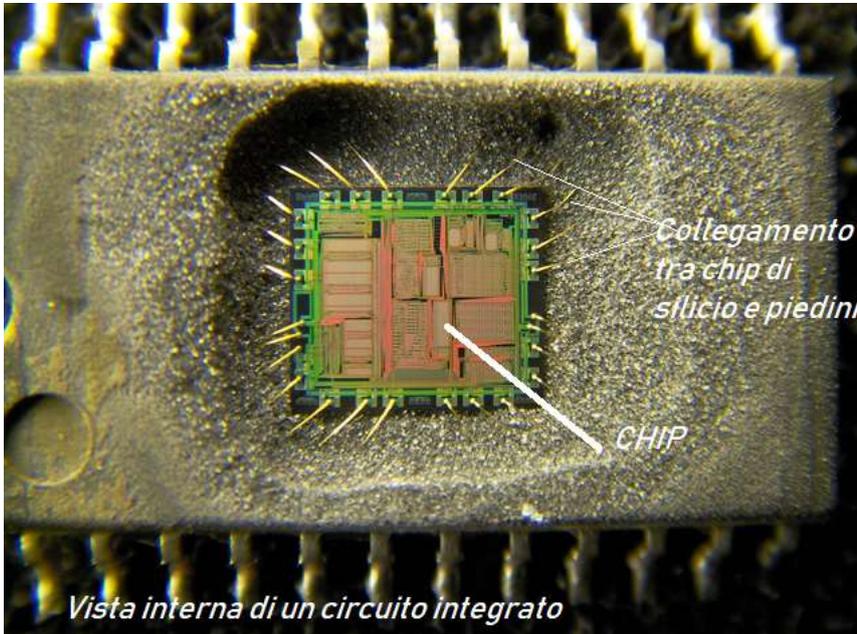
Esempio di diffusione di un circuito integrato composto da transistor NPN, condensatore e resistenza



6. Dopo la diffusione, il wafer viene ispezionato visivamente per verificare eventuali difetti : se i difetti superano il 30%, il wafer viene scartato e non lavorato ulteriormente.

Wafer di silicio montato su O-Ring di lavorazione

7. Di seguito , una linea automatica detta Pick&Place inserisce ciascun chip all'interno di un contenitore, con il successivo collegamento del chip ai piedini dell'integrato.
8. Infine, verrà eseguito il test con collaudo e verifica al 100% delle specifiche.



SMT VS SMD VS THT

Il mondo dell'elettronica tende a miniaturizzarsi ed esige dimensioni sempre più piccole con dispositivi sempre più potenti. Questa corsa alla miniaturizzazione dipende dalle tecniche di assemblaggio utilizzate: *Surface Mount Technology (SMT)*, *Through-Hole Technology (THT)*

I termini SMT e THT non sono solo semplici acronimi, ma rappresentano approcci diversi per l'assemblaggio [di componenti elettronici](#) su un circuito stampato (PCB). Hanno le loro radici nell'evoluzione della produzione elettronica, guidata dalla necessità di efficienza, miniaturizzazione e economicità.

La **tecnologia SMT** è fondamentale per ottenere schede elettroniche sempre più piccole e ad alta densità di componenti con produzione di volumi elevati, vantando componenti miniaturizzati e assemblaggio automatizzato per l'economicità e la velocità.

La **tecnologia THT**, pur essendo molto meno compatta (i componenti per SMT i Surface Mounted Devices sono circa 10 volte più piccoli dei corrispondenti componenti THT), offre però un assemblaggio manuale più semplice e robusti collegamenti meccanici, che lo rendono ideale per la prototipazione o per circuiti di potenza, dove sono richieste grandi correnti in gioco.

Comprendere le basi

Nel regno dell'assemblaggio elettronico, **tre** termini chiave spesso vengono alla ribalta: **Surface Mount Device (SMD)**, **Surface Mount Technology (SMT)** e **Through-Hole Technology (THT)**.

Trattano metodologie distinte per l'assemblaggio di componenti elettronici su un circuito stampato (PCB). Ogni tecnica ha caratteristiche, applicazioni ed effetti unici sul design dei dispositivi, funzionalità e affidabilità. Per cogliere appieno le sfumature dell'assemblaggio elettronico, è fondamentale comprendere questi termini e i concetti che rappresentano.

SMD (Dispositivo di montaggio superficiale)

I dispositivi di montaggio superficiale, comunemente noti come [SMD](#), rappresentano un tipo di componente elettronico appositamente progettato per essere montato o posizionato direttamente sulla superficie dei PCB. A differenza dei componenti tradizionali che richiedono dei piedini da inserire nei fori del PCB, gli SMD eliminano questa esigenza, portando a un processo di assemblaggio più snello ed efficiente.

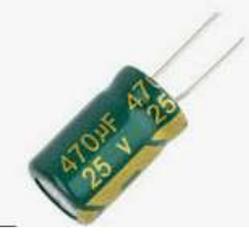
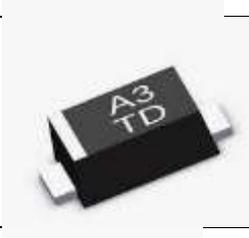
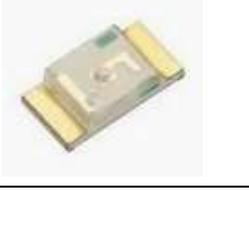
Gli SMD sono disponibili in una varietà di forme e dimensioni, che vanno da semplici resistenze, diodi, transistor e condensatori a circuiti integrati più complessi.

Sostituire i componenti a foro passante con gli SMD può ridurre le dimensioni della scheda fino al **60-70%** consentendo dispositivi più densi e più compatti.

L'uso di SMDs offre diversi **vantaggi** nell'assemblaggio elettronico. In primo luogo, poiché sono montati direttamente sulla superficie del PCB, consentono una maggiore densità di componenti. Ciò significa che più componenti possono essere montati su un singolo PCB, permettendo la creazione di dispositivi elettronici più complessi e potenti. Da tenere in conto che il processo di assemblaggio per SMD è in genere più veloce e più automatizzato rispetto alla tecnologia THT tradizionale, portando ad una maggiore efficienza produttiva.

Tuttavia, anche gli SMD hanno i loro **svantaggi**. A causa delle loro piccole dimensioni, possono essere più difficili da gestire manualmente, richiedendo attrezzature specializzate per il posizionamento e la saldatura. Inoltre, generalmente non sono robusti come i componenti tradizionali, rendendoli più suscettibili ai danni causati dallo stress fisico o dalle alte temperature.

Raffronto tra componenti a tecnologia SMD e PIH (THT)

	THT	SMD	
Resistenze			
Condensatori Ceramici			
Condensatori elettrolitici			
Circuiti integrati			
Transistor			
Diodi			
Diodi LED			



video tecnologia SMT



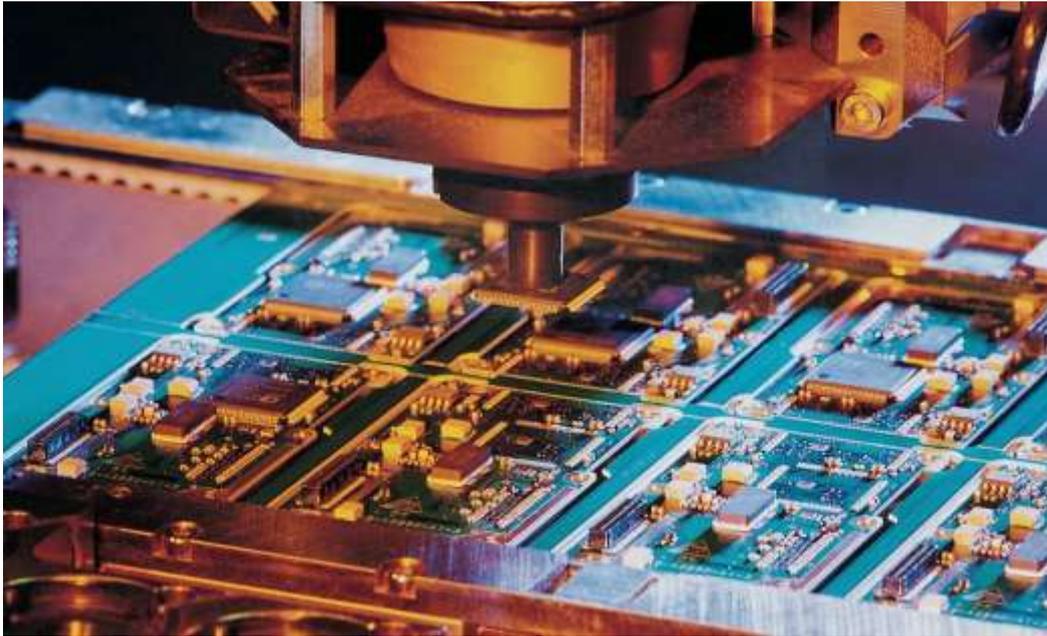
SMT (Tecnologia di montaggio superficiale)

La tecnologia di montaggio superficiale, o **SMT**, è un metodo utilizzato nell'assemblaggio di dispositivi elettronici di tipo SMD. Si tratta di montare componenti elettronici direttamente sulla superficie di un [circuito stampato](#) (PCB). Ciò è in contrasto con i vecchi metodi di assemblaggio, come la tecnologia Through-Hole (THT), in cui i componenti sono stati inseriti in fori perforati sul PCB.

Le fasi di lavorazione del processo di produzione SMT

- Il processo inizia con l'applicazione della **pasta saldante** contenente piccole quantità di stagno sulle piazzole dove andranno saldati i componenti al PCB. (la pasta salda permette una più facile saldatura)
- Successivamente viene inserita, con un metodo serigrafico, una minuscola quantità di **collante** nelle posizioni del PCB dove verranno collocati i componenti ;
- I componenti SMD, vengono quindi posizionati, in automatico, nelle giuste posizioni, per mezzo di una macchina detta **Pick&Place**, con conseguenti tempi di produzione e costi di manodopera più rapidi.

Una macchina automatica Pick&Place può posizionare anche fino a 40.000 componenti ogni ora, con una precisione di posizionamento di 0,01mm.



Pick & Place per il posizionamento dei componenti SMD

- Infine avviene la **saldatura**. Viene utilizzata una particolare attrezzatura chiamata “**forno a rifusione**”, dove si raggiungono temperature di fusione dello stagno (circa 230-250°C).

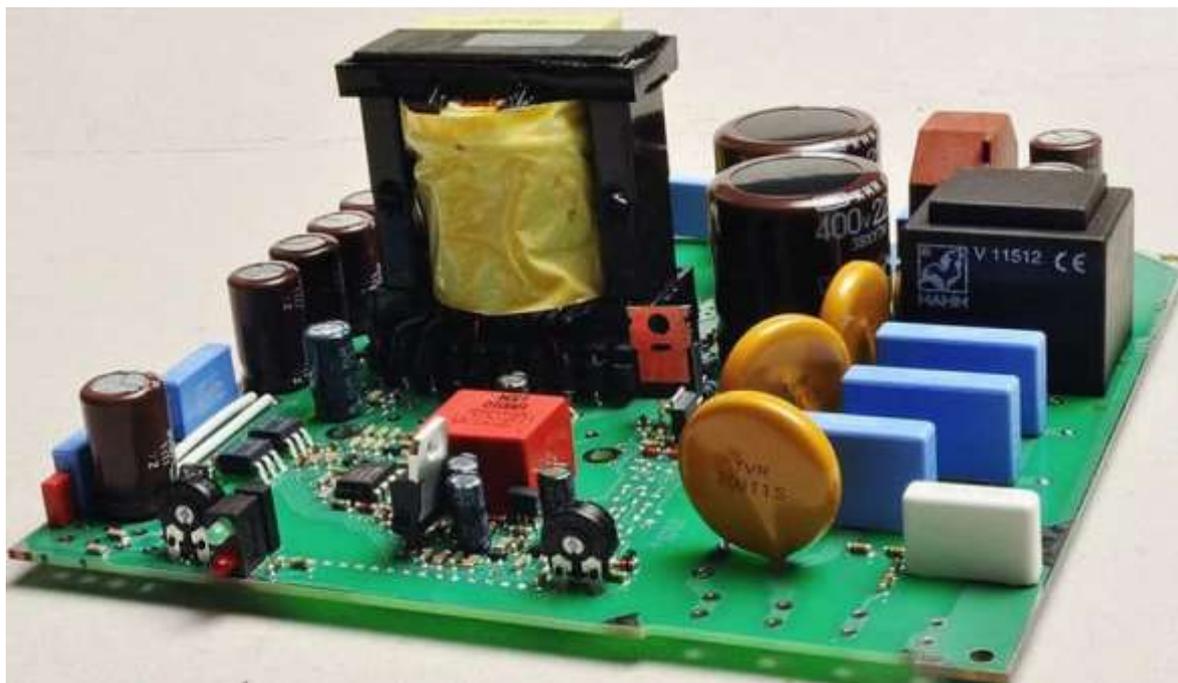
Il forno industriale è composto da 3 aree con profili termici predeterminati, la prima di **flussaggio**, la seconda di **preriscaldamento**, dove si raggiungono temperature di 80-90°C utile ad evitare uno shock termico alle schede durante la saldatura, la terza, generalmente a raggi infrarossi dove avviene la **saldatura**, quindi con la fusione della pasta di saldatura e il successivo raffreddamento in grado di formare un collegamento meccanico ed elettrico tra il componente e il PCB.



*Forno a rifusione industriale***THT o PIH (Tecnologia con attraversamento del foro – Pin in Hole)**

La tecnologia “attraverso il foro”, spesso abbreviata in **THT**, è un metodo di assemblaggio di componenti in cui i piedini dei componenti vengono inseriti nei fori realizzati su di un circuito stampato (PCB) e quindi saldati sulle piazzole poste sul lato opposto.

Questo metodo di assemblaggio è in circolazione da molti decenni ed è stato il metodo standard di assemblaggio prima dell'avvento della tecnologia di montaggio superficiale (SMT).

*Scheda elettronica in Tecnologia THT*

Viene spesso utilizzato per i componenti che devono resistere allo stress fisico, come connettori, interruttori, condensatori e induttori di grandi dimensioni. Il legame meccanico creato dal filo reoforo del componente che passa attraverso il PCB e viene saldato dall'altro lato è molto forte, rendendo i componenti THT più robusti rispetto alla tecnologia a montaggio superficiale.

Il processo di assemblaggio di un PCB utilizzando THT comporta diversi **passaggi**.

- a) In primo luogo, il PCB possiede dei fori in corrispondenza dei punti in cui i componenti saranno posizionati.
- b) I componenti, opportunamente preparati, tagliati e piegati a misura, vengono quindi inseriti in questi fori.
- c) La saldatura avviene per mezzo di una saldatrice ad onda di stagno.

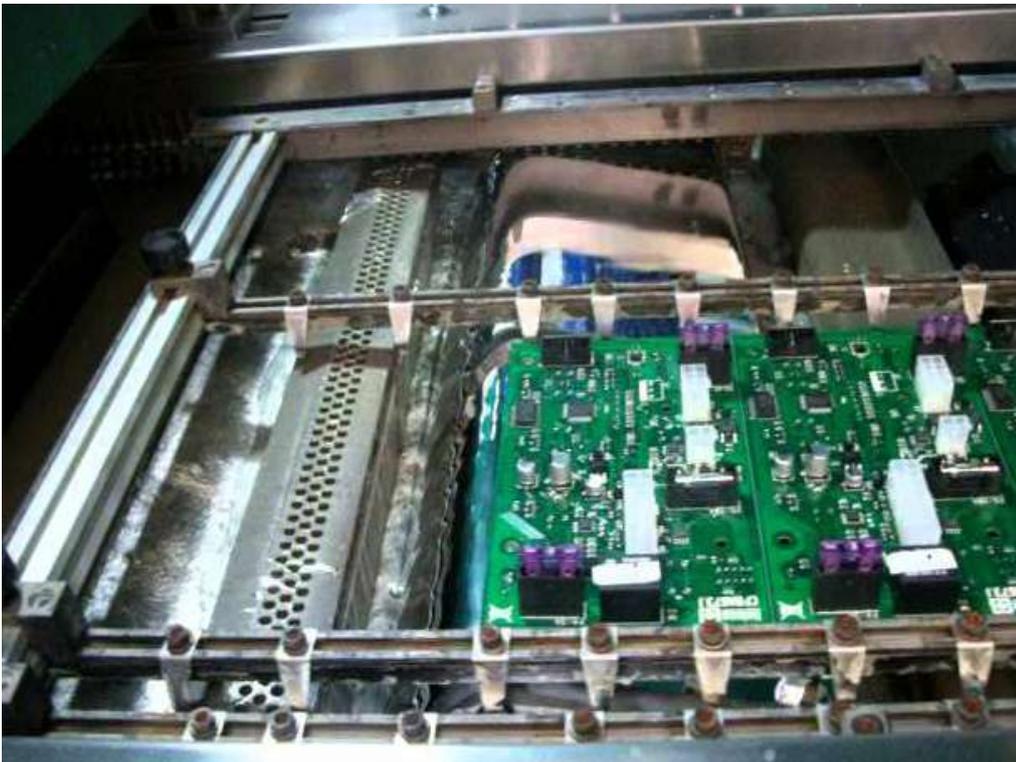


3 Saldatrice ad onda

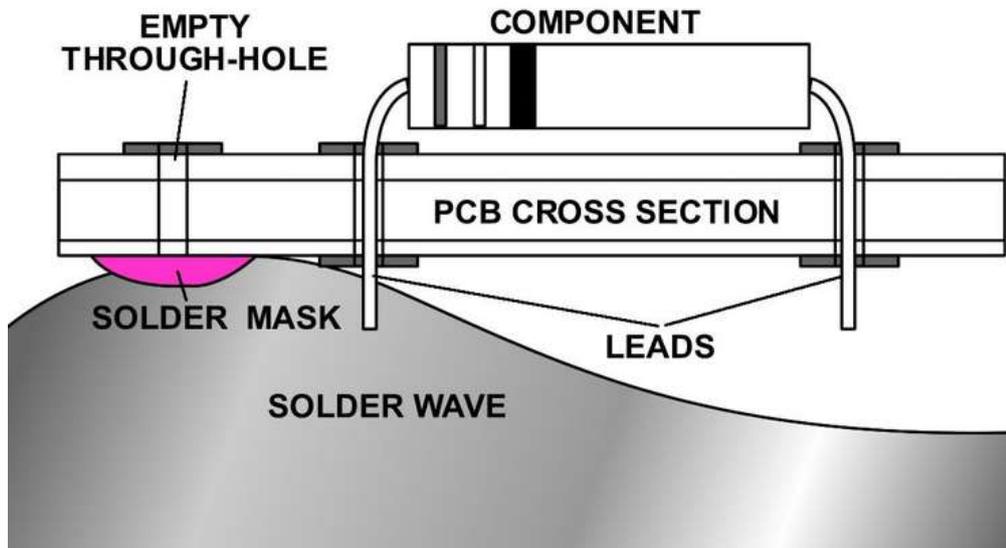
Anche in questo caso l'attrezzatura, dotata di nastro trasportatore è composta da **tre zone** :

la prima, detta di **flussaggio** dove avviene una "sgrassatura" del PCB e quindi delle piazzole e dei reofori (i piedini) dei componenti, la seconda di **preriscaldamento** e la terza, dove avviene la **saldatura per mezzo di un onda di stagno fuso** che lambisce la parte inferiore della scheda.

All'uscita della macchina, con la solidificazione dello stagno accumulatosi sulle piazzole, la scheda elettronica risulta pronta.



4 Particolare del crogiuolo di saldatura in una saldatrice ad onda



Schema di saldatura ad onda di stagno. La scheda elettronica su nastro trasportatore viene "spinta" sull'onda di stagno fuso (solder wave) che lambisce la parte inferiore del PCB creando dei giunti di saldatura sui piedini (leads) del componente. La vernice solder (solder mask) protegge le piste dallo stagno .

Vantaggi e svantaggi della tecnica THT

Mentre è indubbio il **vantaggio** della robustezza, la tecnica presenta numerosi svantaggi, motivi di base del quasi inutilizzo di questa tecnica nelle nuove generazioni di schede .

La dimensione maggiore delle schede e dei PCB implica un maggior costo complessivo, senza contare che il processo di perforazione dei fori nel PCB si aggiunge al costo e al tempo di produzione.

Inoltre, poiché i componenti sono montati su un lato del PCB e saldati dall'altro, THT non consente di posizionare i componenti su entrambi i lati del PCB, limitando la densità dei componenti.

Nonostante questi **svantaggi**, THT continua ad essere utilizzato in molte applicazioni in cui è richiesta robustezza o dove i componenti sono troppo grandi o inadatti per [il montaggio superficiale](#).