

## Nuove frontiere del circuito stampato

*Circuiti duttili, FR4, circuiti termoconduttivi...: una galassia di tecnologie, sigle e processi caratterizzano i moderni circuiti stampati. Quali sono le tecnologie più all'avanguardia e quali sono quelle più convenienti in termini di qualità e costi?*

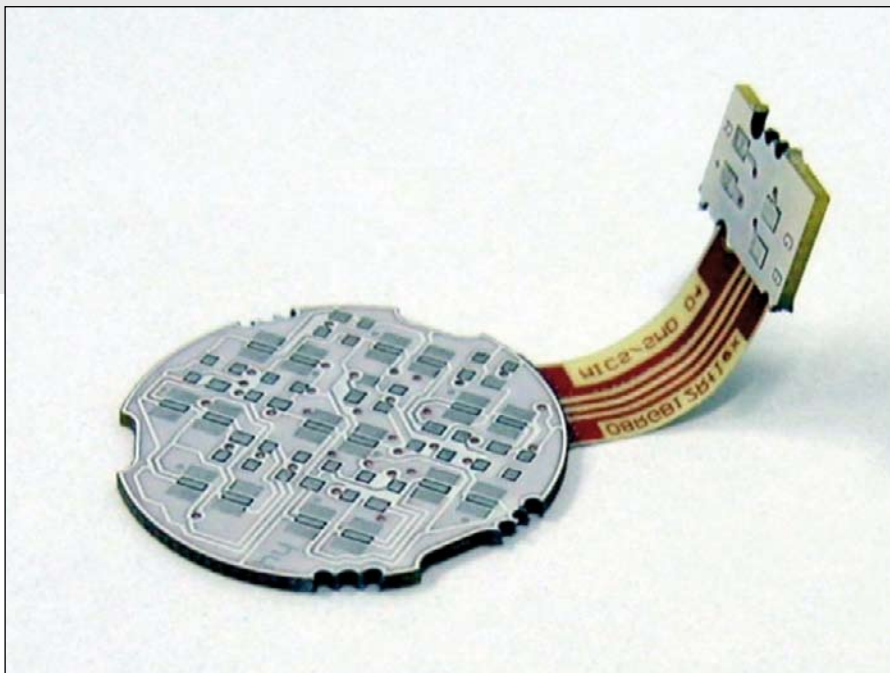


Fig. 1 - Circuito "duttile" (doppia faccia)

# Tutti i segreti dei pcb

DI ING.  
G. SCARPA

Nell'ambito della produzione di apparati per l'elettronica di nuova generazione vi sono situazioni nelle quali l'alta tecnologia corrisponde a nicchie di mercato per le quali una scarsa economicità non è un problema primario. In altri casi invece è proprio il basso costo dell'oggetto ad essere non meno importante delle sue prestazioni, della sua durata e di un funzionamento ineccepibile. È per tal motivo che lo sviluppo di prodotti che "ottengono lo scopo a basso costo" è un dictat della modernizzazione nell'elettronica come, peraltro, anche in moltissimi altri settori.

Sul frangente dei circuiti stampati sono all'ordine del giorno tecnologie molto sofisticate (in termini di processi produttivi e di risulta-

ti) per cui sono ben note sigle quali LDI (Laser Direct Imaging), VOP (Vias On Pad), IMS (Isolated Metallic Support), HDI (High Density Interconnect), WLP (Wafer Level Packaging) ecc., ma anche una tecnologia parallela più semplice, meno altisonante che però vuole soddisfare, magari solo in parte, i medesimi requisiti della sorella di alta gamma con un occhio di riguardo ai costi.

### CIRCUITI "DUTTILI"

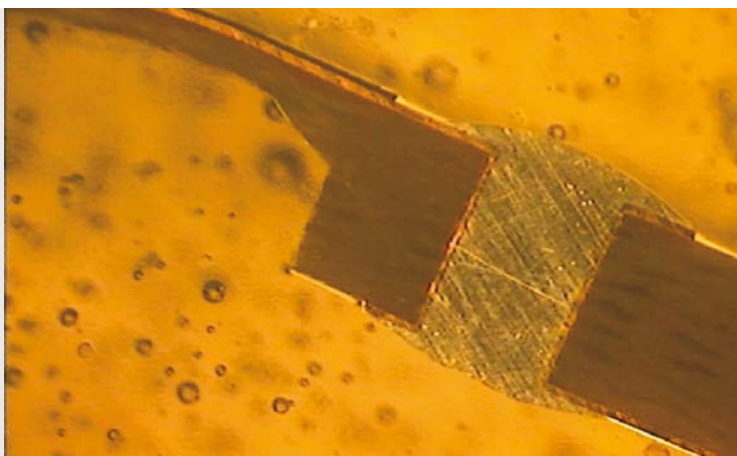
La tecnologia del circuito flessibile, come quella del rigido flessibile, nasce già negli anni settanta e, pur con continui miglioramenti, non è mai riuscita a superare una serie di ostacoli che non le hanno permes-

so di esser sfruttata in molti settori commerciali. Si basa normalmente su un materiale di base polimmidico che permette la realizzazione di circuiti in grado di flettere in continuo, frequentemente e con angoli di piega notevoli.

Nel caso dei circuiti rigido-flessibili tale materiale (normalmente kapton) può essere accoppiato e/o impilato per strati infrapposti a materiali rigidi dotati di pre-tagli di alleggerimento. Questi permettono - a produzione ultimata - la rimozione delle parti rigide, ripristinando quindi la flessibilità delle parti interessate.

Tale materiale presenta però delle tematiche/problematiche produttive articolate; necessita di particolari accorgimenti nell'immagazzinamento, sia esso ancora in stato di materia-

**Fig. 2** – Fresatura ad altezza controllata su sezione metallografica (doppia faccia)



prima (laminato o foglio) o già prodotto finito (pcb); non di meno tali problematiche stanno alla base di oggetti che vanno assemblati rispettando rigide regole di processo.

Quando vi sia una parte rigida sia esso un irrigiditore (supporto) o parte integrante del circuito stesso (rigidi flessibili), la complessità produttiva e di gestione aumenta sia per il produttore dello stampato sia per l'assemblatore e, con questa, il costo dell'apparato finito. Ma tutto ciò è proprio sempre necessario?

Molte volte le necessità del progettista di tali apparati sono tali per cui le alte performance del polimmidico sono ridondanti; non si vuole un circuito che possa essere sottoposto a 100.000 cicli di piegatura con angoli di 270 °C, ma un oggetto che permetta una, due o magari dieci piegature e con angoli ridotti a soli 45° o 90°: in pratica un circuito duttile.

Per capire è bene evidenziare una definizione: la **duttilità** è una proprietà fisica della materia che indica la capacità di un corpo o di un materiale di deformarsi sotto carico prima di giungere a rottura, ovvero la capacità di sopportare delle deformazioni plastiche. Un corpo è tanto più duttile quanto maggiore è la deformazione raggiunta prima della rottura (vedi **Fig. 1**).

#### **IL MATERIALE FR4 (FLAME RETARDANT 4)**

Fibra di vetro inglobata in resina epossidica: in parole povere FR4. Ce ne scusino i produttori di tale importante e sofisticato materiale che

nella produzione dei circuiti stampati la fa da padrone, ma in questo contesto saranno sufficienti queste due poche cose.

L'FR4 è strutturato intessendo delle fibre di vetro (carica del laminato) di dato spessore (diametro della fibra) immerse in resina epossidica (di data densità). Ne derivano dei fogli di materiale sottile (in gergo prepreg) che vengono poi commercializzati in quanto tali o impilati e ultimati nel ciclo di polimerizzazione a formare lo spessore desiderato del laminato base (sul quale viene fatto aderire un foil di rame di dato spessore su una o su entrambe le superfici esposte): l'utilizzo dei laminati nei vari spessori permette la costruzione dei circuiti stampati mono e doppia faccia; la combinazione di laminato (inner) e prepreg permette invece la realizzazione di cs multistrati.

Anche questo materiale, come tutti i materiali, ha la sua duttilità che dipende da molti fattori: se ne possono misurare l'allungamento percentuale e/o la strizione percentuale. Anche la temperatura influenza questa caratteristica, che risulterà minore al diminuire della temperatura alla quale il materiale si trova.

#### **LA TECNOLOGIA DELLA FRESATURA AD ALTEZZA CONTROLLATA**

Trattandosi di un materiale basato su un tessuto irrigidito da resina, l'FR4 presenta una duttilità influenzata anche dallo spessore e dalla concentrazione di resina. Maneggiando ad esempio un laminato di 0,25 mm (normalmente realizzato con due fogli di prepreg tipo 2116), ci si accorge come lo stesso permetta delle piegature abbastanza spinte nell'angolatura e ripetute un certo numero di volte senza raggiungere la



**Fig. 3** - Circuiti duttili con piegatura a 90° e 180° (doppia faccia)

rottura né delle fibre né tanto meno del rame (35  $\mu\text{m}$ ) sulla superficie. Su questo si basa la tecnologia del circuito qui discusso.

In pratica, costruendo un semplice circuito a doppia faccia (come pure per cs mono o multistrato), di spessore 1,6 mm (ma anche maggiori o minori), e utilizzando alcuni accorgimenti di masterizzazione, si possono realizzare delle fresature di data ampiezza e profondità tali da indebolire il materiale portandolo a raggiungere uno stato di duttilità sufficiente a rispondere a certe aspettative dei progettisti (vedi **Fig. 2**).

Tali fresature vengono realizzate con delle macchine a controllo numerico sui 3 assi (XYZ) dotate di una gestione molto accurata dell'asse Z (in continuo), nonché di un sistema di rilevazione della coordinata di contatto del tool. In pratica, si lavora eseguendo un'operazione di consumo del materiale di base (laminato) partendo dalla superficie del pcb. In tal modo si ottengono dei circuiti produttivamente abbastanza semplici, che permettono di eseguire l'assemblaggio standard con un proces-

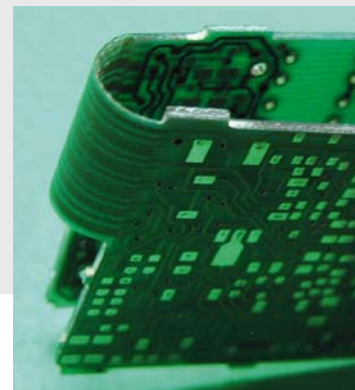
so su un solo piano (diciamo orizzontale), di effettuare poi una piegatura dell'assemblato (anche di 90° o di 180°) ottenendo un apparato con componenti disposti su 2 piani (orizzontale e verticale o orizzontale su 2 livelli) (vedi **Fig. 3**).

Infine, una verniciatura appropriata con materiali idonei (solder resist per materiali flessibili) conferisce all'oggetto una finitura ideale (vedi **Fig. 4**).

Tale tecnologia non permette, come ragionevolmente si può immaginare, di sostituire un circuito flessibile, né un rigido-flessibile in tutte le sue caratteristiche e/o performance. Può però permettere, ad esempio, di sostituire due circuiti stampati assemblati ortogonalmente uno sull'altro (cosa che oggi avviene abbastanza frequentemente).

#### CIRCUITI "TERMOCONDUTTIVI"

La tecnologia IMS basa i suoi fondamenti su un supporto metallico (normalmente alluminio) sul quale

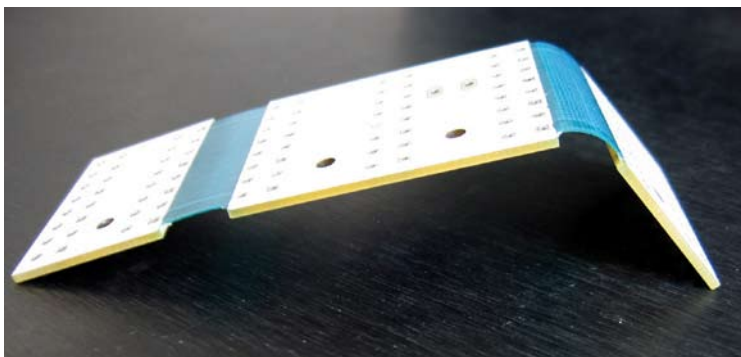


viene accoppiato un materiale elettricamente isolante e un foil di rame che permette la realizzazione del circuito stampato: ne nasce un pcb in grado di dissipare una cospicua quantità di calore senza bisogno che l'assemblato venga dotato di alette di raffreddamento o di particolari altri accorgimenti esterni non sempre possibili (vedi **Fig. 5**).

Tale tecnologia applicata al pcb ha incontrato perfettamente le esigenze della tecnologia LED per la quale è stata ampiamente sviluppata in questi tempi; trova però la sua complessità proprio nella necessità di isolare detto materiale metallico (supporto dissipatore) dal materiale elettricamente conduttivo che realizza il circuito stesso (layer del pcb) senza isolare lo stesso dal punto di vista termico.

Si possono produrre circuiti monofaccia (molto diffusi oggi soprattutto nella tecnologia led), doppia faccia senza fori metallizzati, o anche multistrato con o senza fori metallizzati. In quest'ultimo caso la complessità è accresciuta dalla necessità di isolare il metallo di supporto non solo fra gli strati (isolamento trasversale), ma anche fra strati e pareti metallizzate dei fori passanti (isolamento superficiale).

È poi noto che, pur avendo raggiunto una buona capacità nei processi meccanici, il produttore di stampati incontra notevoli difficoltà nei tempi e nei modi per sottoporre a lavorazione tale materiale, realizzando quello che deve essere un circuito stampato.



**Fig. 4** - Circuito con parte duttile verniciata con materiale flessibile (doppia faccia)

## MATERIALI AD ALTA CONDUCEBILITÀ TERMICA

Esiste, anche se ancora poco diffusa nel mercato odierno, una tecnologia che - pur non raggiungendo le performance della IMS - ottiene ottimi e similari risultati con una complessità produttiva e di gestione assolutamente inferiore: si tratta della tecnologia dei materiali di base isolanti ad alta conducibilità termica.

In pratica, esistono dei materiali di base (laminati) per la realizzazione dei circuiti stampati, in particolare una branca del noto CEM3, che presentano una formulazione che implementa il loro potere di conduttori termici.

In particolare, se un monofaccia IMS può agevolmente raggiungere valori di conducibilità termica di 1,2 W/mK, e se lo stesso monofaccia realizzato con materiale FR4 standard raggiunge normalmente i 0,4 W/mK, i circuiti realizzati con materiale di base standard (intendiamo ancora tessuto di fibra di vetro e resina o simili) sviluppato per tale scopo possono raggiungere valori di 0,8-1 W/mK.

L'utilizzo di detti materiali risolve le problematiche di isolamento elettrico perché, al pari di altri laminati, è il supporto dissipatore stesso ad avere tale caratteristica elettrica.

Realizzato il medesimo pcb con quattro diversi materiali di base, FR4 std, CEM3 in due diverse configurazioni e Alluminio (IMS Technology), utilizzando un led da 1W a una temperatura ambiente di 29 °C,

### Tabella 1 - Tabella risultati test termici su led-pcb

	Pcb FR4 std	Pcb CEM3 mf	Pcb CEM3 df	Al Pcb (IMS)
Temperatura di scheda (°C)	74	60	46	32
Differenza di temperatura dall'ambiente (°C)	45	31	17	3

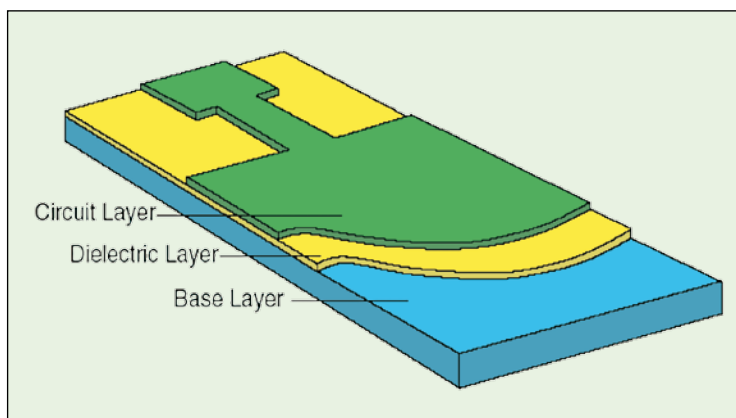


Fig. 5 -  
Tecnologia IMS  
(monofaccia)

si riscontrano i risultati di funzionamento riportati nella **Tabella 1** (dati tratti da documentazione Panasonic).

Tale materiale di base è concettualmente simile al già noto CEM3: si tratta di un tessuto di fibra di vetro e fogli di cartone annegati in resina epossidica. Questo permette un processo produttivo del pcb praticamente standard e, soprattutto, permette la realizzazione di fori passanti metallizzati al pari di altri ben noti materiali. Tali fori metallizzati, oltre che avere le chiare funzioni di connessione elettrica trasversale, possono e sono utilizzati come "conveyor termici" per au-

mentare ulteriormente il valore di conducibilità termica del pcb realizzato. Tali materiali hanno densità paragonabili ai supporti più noti, per cui non rallentano né peggiorano qualitativamente i processi di finitura meccanica del processo produttivo stesso del pcb. Il costo?

La riduzione di complessità tecnologica legata alla produzione dei soli pcb e il risparmio di tempo della sola finitura meccanica degli stessi, non potrà che dare risultati ottimi anche in tal senso. ■

Autore:  
Ing. Guido Scarpa - AAB-Tech srl