



# Aspetti tecnici della saldatura

FARE UNA SALDATURA  
SIGNIFICA "COSTRUIRE  
UN GIUNTO IN CUI LA TENUTA  
MECCANICA SI ABBINA  
AD UNA BUONA  
CONDUCIBILITÀ ELETTRICA"



La saldatura risulta meno agevole per i componenti SMT che per quelli ad inserzione, dove lo stress meccanico della giunzione è irrilevante grazie al sistema ad incastro con cui il reoforo viene inserito nella sede.

Per il componente SMD entrano in gioco sostanzialmente due forze, riassumibili in una radiale al giunto stesso e una perpendicolare. Ciò è dovuto ai diversi coefficienti di dilatazione termica delle parti costituenti i componenti e di quelle che compongono la scheda.

Lo stress meccanico diminuisce col diminuire delle dimensioni del componente. Va comunque rilevato che, essendo la dimensione del giunto di saldatura molto contenuta rispetto al componente ad inserzione, turbative quali inclusioni, cavità, microrotture (microcricche) e contaminazioni, problemi di bagnabilità influiscono pesantemente sul risultato qualitativo.

## LA SALDABILITÀ

La saldatura può essere definita come quel processo che porta all'unione di due metalli attraverso l'apporto di una lega in un certo intervallo di temperatura. Nell'accezione di uso corrente, saldare significa unire due terminali stagnati attraverso la rifusione del materiale d'apporto: la pasta saldante.

In ogni caso, il legame intermetallico che si viene a creare può stabilirsi attraverso due tipi di processo, uno chimico di tipo irreversibile e l'altro di tipo fisico con diffusione o assorbimento.

Dall'unione di rame allo stato solido con lega fusa SnPb a una temperatura attorno ai 260°C si formeranno i compo-

sti intermetallici  $Cu_3Sn$  lato rame e  $Cu_6Sn_5$  al lato lega, con spessori variabili attorno a 0,5-0,7 mm.

Come si vede, un apporto di lega troppo ricco in piombo (Pb) influirebbe negativamente sulla formazione del giunto, in quanto è lo stagno (Sn) a formare i componenti intermetallici da cui dipende la saldabilità e la tenuta del giunto.

Il reticolo cristallino del composto intermetallico si presenta a cristalli fini ed ordinati se viene applicata una temperatura relativamente alta per un tempo il più corto possibile (compatibilmente con le esigenze del processo), a cui segue un altrettanto veloce raffreddamento. Dato che la crescita della giunzione intermetallica è funzione della temperatura, un veloce raffreddamento (cooling) si rende necessario al fine di prevenire derive.

Un reticolo fine e ordinato garantisce una buona tenuta del giunto.

Un tempo di saldatura prolungato, abbinato a uno scarso valore di temperatura, comporta la formazione di reticoli grossolani e disordinati cui corrisponde una scarsa tenuta del giunto, in particolare per quanto riguarda lo scorrimento (forza radiale). La lega normalmente utilizzata (lega eutettica) ha un punto di fusione di 183°C e gli elementi che ne sono i principali costituenti sono presenti con una percentuale del 63% per lo Sn e del 37% per il Pb; molto usata è anche la composizione  $Sn_{62}Pb_{36}Ag_2$ , cui l'aggiunta del terzo elemento conferisce maggior saldabilità. La purezza del composto, comunque, è di gran lunga il fattore più importante che non il mantenimento delle esatte proporzioni, in quanto può introdurre caratteristiche meccaniche indesiderate, come la fragilità.

La saldabilità è la misura dell'affinità di due metalli ad essere uniti.

I differenti metalli mostrano diversa affinità alla formazione di composto intermetallico. Si ha, così, una saldabilità decrescente dall'oro (Au), all'argento (Ag), al rame (Cu), al palladio (Pd), al nickel (Ni) e, infine, al platino (Pt), che non è saldabile. Dato che ad ogni scelta tecnica deve corrispondere una scelta economica, il rapporto prezzo-prestazioni ha privilegiato il rame come metallo base per l'elettronica. Prerequisiti alla saldabilità sono la pulizia e la deossidazione della superficie. A questo proposito viene normalmente eseguita una stagnazione delle piazzuole, così da proteggerne l'area.

La superficie con migliore saldabilità è costituita da uno spessore SnPb di alcuni  $\mu\text{m}$  ottenuto per immersione in lega eutettica. Il processo di elettrodeposizione del rivestimento SnPb è meno indicato, in quanto rivela una porosità sicuramente dannosa ai fini della creazione del giunto di saldatura.

## LA BAGNABILITÀ

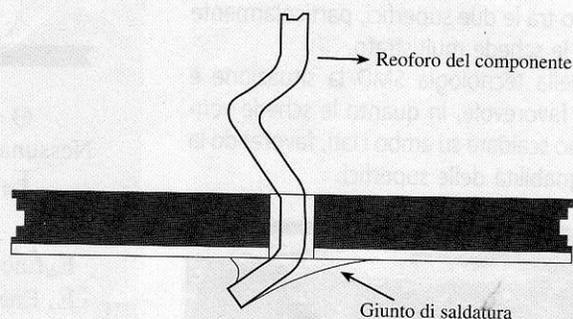
La bagnabilità è la misura di quanto una superficie viene bagnata dalla lega fusa.

Considerando una goccia di lega saldante allo stato liquido, notiamo che diverse forze agiscono sulla sua superficie.

La forza di coesione molecolare tende a mantenere unito il materiale e l'energia che ne scaturisce agisce sulla superficie facendo assumere alla goccia la classica forma sferica (tensione superficiale). La forza di adesione, al contrario, tende a far sì che il liquido si espanda sulla superficie di appoggio.

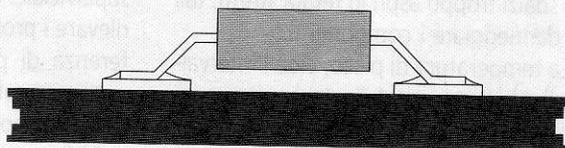
La bagnabilità di una superficie solida da parte della lega dipende sicuramente dai materiali in gioco, ma anche dalla pulizia della superficie. La contaminazione superficiale da parte di ossidi, agenti

### Montaggio ad Inserzione



 **Montaggio a inserzione e superficiale**

### Montaggio superficiale



superficie. Ciò soddisfa il principio secondo cui la materia tende a raggiungere il più basso stato di energia.

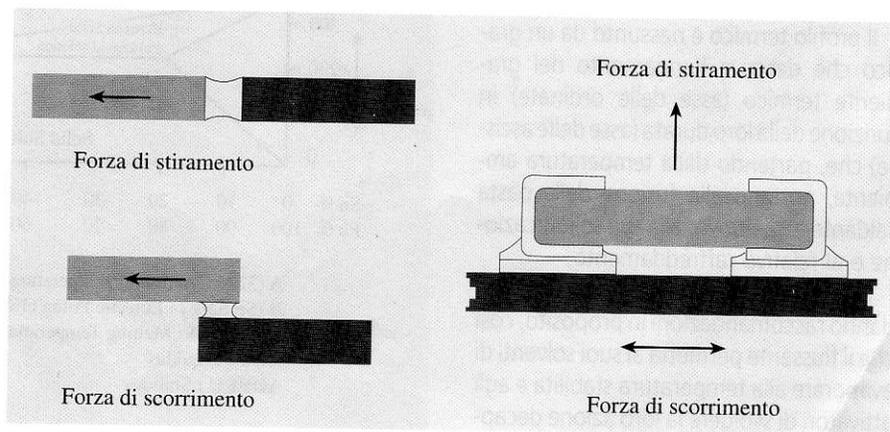
Nel processo di rifusione, la tensione superficiale ha anche un altro ruolo, coinvolgendo superficie di appoggio (la piazzuola), materiale d'apporto (la lega SnPb) e componente. Una corretta tensione superficiale aiuterà l'autoallineamento del componente, che per un certo intervallo di tempo si troverà a galleggiare sulla lega fusa. In particolare, l'effetto riveste notevole importanza per i componenti con alto numero di piedini (high pin count) e per la famiglia dei BGA (ball grid array).

La tensione superficiale può essere influenzata dalla composizione dei flussanti, da additivi presenti nella lega, dall'atmosfera in cui si esegue la rifusione, e in larga misura anche dalla temperatura.

Per l'effetto Marangoni, la lega tende a fluire in direzione delle zone a temperatura più alta.

untuosi e materiale derivante da lavorazioni precedenti ha sicuramente un effetto degenerante sul processo.

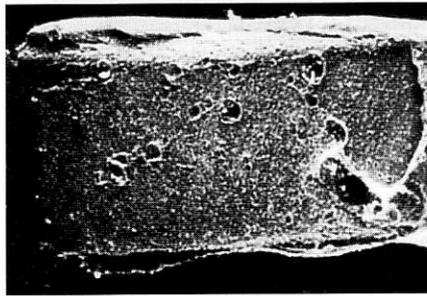
Normalmente, il flussante ha appunto lo scopo di rimuovere quanto non desiderato e predisporre la superficie a ricevere la lega. La tensione superficiale della lega SnPb è relativamente alta, il che comporta che la tendenza di una goccia sia quella di raccogliersi in una sfera, che ha la proprietà, rispetto ad altre figure geometriche, di raccogliere maggior volume a parità di



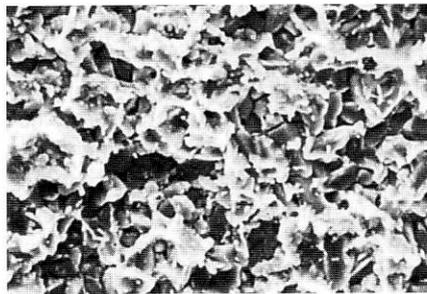
 **Forze che agiscono su un giunto di saldatura**

Nella saldatura ad onda, un ostacolo alla risalita è costituito dal gradiente termico tra le due superfici, particolarmente per le schede multistrato.

Nella tecnologia SMD la situazione è più favorevole, in quanto le schede vengono scaldate su ambo i lati, favorendo la bagnabilità delle superfici.



**Ingrandimento a 150 di un terminale di un QFP dopo la prova a strappo: è evidente l'uniforme bagnatura**

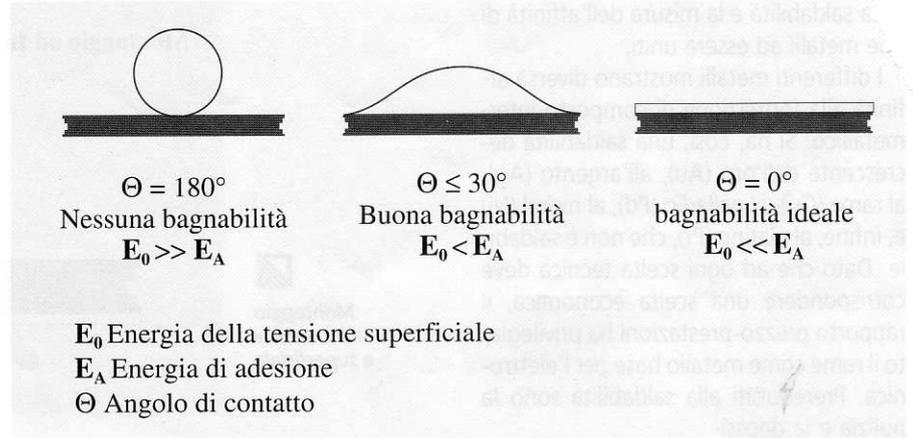


**Ingrandimento a 3500 dello stesso: si deduce l'omogenea formazione degli stati intermetallici**

## IL PROFILO TERMICO

Il profilo termico è riassunto da un grafico che descrive l'andamento del gradiente termico (asse delle ordinate) in funzione della loro durata (asse delle ascisse) che, partendo dalla temperatura ambiente, portano alla fusione della pasta saldante e, di nuovo, alla sua solidificazione e al relativo raffreddamento.

Di solito, i fornitori di pasta saldante danno raccomandazioni in proposito, così che il flussante permetta ai suoi solventi di evaporare alla temperatura stabilita e agli attivatori di svolgere la loro azione decapante. Alcune precauzioni sono d'obbligo, come controllare che l'incremento di



## Gradi di bagnabilità

temperatura (gradiente termico) non abbia sbalzi troppo aspri in tempi stretti, tali da danneggiare i componenti.

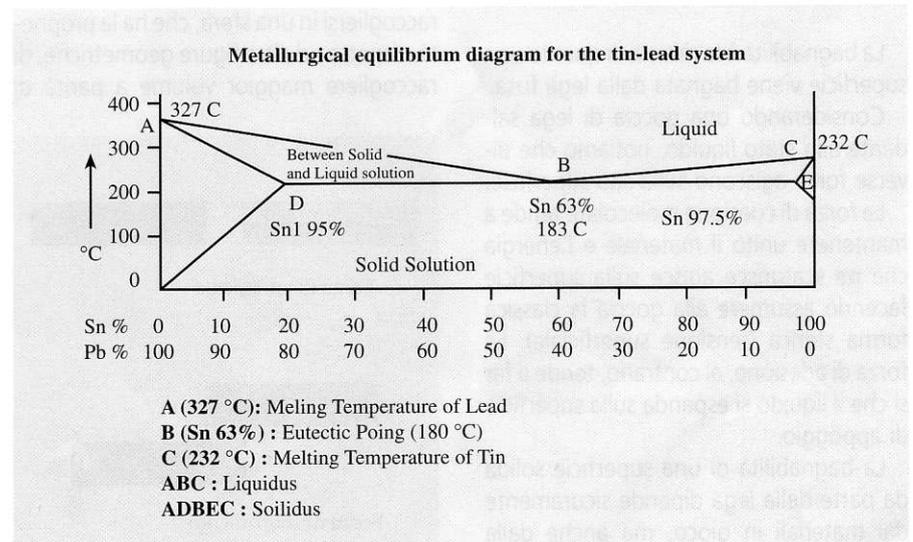
La temperatura di picco, cioè l'intervallo di applicazione della temperatura di fusione, non deve essere eccessivo, per non sovrariscaldare la scheda e i relativi componenti. Al tempo stesso, però, deve essere sufficiente per portare a rifusione la pasta in ogni zona della scheda, indipendentemente dalla dimensione e dalla distribuzione dei componenti.

Problema, questo della diversa dimensione e distribuzione dei componenti, in gran parte superato in quei forni a convezione d'aria forzata dove diventano insi-

gnificanti dimensione, colore e finitura superficiale. Le termocoppie utilizzate per rilevare i profili termici generano una differenza di potenziale (misurata in mV) proporzionale alla temperatura a cui vengono sottoposte.

Al fine di comprendere l'impostazione corretta del profilo termico a cui sottoporre il lotto di schede da saldare, è importante sapere che cosa avviene al crescere della temperatura e in quali intervalli temporali devono avvenire queste variazioni.

Nei forni si usano tre metodi per appor- tare calore: irraggiamento IR (infrarosso), convezione forzata di aria calda e proces- so misto di irraggiamento e convezione.



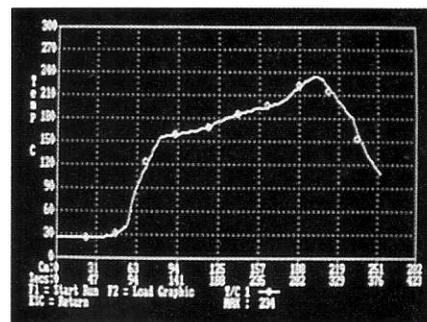
**Diagramma di stato della lega su Pb**



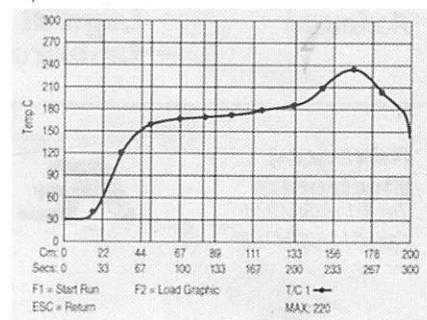
Tralasciando ogni considerazione che porta ad adottare una di queste tecniche, è opportuno sottolineare che l'irraggiamento come elemento riscaldante comporta l'utilizzo di lampade al quarzo o speciali pannelli radianti; la convezione di aria forzata (o azoto) si avvale di pannelli forati, pannelli con lame d'aria o speciali sistemi di ventilazione definiti "campane", mentre il processo misto comprende la convezione dal lato superiore (lato "top") e l'irraggiamento dal lato inferiore (lato "bottom"). Indipendentemente dal sistema di trasferimento del calore utilizzato, ogni forno è suddiviso in zone sia sul lato "top" che sul lato "bottom". La possibilità di programmare ogni zona per-

ché raggiunga la temperatura richiesta e di selezionare la velocità di trasporto delle schede in modo da determinare il tempo di percorrenza di ogni zona (cioè per quanto tempo una scheda rimane alla temperatura desiderata) permettono, in pratica, di tracciare il profilo termico.

Durante la prima fase di preriscaldamento, la scheda passa dalla temperatura ambiente, supposta di 25°C, a una attorno ai 120°C in un intervallo di tempo di circa 50-60 s. Durante questa fase, il gradiente termico è intorno ai 2°C/s, scheda e componenti vengono portati nei dintorni dei 100°C perché non subiscano shock termici, i flussanti contenuti nella pasta saldante raggiungono la superficie superiore e ini-



a)



b)

**Esempi di profili termici utilizzati:**  
 a) per PCB con pasta saldante tradizionale  
 b) per PCB con pasta saldante "no-clean"

	<p><b>ECCESSIVA FORMAZIONE DI MICROSFERE DI LEGA</b>                      Inadeguato essiccamento della crema.                      Preriscaldamento insufficiente: temp. bassa o velocità eccessiva.</p>
	<p><b>SCARSA RIFUSIONE E FORMAZIONE DI MICROSFERE</b>                      Eccessivo essiccamento della crema.                      Troppo preriscaldamento: temp. alta o velocità bassa.</p>
	<p><b>ECCESSIVA FORMAZIONE DI VUOTI</b>                      Temperatura di rifusione insufficiente:                      temp. bassa o velocità eccessiva</p>
	<p><b>GIUNZIONE MANCANTE O SCARSA</b>                      Quantità della pasta insufficiente.                      Preriscaldamento inadeguato.                      Superficie non bagnabile.</p>
	<p><b>DISTACCO DELLA METALLIZZAZIONE DEL COMPONENTE</b>                      Tempo di reflow troppo alto.                      Per effetto dell'alligazione la parte terminale del componente è stata asportata</p>
	<p><b>FORMAZIONE DI CRICCHE</b>                      Vibrazioni o movimento del componente durante la fase di raffreddamento (raffreddamento troppo brusco)</p>
	<p><b>EFFETTO DI CRICCHE</b>                      Dovuto al fatto che una piazzola, di dimensioni maggiori dell'altra, si è raffreddata più velocemente dell'altra.                      Raffreddamento repentino e non omogeneo.</p>

**Problemi imputabili al processo e possibili cause**

ziano lentamente a evaporare. Nei successivi 90 secondi, la temperatura sulla scheda viene innalzata a circa 170°C e gli attivatori presenti nella pasta svolgono la loro azione decappante.

Il picco di rifusione vede salire la temperatura sopra i 183°C, che è tipicamente la temperatura di rifusione della pasta, ma normalmente non si superano i 225°C. La durata del picco di rifusione è di circa 60 s. Se questo tempo fosse troppo corto, non si otterrebbe la formazione dello strato intermetallico e si avrebbe un giunto di saldatura meccanicamente debole.

Per un tempo di permanenza troppo lungo, lo strato intermetallico raggiungerebbe uno spessore tale da rendere molto fragile la giunzione. Essendo numerose le variabili coinvolte, non esiste una regola univoca nel delineare un profilo termico.

Si considera il tipo di forno, il suo numero di zone con relativa dislocazione, le tecniche utilizzate per il trasferimento di calore le schede con la loro dimensione, tipologia di componenti e posizionamento e le caratteristiche della pasta saldante utilizzata.