



## **CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI: PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI**

Rapporto Interno INAF/IASF-Bologna n. 622/2013

**S. Mariotti\*, F. Schiavone, L. Valenziano**

Revisione: **M. Poloni\***

INAF/IASF-Bologna, via Gobetti 101, Bologna

\*INAF/IRA, via Gobetti 101, Bologna

## Sommario

<b>1. Introduzione</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Documenti di riferimento</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Lista acronimi</b> .....	<b>3</b>
<b>4. Il contesto recente</b> .....	<b>4</b>
<b>5. Scelta colla</b> .....	<b>5</b>
<b>6. Conservazione, affidabilità, impegno</b> .....	<b>7</b>
<b>7. Incollaggio</b> .....	<b>7</b>
<b>8. Preparazione</b> .....	<b>8</b>
<b>9. Deposizione</b> .....	<b>9</b>
<b>10. Posizionamento</b> .....	<b>10</b>
<b>11. Polimerizzazione</b> .....	<b>11</b>
<b>12. Procedura controllo dell'avvenuto incollaggio</b> .....	<b>13</b>
<b>13. Stress termici</b> .....	<b>15</b>
<b>14. Criticità riscontrate</b> .....	<b>16</b>
Tempi di incollaggio / Temperature.....	16
Spalmatura .....	16
Scadenza colle.....	17
<b>15. Conclusioni</b> .....	<b>17</b>
<b>Appendice 1 Posizionamento componenti</b> .....	<b>18</b>
<b>Appendice 2 Diario delle prove di sopravvivenza degli incollaggi al raffreddamento criogenico dal 2002 al 2013</b> .....	<b>22</b>
Scopo: .....	22
Generalità:.....	22
Descrizione del lavoro svolto.....	23
Test criogenici 295K→14K→295K .....	29
Considerazioni conclusive sui test criogenici .....	30
Dimensione massima componenti incollati .....	31
Tempi e temperature di polimerizzazione:.....	31
<b>Appendice 3 Nota tecnica: Spessori Incollaggi e saldature</b> .....	<b>33</b>
Spessori dei Laminati.....	35
Considerazioni sull'incollaggio dei componenti.....	36
Sn/Pb .....	36
In Alloy .....	36
Colle.....	37

## 1. Introduzione

Il presente documento si inserisce nell'ambito delle attività svolte e finalizzate allo studio e alla realizzazione di un prototipo di amplificatore criogenico a basso rumore in banda W, basato su tecnologia MMIC mHEMT.

Il cuore del lavoro descritto nel presente report riguarda l'attività di 'packaging' degli LNA MMIC all'interno del modulo (*carrier*) appositamente studiato per funzionare a temperature criogeniche. Tale attività ha evidenziato potenziali criticità che si desidera, attraverso questa nota tecnica, approfondire.

## 2. Documenti di riferimento

- [D1] DIEMAT a NAMICS Company™ **ADHESIVE APPLICATION GUIDELINES** Revised 053012
- [D2] DIEMAT A NAMICS Company™ **CURING EQUIPMENT RECOMMENDATIONS** Revised 050808
- [D3] DIEMAT™ - **DM4130HT/F892® PRODUCT DATA SHEET**
- [D4] DIEMAT™ - **DM4131HT® PRODUCT DATA SHEET**
- [D5] DIEMAT™ - **DM6030® PRODUCT DATA SHEET**
- [D6] Ablestik™ - **Ablefilm® 5025E PRODUCT DATA SHEET**
- [D7] AI Technology™ - **EG8050-LV® Data sheet**
- [D8] Epotek™ - **H20E® Data sheet**
- [D9] Andrea, Cremonini; Sergio, Mariotti; Juri, Roda **An overview on packaging of microwave electronic devices operating in a cryogenic environment.** - *Cryogenics*, Volume 52, Issue 10, p. 445-451 (2012)
- [D10] E.D. Marquardt, J.P. Le, and Ray Radebaugh -NIST- **Cryogenic Material Properties Database**  
11<sup>th</sup> International Cryocooler Conference, June 20-22, 2000 Keystone, Co

## 3. Lista acronimi

CTE:	Coefficient of Thermal Expansion
FEM:	Front-End Module
InP:	Indium Phosphide
LNA:	Low Noise Amplifier
mHEMT:	Methamorphic High Electron Mobility Transistor
MMIC:	Microwave Monolithic Integrated Circuit
RF:	Radio Frequency
WP:	Work Package
BLT:	Bond Line Thickness, spessore dell'incollaggio
T <sub>G</sub> :	Temperatura di vetrificazione (T-glass, T <sub>GLASS</sub> )
curing	processo di essiccamento / polimerizzazione della colla.
T <sub>C</sub> :	Temperatura di <i>curing</i>
t <sub>C</sub> :	Tempo di <i>curing</i>
shelf time	Tempo massimo consentito fra preparazione colla e appoggio componente
staging time	Tempo massimo consentito fra appoggio componente ed inizio processo curing
life time	Tempo di vita della colla quando è immagazzinata
jig, carrier	supporto o base o contenitore metallico, planare sul quale incollare i componenti

#### 4. Il contesto recente

L'obiettivo principale del progetto ASI "Sviluppi tecnologici nel millimetrico per missioni di polarizzazione" [contratto ASI 1/038/09/0, Primo contraente: Thales Alenia Space™, subcontraente: INAF] è stato la realizzazione di un elemento di sistema radiometrico e consentirne la misura delle prestazioni a temperature criogeniche.

La complessità di questo lavoro risiede nello studio accurato dei materiali per realizzare il *carrier*, i quali devono presentare un Coefficiente di Espansione Termica compatibile con quello del chip contenente gli LNA. Inoltre, particolare cura è stata posta nella scelta degli adesivi per il montaggio dei componenti nel *carrier* e nelle procedure di *wire bonding*.

Le prestazioni del sistema RF, infatti, sono fortemente influenzate dall'accuratezza dell'assemblaggio degli LNA nel *carrier* (FEM).



Figura 1 Work Package di interesse.

È nell'ambito del pacchetto di lavoro "Studio della procedura di incollaggio" del progetto ASI precedentemente citato, che il presente documento approfondisce le fasi di montaggio e bonding. Lo scopo è quello di identificare le criticità metodologiche dei processi di lavorazione adottati al fine di minimizzarle o risolverle. Ciò è tanto più importante in quanto l'eventuale intervento di riparazione e/o aggiustaggio del dispositivo può presentare difficoltà o addirittura essere impossibile.

Si presenta, pertanto, la necessità di analizzare opportunamente i vari step che portano al montaggio del dispositivo finale. L'insieme di queste indagini, correlata alla stima di alcuni parametri fondamentali, che caratterizzano l'impianto, determina l'affidabilità del sistema RF e rende conto della "qualifica del dispositivo". Importante nella stesura della qualifica, è stabilire una procedura di misure e test volte alla riproduzione in laboratorio delle condizioni di lavoro più prossime a quelle che incontrerà il dispositivo durante il normale funzionamento. Tale procedura contiene, solitamente, test di natura termica, meccanica, elettrica, di qualità ecc.

È importante sottolineare che, oltre alla verifica di buon funzionamento e affidabilità, la realizzazione di questi test mira anche al miglioramento del progetto iniziale tramite un percorso di feedback finalizzato alla correzione ed ottimizzazione dei dettagli.

Tale pratica è consueta nella progettazione dei prototipi che lavorano in ambienti ostili, quali ad esempio, quello aeronautico ed ancor più quello spaziale.

## 5. Scelta colla

I semiconduttori e gli altri componenti elettronici che sono installati nel FEM, vengono incollati per mezzo di specifici adesivi. Diversi sono i fattori chiave che comportano la selezione e lavorazione delle resine adesive conduttrici.

I requisiti principali sono:

- Ottimale capacità adesiva
- Conducibilità elettrica e termica
- Facilità di deposizione
- Affidabilità dell'incollaggio
- Rischi trascurabili per la salute umana
- Il differenziale del coefficiente di espansione termica ( $\Delta CTE$ ) tra i due materiali che vengono legati insieme



Figura 2 Adesivo Diemat

Sono state individuate e testate diverse marche produttrici di materiali adesivi. Questi adesivi, caricati con argento, sono stati selezionati in funzione dei parametri precedentemente elencati oltre alla semplicità della reperibilità sul mercato e ai vincoli, meccanici, elettrici e di temperatura imposti dall'applicazione oggetto del presente lavoro. Nelle tabelle seguenti (1 e 2) sono riportate alcune caratteristiche chimiche e fisiche rilevanti:

Glue	Parts	Storing °C	Curing °C					Ramp °C/min	Tg °C
			10 min	30 min	60 min	90 min	120 min		
Epotek H20E	2	room temp	130	105	90	80			>80
Epotek H20F	2	room temp	150	110	100	90			>20
Diemat DM4130	1	+5		185	160	145	100	5...20	>20
Diemat DM4131	1	+5		185	160	145	100	5...20	>40
Diemat DM6030	1	+5		200	170	150	115	5...20	>80
AiT 8050 LV	2	room temp			150	140	125	100	>-20
Ablestik 5025	bi-ades.	-40		150	135	130	125	115	N/A

Tabella1: Caratteristiche rilevanti degli adesivi considerati. Marche, modelli, Temperatura di immagazzinamento, di Curing e di Vetrificazione.

CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI:  
PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI

Durante la fase di test sono stati consolidati i parametri ed i criteri di selezione:

- ☀️ marchi e prodotti diversi
- ☀️ adeguata reperibilità sul mercato
- ☀️ mono o bicomponente
- ☀️ capacità di assorbire il differenziale del coefficiente di dilatazione termica ( $\Delta CTE$ )
- ☀️ termo conduttivo
- ☀️ elettro conduttivo (eccellente)
- ☀️ Funzionamento a temperature criogeniche
- ☀️ Basso outgassing
- ☀️ Requisiti di rilavorazione eventuale (Reworkability)
- ☀️ Spalmabilità (Spreadability)
- ☀️ Fluidità e comportamento triotropico
- ☀️ Adesività, robustezza ed affidabilità a temperatura ambiente
- ☀️ Adesività, robustezza ed affidabilità a temperatura criogenica
- ☀️ Tempi di polimerizzazione contenuti
- ☀️ Temperature di polimerizzazione contenute
- ☀️ Tempi di conservazione sufficientemente lunghi
- ☀️ Temperatura di conservazione ragionevole (accettabile  $-25^{\circ}\text{C}$ )
- ☀️ Tossicità trascurabile per il lavoratore

Glue	Vol e Res Omh cm	TherCond W/mK	CTE	$\Delta CTE$	Note
<b>Epotek H20E</b>	400E-6	29	31E-6	NO	La più venduta. Eccellente per componenti piccoli. Attenzione! bagna molto e si generano "onde" di risalita.
<b>Epotek H20F</b>	100E-6	4,1	10E-6	SI	Adesività molto bassa. Nei metalli lisci poco più adesiva che un grasso.
<b>Diemat 4130</b>	32E-6	17	30E-6	SI	
<b>Diemat 4131</b>	38E-6	18		SI	Come 4130 ma è adatta per superfici di Al. Eccellente conducibilità elettrica, adesività sufficiente per componenti lato $\geq 3\text{mm}$ , scarsa per componenti lato $< 2\text{mm}$ .
<b>Diemat 6030</b>	8E-6	60		NO	Vetrosa. Solo x componenti piccoli, richiede temperature elevate. Di fatto l'utilizzo è scarso.
<b>AiT 8050 LV</b>	400E-6	7,9	120E-6	SI	Buona adesività x componenti lato $\geq 1\text{mm}$ Gommosa. Rework possibile.
<b>Ablestik 5025</b>	500E-6	6,5		SI	Adesività: molto alta. Richiede pressione durante curing. Rework possibile. Spessore "alto" (0.15 mm)

**Tabella 2:** Caratteristiche rilevanti degli adesivi considerati in funzione dell'applicazione sul substrato.

## 6. Conservazione, affidabilità, impegno



Figura 3 Ambiente di lavoro

Fondamentali per quanto riguarda il mantenimento delle prestazioni degli adesivi considerati per questo progetto, sono la conservazione (*storage*) e i tempi di scadenza delle sostanze. Per quasi tutti i prodotti l'integrità è garantita sei mesi; per alcuni è consentita la conservazione a temperatura ambiente, per altri è necessario il raffreddamento ad almeno  $+5^{\circ}\text{C}$ . Dalla lettura dei datasheet o note di incollaggio rilasciate dai costruttori, si evince che quasi tutti i prodotti sembrano aumentare la validità se conservati a  $-5^{\circ}\text{C}$  o  $-40^{\circ}\text{C}$ . Per alcuni prodotti il *datasheet* parla di raddoppio

della vita, per altri di "aumento" della vita, quando vengono conservati a basse temperature. Per altri prodotti, il *datasheet* suggerisce che una lunga attività di mescolazione può rigenerare il prodotto [D3] [D4] [D5] [D6] [D7] [D8]. Inoltre per aumentare la vita del prodotto, viene suggerito di minimizzare il numero di aperture dei contenitori e il tempo di apertura del vasetto; questo per ridurre al minimo l'evaporazione dei solventi (vedi paragrafo "Posizionamento").

Nel nostro caso le paste adesive vengono conservate sigillate in freezer a  $-25^{\circ}\text{C}$  e all'uso vengono gradualmente riscaldate con flussi di aria tiepida che riportano gli ingredienti ad una consistenza mescolabile.

La temperatura ambiente e l'umidità relativa influenzano la velocità di evaporazione del solvente. Valori di temperature alte di bassa umidità promuovono [D1] l'evaporazione, che riduce l'*open time* dell'adesivo.

Le lavorazioni di preparazione e deposizione delle paste adesive vengono svolte in camera pulita (Classe 10000). Benché tale grado di pulizia non sia necessario ai fini dell'incollaggio, lo è al fine di garantire un assemblaggio "pulito" del FEM.

## 7. Incollaggio

La procedura di deposizione e spalmatura della colla ed il posizionamento di componenti (montaggio) deve essere particolarmente curata, in quanto lo spessore di adesivo, e l'eventuale presenza di bolle d'aria sono elementi determinanti per la robustezza e l'affidabilità del montaggio rispetto a ripetuti cicli termici a temperature criogeniche [D1] [D2].

Il processo deve tenere conto di quattro fasi principali oltre a diversi fattori che concorrono alla buona riuscita del legame collante/substrato:

Fasi	Metodica individuata
Preparazione	pulizia, miscelare, a lungo (almeno 1 min) fino ad ottenere un impasto omogeneo.
Deposizione	spalmare la colla sul <i>carrier</i> . Utilizzare utensile adatto (punta affilata e/o microspatola). Spessore più controllato possibile. Rispettare i tempi di shelf life
Posizionamento	micromanipolatore / illuminazione adeguata
Polimerizzazione	tempi , temperatura, rampe °C/min
Test di verifica?	controllo visivo. Ove possibile test dinamometrico

**Tabella 3.** Fasi incollaggio.

### 8. Preparazione

Se confezionati in vasi, gli adesivi devono essere amalgamati accuratamente fino al raggiungimento della completa omogeneità dei componenti. La miscelazione manuale deve essere delicata e uniforme per evitare di intrappolare aria nel collante, ma nello stesso tempo, abbastanza approfondita e duratura per miscelare sia tutti i sedimenti solidi accumulati durante lo *storage* sul fondo e sulle pareti laterali sia per amalgamare il solvente. Ciò è vero sia per adesivi monocomponente e bi-componente.

La superficie di appoggio (*carrier*) deve essere adeguatamente preparata per l'incollaggio. Tale preparazione avviene in due fasi distinte: la pallinatura in fase di produzione meccanica e il lavaggio che avviene immediatamente prima dell'incollaggio.

In fase di disegno e produzione meccanica è conveniente prevedere, se possibile:

- piccoli canali di sbordo dell'eccesso di colla posizionati sul fondo del *carrier*
- schiere di piccoli fori che agiscano come pozzi di sbordo, posizionati sul fondo del *carrier*
- rendere rugose le superfici tramite una leggera sabbiatura o pallinatura.
- L'eventuale finitura galvanica, ad es. doratura, (successiva alla pallinatura).

La fase di lavaggio, da effettuarsi immediatamente prima dell'incollaggio, consiste in:

- Sgrassatura energica (solo se necessaria ed a giudizio dell'operatore) tramite solvente aromatico moderatamente aggressivo come ad esempio diluente.
- Sgrassatura leggera con acetone. Processo ad immersione. L'acetone è un solvente aromatico che ha il pregio di evaporare completamente senza lasciare film residui.
- Asciugatura. Si può utilizzare aria secca e non unta. Disossidazione con "Smac rame<sup>®</sup>". circa 1 cc sfregato con spazzolino su di un *carrier* con superficie di circa 20 cm<sup>2</sup> rendono l'aspetto brillante e pulito.
- Risciacquo energico con acqua di rubinetto
- Risciacquo finale con acqua deionizzata. Processo ad immersione.
- Asciugatura. Si può utilizzare aria secca e non unta.

In tutte le fasi di lavaggio, l'efficacia pulente aumenta se avviene sfregamento meccanico con spazzolino o pennello. Solamente se in presenza di zone inaccessibili, si può ovviare con il meno efficace sfregamento generato dal lavaggio ad ultrasuoni.

L'aria distribuita nei laboratori dell'Area di Ricerca di Bologna è sufficientemente pulita (doppio filtro di purificazione dall'olio e secca a +5°C @ 8bar).

## 9. Deposizione

L'erogazione e la deposizione dell'adesivo deve soddisfare il requisito indispensabile di creare il legame. Il modello di erogazione individuato deve essere compatibile con la quantità di adesivo e la dimensione del componente da incollare. Nel nostro caso si è scelto, (analisi costi-benefici) di operare manualmente, ma in ambienti industriali viene applicata l'erogazione robotizzata. Un'ulteriore parametro necessario è garantire lo spessore minimo dell'incollaggio (*BLT/bond line thickness*) che permette alla resina di bagnare sufficientemente le superfici da incollare, poiché se gli spessori di incollaggio fossero troppo sottili, la quantità di resina non sarebbe sufficiente a formare un legame. Inoltre, appare ovvio che spessori "grandi" (*thick*) possano assorbire più facilmente di spessori "piccoli" (*thin*) il differenziale di dilatazione termica. Il valore di spessore minimo della linea di incollaggio tipica viene raccomandato dai produttori (applicato "wet", prima della polimerizzazione) è nell'intervallo di 1-2 mils (25-50 micron). Il BLT catalizzato deve essere di almeno 0,8mil (20 micron). [D2]

Tuttavia l'esperienza pratica ha mostrato che il BLT dipende dalla consistenza della colla.

Ad es. Epotek™ H20E, un'amalgama particolarmente fluida, consente BLT ridotti, mentre AiT™ 8050 LV che si presenta al microscopio come una crema "grumosa", necessariamente richiede che il BLT sia di dimensioni maggiori della dimensione dei grumi.

Nella pratica, si è scelto un BLT tipico compreso fra 20 e 70 micron. Tale spessore viene determinato, durante la deposizione, con l'esperienza e l'abilità manuale degli operatori.

La misura accurata dello spessore è una operazione metrologica eseguita una - tantum; sotto lo stereo-microscopio a scala graduata, vengono confrontati diversi spessori di colle con alcuni spessori di componenti elettronici il cui spessore è noto con grande accuratezza e tale che fungano da standard metrologico di riferimento. Tale operazione, oltre a fornire la conoscenza accurata dello spessore, genera esperienza visuale negli operatori.

Durante la deposizione del collante è consigliato, che il BLT minimo sia raggiunto in tutti i punti.

Si è dimostrato efficace al fine di aumentare l'abilità di questa operazione, fare ripetuti esercizi ed esperienze di abilità manuale, depositando piccole gocce di varie dimensioni e provando la deposizione, e la spalmatura sul substrato. Durante questi esercizi di deposito del materiale adesivo si è rivelato un vantaggio la proprietà tissotropiche (*trixotropic*) della pasta. Vedi Nota.

*Nota: La tissotropicità è la caratteristica di un fluido di cambiare la consistenza da pastoso a liquido e viceversa a seconda del modo in cui viene agitato o spalmato. L'operatore saprà trarre vantaggio nell'operazione manuale, avvalendosi o meno di tale proprietà. Esempi noti di sostanze tissotropiche, nel campo della cucina, sono la maionese ed il purè di patate, nel campo della ferramenta il sigillante al silicone. Quest'ultimo quando esce dal tubetto si presenta di consistenza pastosa, poi l'arte e la bravura della persona che lo stende lo rende "liquido" per farlo aderire bene alle superfici e donare un gradevole risultato estetico, per poi acquistare nuovamente la consistenza pastosa necessaria ad un adesivo strutturale.*

### 10. Posizionamento

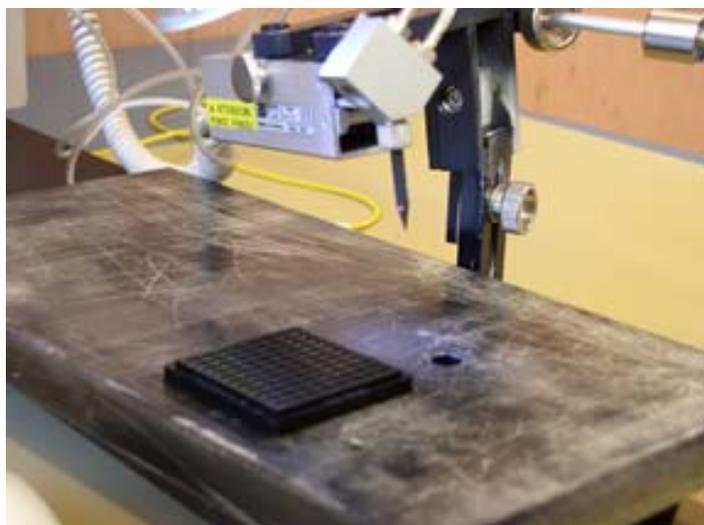


Figura 4 Pantografo Pick&Place.

Date le dimensioni dei componenti si procede al posizionamento degli stessi in ambiente controllato ed utilizzando un manipolatore a pantografo demoltiplicato sul quale è installata una piccolissima pipette a vuoto comandabile dall'operatore. Tale apparato, prodotto dalla ditta ATV è il mod. BE 101. Per semplicità viene denominato "Pick&Place" (Fig.4). Il sistema di demoltiplica manuale dei movimenti monta pipette di diversi diametri, 0.1mm, 0.2mm e 0.4mm a seconda del pezzo da montare. Le punte permettono di aspirare il componente elettronico e posizionarlo con precisione nella sede meccanica.

Per eseguire tali operazioni è necessario

un ingrandimento ottico.

Lo stereo-microscopio mod. Wild™ MZA (x6...x31), è dotato di indispensabili accessori fra cui l'obiettivo addizionale 0.5 x (allunga la focale consentendo comode operazioni manuali), gli illuminatori radiali e coassiali, il reticolo ottico calibrato che consente le misure dimensionali ed il braccio di supporto orientabile.

Benché l'ottica scelta sia quella che di fatto consente la più grande profondità di campo, le operazioni di assemblaggio dei componenti elettronici all'interno del FEM, (*pick&place*) richiedono che la vaschetta porta-componenti (*tray*) in uso, ed il piano di incollaggio del FEM siano entrambi a fuoco cioè siano sulla stessa quota. La quota della vaschetta porta-componenti, solitamente "troppo" bassa, è alzabile a piacere con l'uso di spessori standard impilabili ed incastrabili. Tali spessori sono forniti dalla stessa ditta che produce le vaschette porta-componenti (Entegris-Fluoroware™).

I moduli FEM, realizzati per il progetto, sono di ottone in finitura galvanica Au e la zona componenti è sabbiata per facilitare la presa dell'incollaggio. Sono state previste, in fase di disegno meccanico del FEM, delle sedi coniche che servono da appoggio ai condensatori più grandi i quali essendo dotati di facce sferiche piuttosto che piane, per esigenze di staticità durante l'assemblaggio, necessitano di appoggiare su fori piuttosto che piani. Vedi **Appendice 3**.

Tali sedi incassate vengono riempite di colla generosamente prestando attenzione a non eccedere al fine di non causare l'onda di risalita.

Preliminare alla fase di incollaggio dei *devices* elettrici secondo lo schema di Fig. 7 è il posizionamento delle piazzole di saldatura collocate agli



Figura 6 Piazzole di saldatura SnPb / Bondwire

estremi del FEM tramite il bi-adesivo Ablestik™ 5025® (Fig. 6). Successivamente si procede al posizionamento dei componenti elettrici che vengono prelevati dai contenitori (*tray*) delle case produttrici e collocati sul FEM nelle piazzole di pasta adesiva.

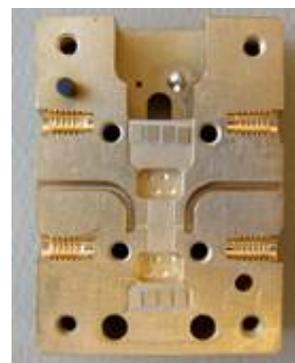


Figura 5 Vista senza componenti

Durante questa fase è molto importante tenere conto dell'*Open time* e dello *Staging time* e della *Shelf life* della colla [D1]. Il primo rende conto del tempo dopo l'erogazione del collante e prima di collocare il *devices* sull'adesivo. Tale tempo è limitato dall'evaporazione del solvente contenuto all'interno del collante. Se l'adesivo si indurisce prima di aver bagnato completamente lo strato e il

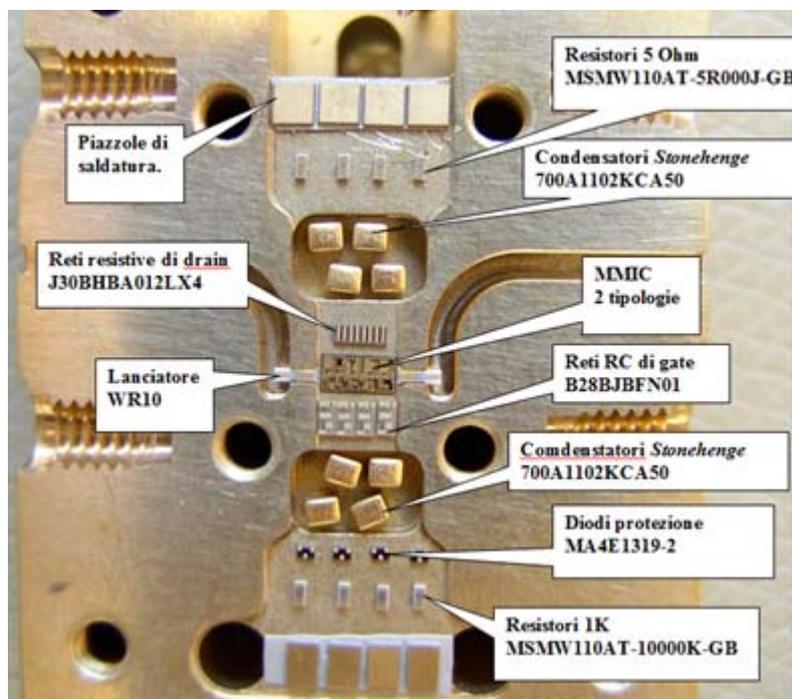


Figura 7 Individuazione sul FEM delle piazzole dei componenti

substrato, questo può portare a inibire l'incollaggio stesso, con conseguente scarsa aderenza e prestazioni termiche. Sono quindi sempre consigliati open time limitati all'erogazione.

Il Tempo di sosta (*Staging time*) è il tempo tra la deposizione della pasta sulla matrice e l'inizio del processo di essiccazione. Se il tempo di sosta è troppo lungo, alcuni ingredienti possono evaporare e migrare dalla linea di incollaggio, e l'adesivo si può seccare e le prestazioni termiche possono diminuire. Minore è la quantità di adesivo erogato, maggiore è la velocità di essiccazione. Sono stati riscontrati tempi massimi di *Shelf life* di due ore ma sono raccomandati tempi

di esecuzione inferiori a questo limite.

Anche in questa fase sono consigliati esercizi di manualità col sistema Pick&Place prima di procedere al posizionamento.

In **Appendice 1** sono riportate le istruzioni di posizionamento di tutti i componenti sul FEM.

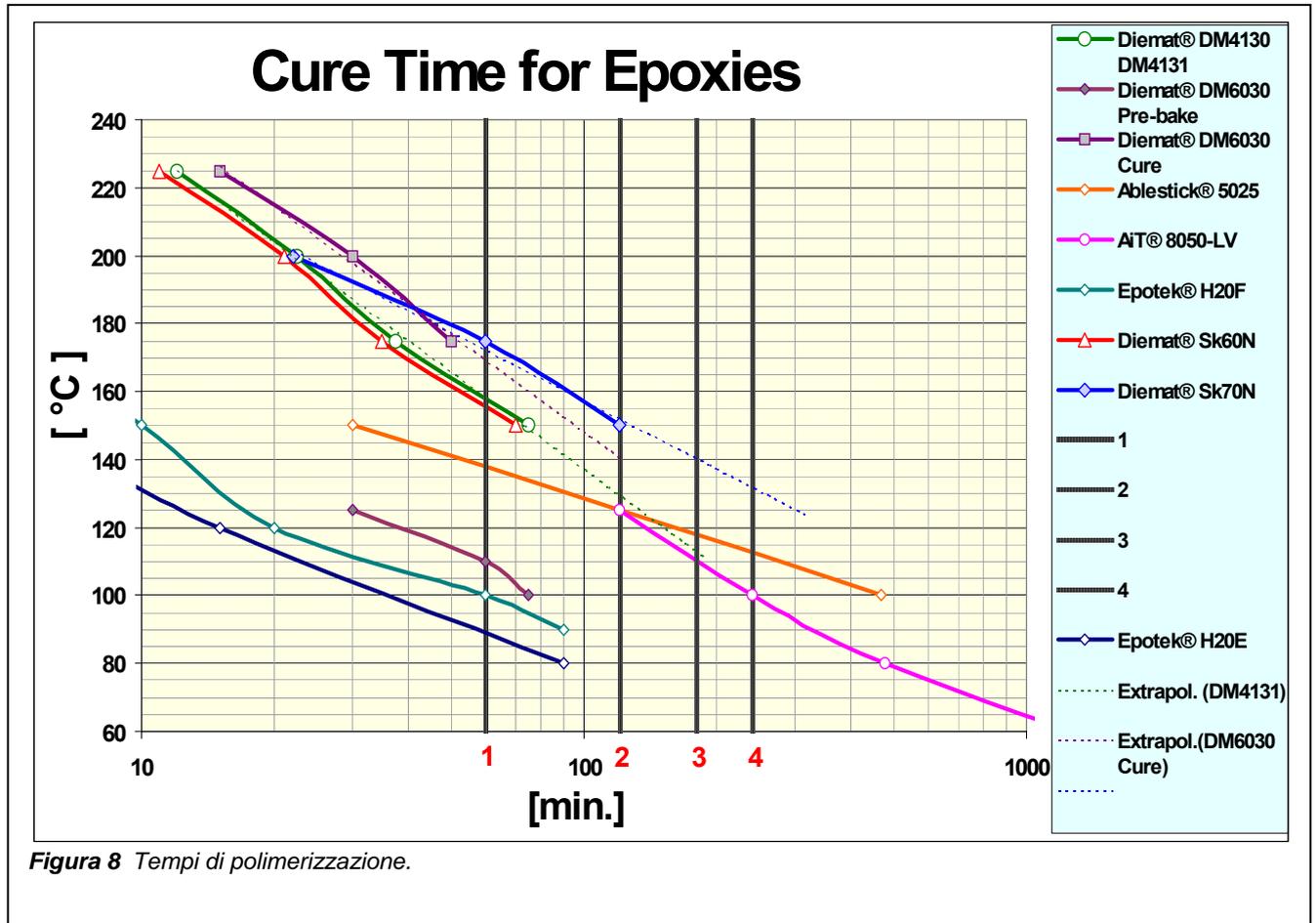
## 11. Polimerizzazione

Tutti gli adesivi utilizzati prevedono di venir solidificati tramite un processo di "*curing*" che avviene per riscaldamento per un tempo definito. Per alcuni tipi di adesivi il *curing* consiste nella polimerizzazione, per altri, la letteratura mantiene riservato la natura del processo.

In linea di massima si può affermare che i solventi contenuti nelle paste evaporano e danno luogo al *bonding* (inteso come "adesione") entro un profilo di cottura rapida. A questo scopo è sufficiente posizionare i materiali incollati in un forno preriscaldato a circolazione forzata e impostare la temperatura desiderata controllando la velocità di rampa tipica del prodotto.

Ogni adesivo ha una rampa specifica di *curing* in temperatura, (vedi Tab. 1).

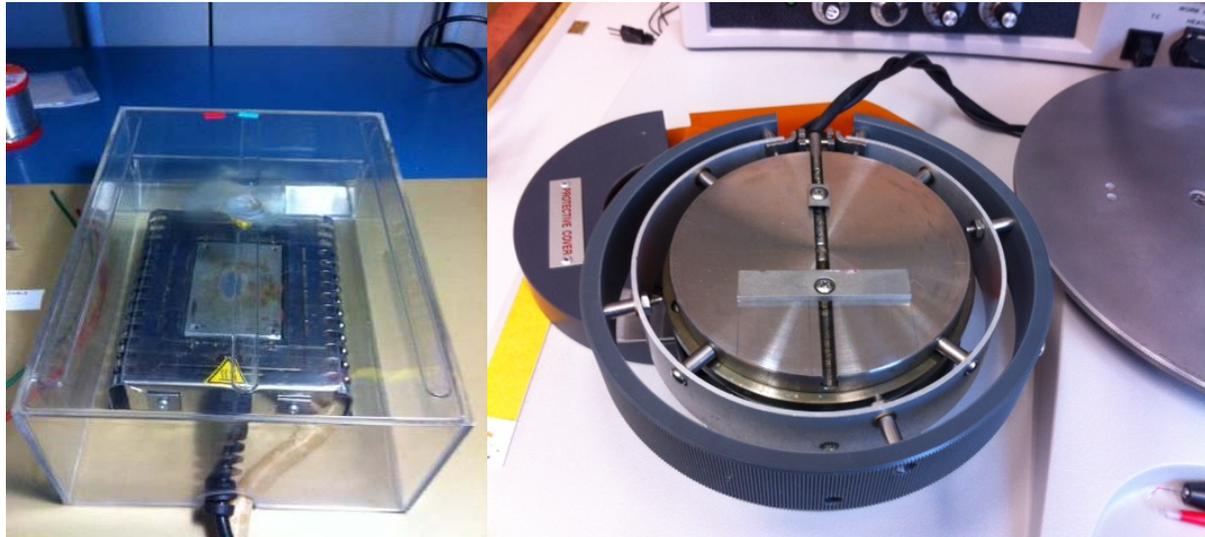
Uno studio specifico condotto sui tempi di cura dei collanti investigati ha portato alla definizione della Fig. 8 a cui ci si è riferiti durante questo lavoro.



Secondo DIEMAT [D3] la convezione forzata dovrebbe garantire:

- distribuzione uniforme della temperatura all'interno del forno;
- ventilazione continua per consentire la rimozione di eventuali sostanze volatili (principalmente solventi) che vengono rilasciati durante il ciclo di polimerizzazione;
- riscaldamento progressivo in funzione del raggiungimento della temperatura di polimerizzazione di picco impostata.

L'esperienza acquisita durante questa indagine, compatibilmente alle linee guida suggerite dal produttore delle paste adottate, non hanno evidenziato differenze sostanziali tra la polimerizzazione in forno flussato ad azoto e in aria. A questo scopo sono stati identificati i sistemi di Fig. 9, entrambi i *jig* permettono di impostare rampe di temperature controllate.



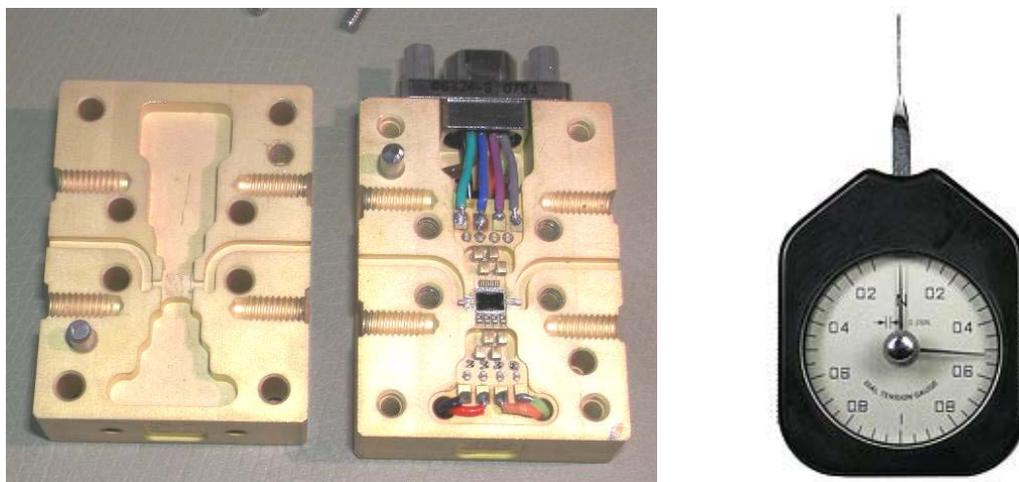
**Figura 9** Sistemi adottati di essiccazione e polimerizzazione dell'adesivo.  
A sinistra fornello flussato in  $N_2$ . A destra piastra termica a temperatura controllata.

### 12. Procedura controllo dell'avvenuto incollaggio

In seguito alla fase di polimerizzazione, i campioni incollati vengono ispezionati visivamente al fine di evidenziare anomalie macroscopiche avvenute durante l'essiccazione. Ove possibile effettuare un test potenzialmente distruttivo viene applicata su alcuni componenti elettronici incollati una sollecitazione meccanica applicata radialmente con l'asta di in dinamometro.

Vengono considerate accettabili forze applicate, non distruttive, pari ad almeno 2-3 volte quello che sarebbe il carico di rottura del filo di *bonding* che andrà successivamente "bondato". Pertanto se il valore *bond wire pull strength* è pari a 4 gr. , accettiamo che con 12 gr applicati i componenti non si stacchino ne si sgretoli l'incollaggio.

Tale indagine, seppur grossolana, rende conto della robustezza e conseguentemente della confidenza del montaggio eseguito.



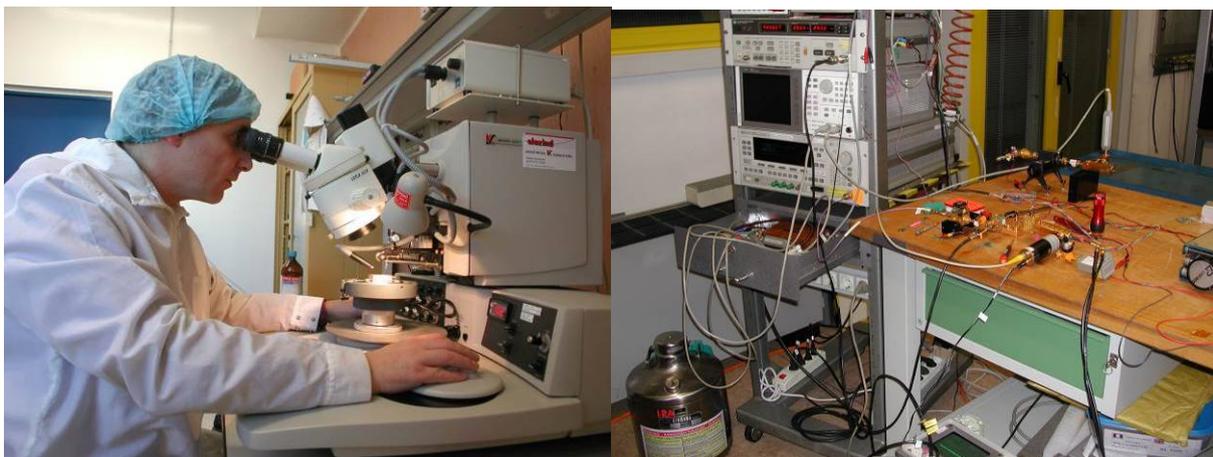
**Figura 10** Componenti incollati nel carrier e dinamometro

## CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI: PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI

Successivamente si procede alla realizzazione del circuito elettrico finale e alle connessioni tra i componenti. Questa pratica, particolarmente delicata, viene eseguita al microscopio con l'aiuto della macchina *wedge-bonding* termosonico. Un filo d'oro del diametro di  $25\ \mu\text{m}$  è stato usato per collegare i circuiti. Nella realizzazione del cablaggio i percorsi di filo più critici sono i collegamenti RF tra gli amplificatori MMIC e gli adattatori di guida d'onda. La più corta lunghezza raggiunta del collegamento in (*bond-wire*) tra i due, è stata di  $150\ \mu\text{m}$ ; ma si è consapevoli che collegamenti ancor più corti sarebbero più performanti.

La fase di *wire bonding* viene svolta ad elevate temperature (circa  $+80\dots+110^\circ\text{C}$ ), questo sottopone l'incollaggio ad un periodo di ammorbidimento del cuscinetto di pasta adesiva che sembra non interferire ne con la qualità dell'incollaggio ne con il *wire bonding* stesso.

Al termine del cablaggio i moduli FEM verranno provati elettricamente, a temperatura ambiente, con test DC e RF.



**Figura 11** Bondatura e di test elettrici.

### 13. Stress termici

I FEM che superano positivamente i test elettrici vengono sottoposti ad alcuni cicli a temperatura criogenica. Un ciclo “all’Azoto liquido”, sufficientemente veloce ed economico, viene eseguito nello stesso laboratorio di assemblaggio elettronico. Tale ciclo fornisce immediatamente risposte preliminari relative ad eventuali problemi meccanici, di incollaggio, di wire-bonding, e funzionali. In **Appendice 2** è riportato il diario di esperienze pluriennali di test all’Azoto liquido.

Il ciclo che utilizza un criogeneratore GM, (circa 15K...25K), richiede l’utilizzo della *cryo facility*, disponibile sia presso INAF/IASF BO sia presso INAF/IRA. Richiede un tempo di set-up del FEM all’interno della camera a vuoto ed un tempo totale di raffreddamento e riscaldamento tipicamente di 8 h.

È stato notato in un numero limitato di campioni, che il raffreddamento a <25K per un tempo prolungato (giorni-settimane) piuttosto che il ciclo termico vero e proprio, ha provocato distaccamenti di alcuni incollaggi; ma uno studio approfondito sulle cause e soluzioni di questo fenomeno non è stato ancora condotto.

Infine i moduli FEM vengono nuovamente ispezionati visivamente al fine di evidenziare anomalie macroscopiche avvenute durante gli stress termici e sottoposti a piccole sollecitazioni meccaniche che verificano l’affidabilità dell’incollaggio.



**Figura12** Bagno in Azoto



*Cryo facility*

#### 14. Criticità riscontrate

Le criticità riscontrate e degne di nota sono state le seguenti:

- Tempi di incollaggio eccessivamente lunghi e temperature elevate.
- Cattiva spalmatura della colla.
- Colle scadute.

#### Tempi di incollaggio / Temperature

Con riferimento alla figura 8, si nota, in linea di massima, che i tempi di polimerizzazione sono abbastanza “lunghi”, dell’ordine di 1...3 h; la procedura di incollaggio occupa un tempo importante della giornata lavorativa pertanto necessita di venir eseguita quando possibile in modo da non rallentare significativamente altre attività. A tal scopo si utilizza un timer “count-down” che attivato ad es. la sera prima di terminare la giornata lavorativa, polimerizza l’incollaggio e l’indomani mattina il pezzo sarà pronto per le fasi successive.

Dal punto di vista dei componenti elettronici, non è consigliabile sottoporli a temperature elevate per lunghi periodi di tempo nemmeno durante la fase di incollaggio.

Si è pensato pertanto che fosse lecito estrapolare leggermente la funzione tempo vs Temperatura per poter utilizzare temperature minori, ovviamente a discapito di tempi più lunghi secondo l’analisi descritta in **Appendice 2**. Naturalmente per le nuove temperature, più basse, si sono scelti valori che superassero comunque il valore di vetrificazione ( $T_G$ ).

#### Spalmatura

La spalmatura, non sempre facile, dipende dal tipo di colla.

Tutte le colle e/o i singoli componenti delle bi-componente, necessitano di venir agitati ed amalgamati ed omogeneizzati molto bene per almeno 1...2 minuti.

Epotek™ H20E è una crema molto fluida, bagna particolarmente bene. A volte, la fluidità tende a generare “un’onda” di risalita in verticale. Il componente deve venir appoggiato, senza premere e/o esercitando una leggerissima pressione verso il basso solo se si sospetta una scarsa bagnatura. Se si preme troppo, lo spessore di colla diminuisce molto mettendo a rischio l’adesività e si generano le pericolose “onde” di risalita in verticale ai bordi del componente.

Diemat 4130 dal punto di vista della fluidità è classificabile come “intermedia” fra una pasta liquida ed una crema. Data la caratteristica tissotropica, è l’operazione di agitazione, da esercitare pure durante la spalmatura che trasforma la consistenza pastosa nella più liquida consistenza cremosa che serve a garantire una buona bagnabilità.

La colla Diemat 4130 tuttavia, presenta una minore bagnabilità di Epotek™ H20E, pertanto è necessario maggiore attenzione durante la spalmatura.

AiT™ 8050-LV dal punto di vista della fluidità è maggiormente pastosa di Diemat™ 4130. Anche dopo una lunga (e necessaria) omogeneizzazione rimangono alcuni “micro-grumi” che riducono la bagnabilità.

Sarà la manualità dell'operatore/operatrice che agitando e roteando l'utensile di spalmatura riuscirà ad effettuare una sufficiente bagnatura.

Il componente che andrà appoggiato necessita di venir premuto leggermente (e se possibile leggermente "sfregato" in senso circolare) per garantire una buona bagnatura.

## **Scadenza colle**

Molte colle presentano vite dell'ordine di 6 mesi o un anno. Alcune richiedono addirittura il raffreddamento, altre riportano nel *datasheet* che se conservate al freddo la vita "si allunga" meglio senza specificare. Per altri fornitori, la colla è utilizzabile se, tramite "rimescolatura", si ottiene un amalgama omogenea.

Complica la situazione il fatto che i tempi tecnici di emissione di ordine d'acquisto e di fornitura (parecchi mesi) sono tali per cui appena avviene una fornitura bisognerebbe ordinare la successiva. E' praticamente impossibile operare con una serie di colle non scadute.

La scelta operata è di mantenere le colle immagazzinate a  $-25^{\circ}\text{C}$ , una temperatura sensibilmente inferiore a quella suggerita in modo da allungare la vita delle colle.

Di fatto, l'aspetto, l'adesività delle colle non ha mostrato difetti imputabili all'utilizzo oltre la data di scadenza.

Il confronto fra incollaggi con colle in corso di validità e colle scadute (ad es da due anni) ben conservate al freddo e sigillate, non ha mostrato nessuna differenza apprezzabile in nessuna fase della lavorazione.

## **15. Conclusioni**

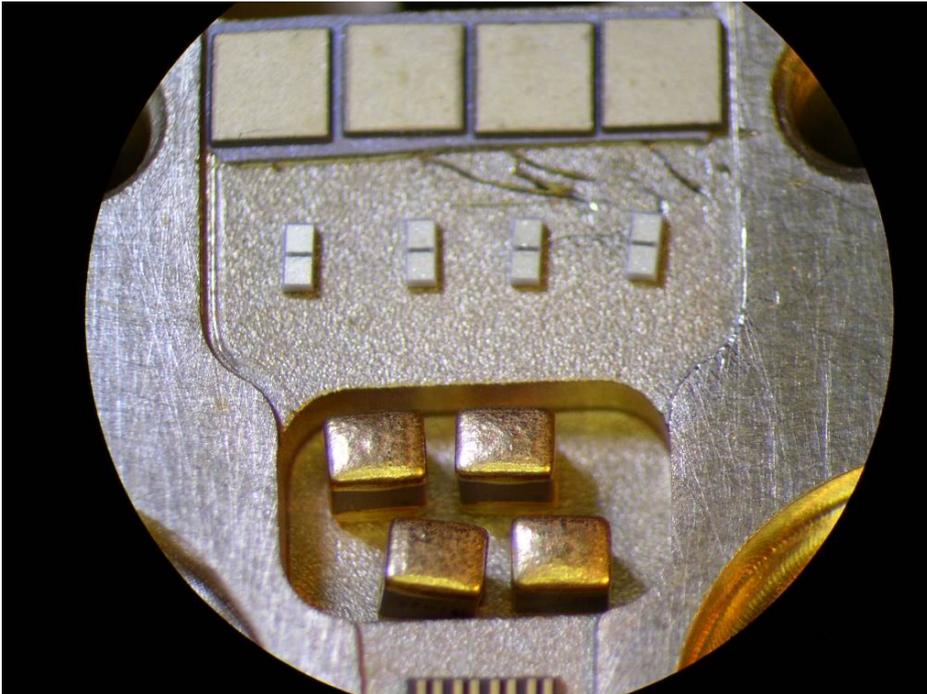
La realizzazione di FEM nell'ambito del progetto ASI "*Sviluppi tecnologici nel millimetrico per missioni di polarizzazione*" ha messo in evidenza che l'assemblaggio dei circuiti elettronici ibridi trova nell'incollaggio dei componenti elettronici un elemento critico.

Nel presente report sono elencate le criticità incontrate durante il lavoro e le soluzioni adottate.

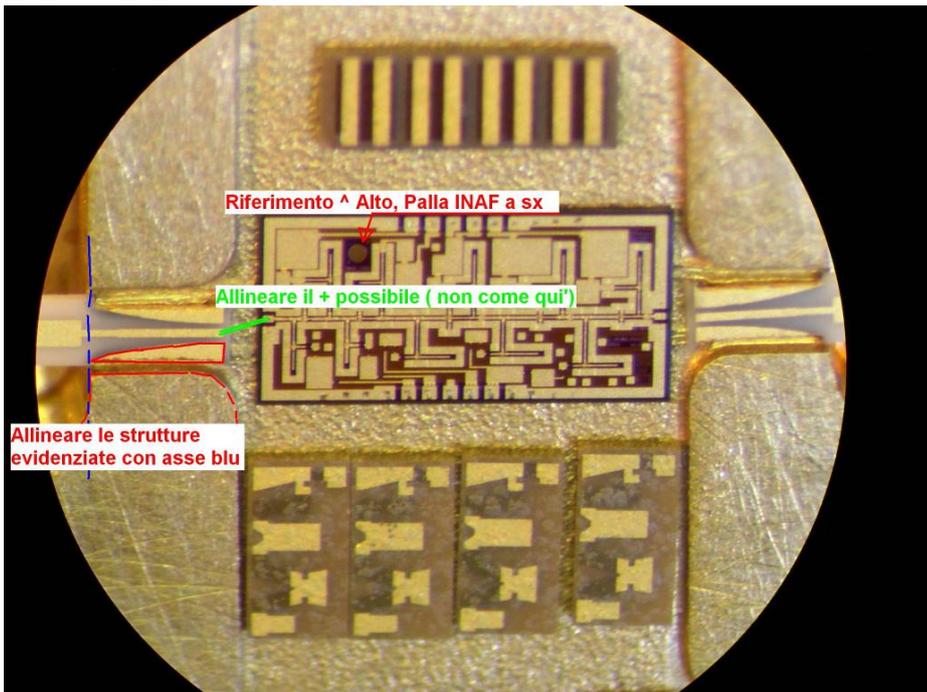
**Appendice 1 Posizionamento componenti**

Di seguito sono illustrati le istruzioni relative ai particolari del montaggio.

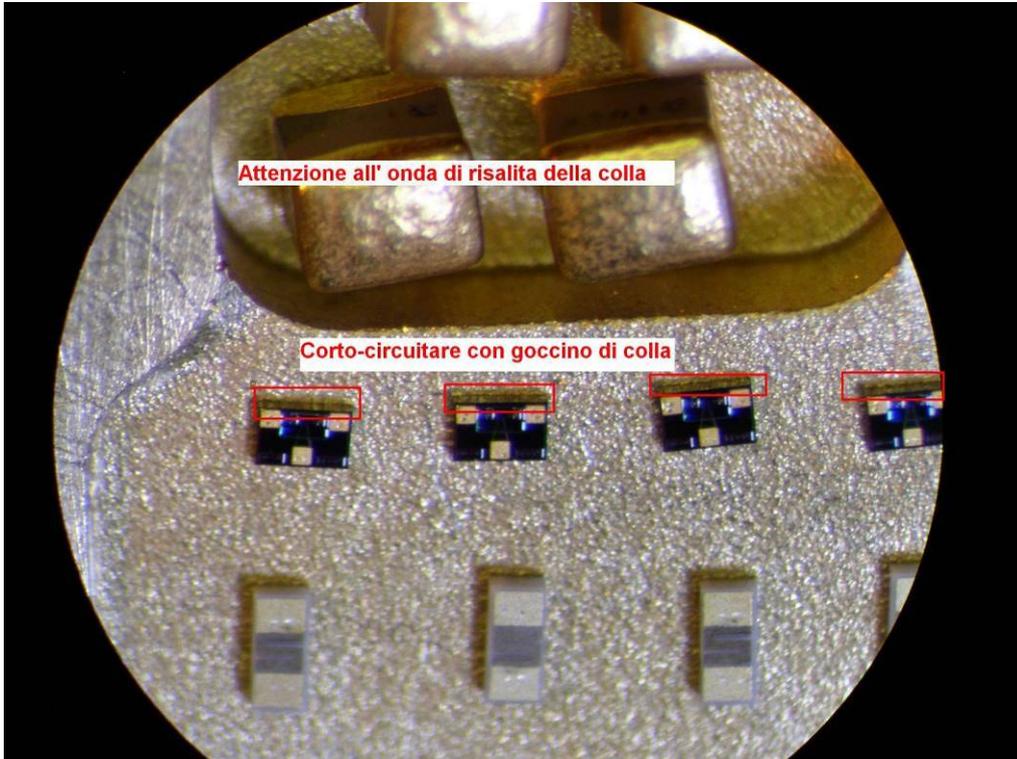
**Zona “DRAIN”**



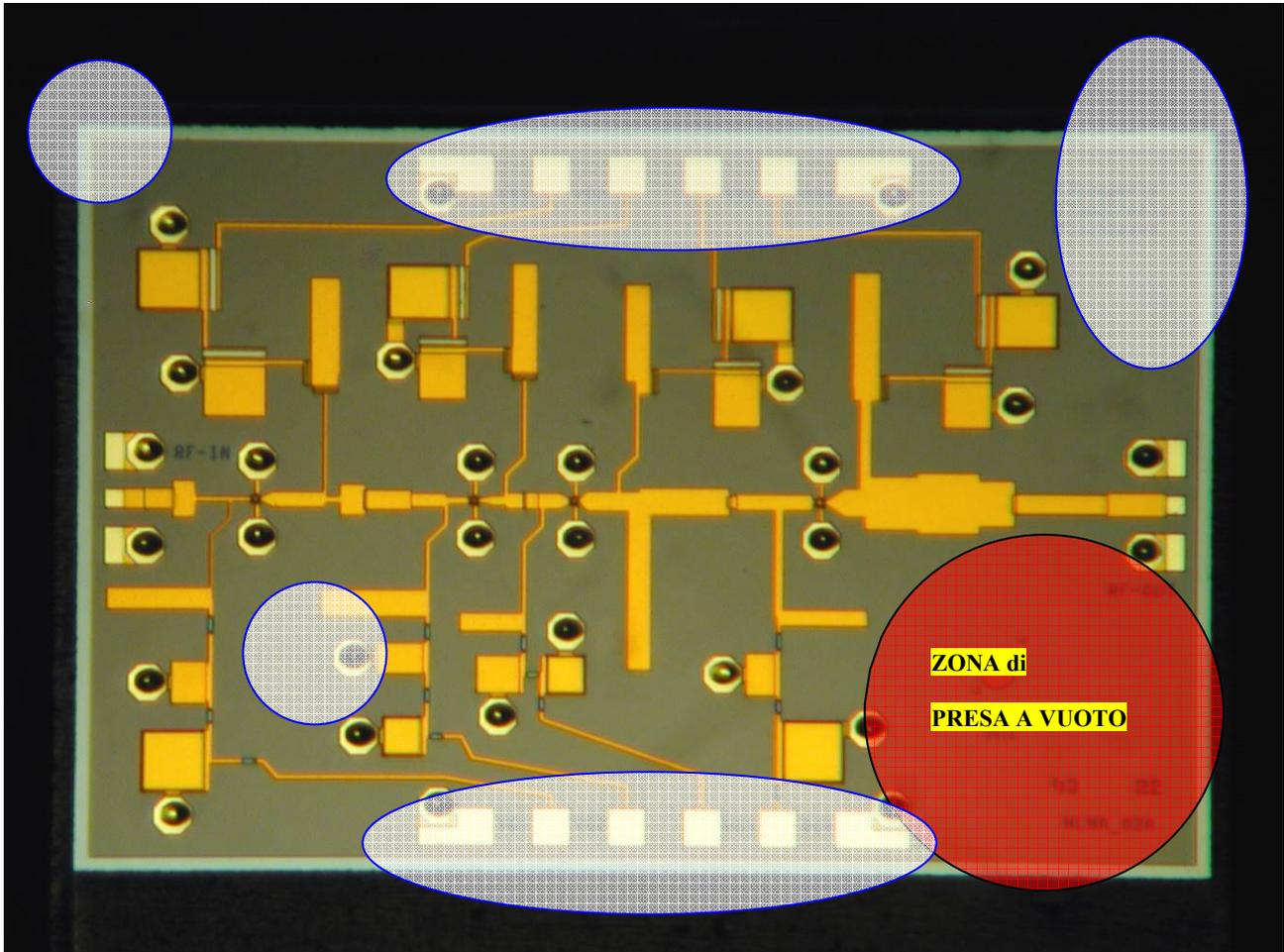
**Zona “MMIC”**



Zona "GATE"



### Montaggio MMIC OMMIC

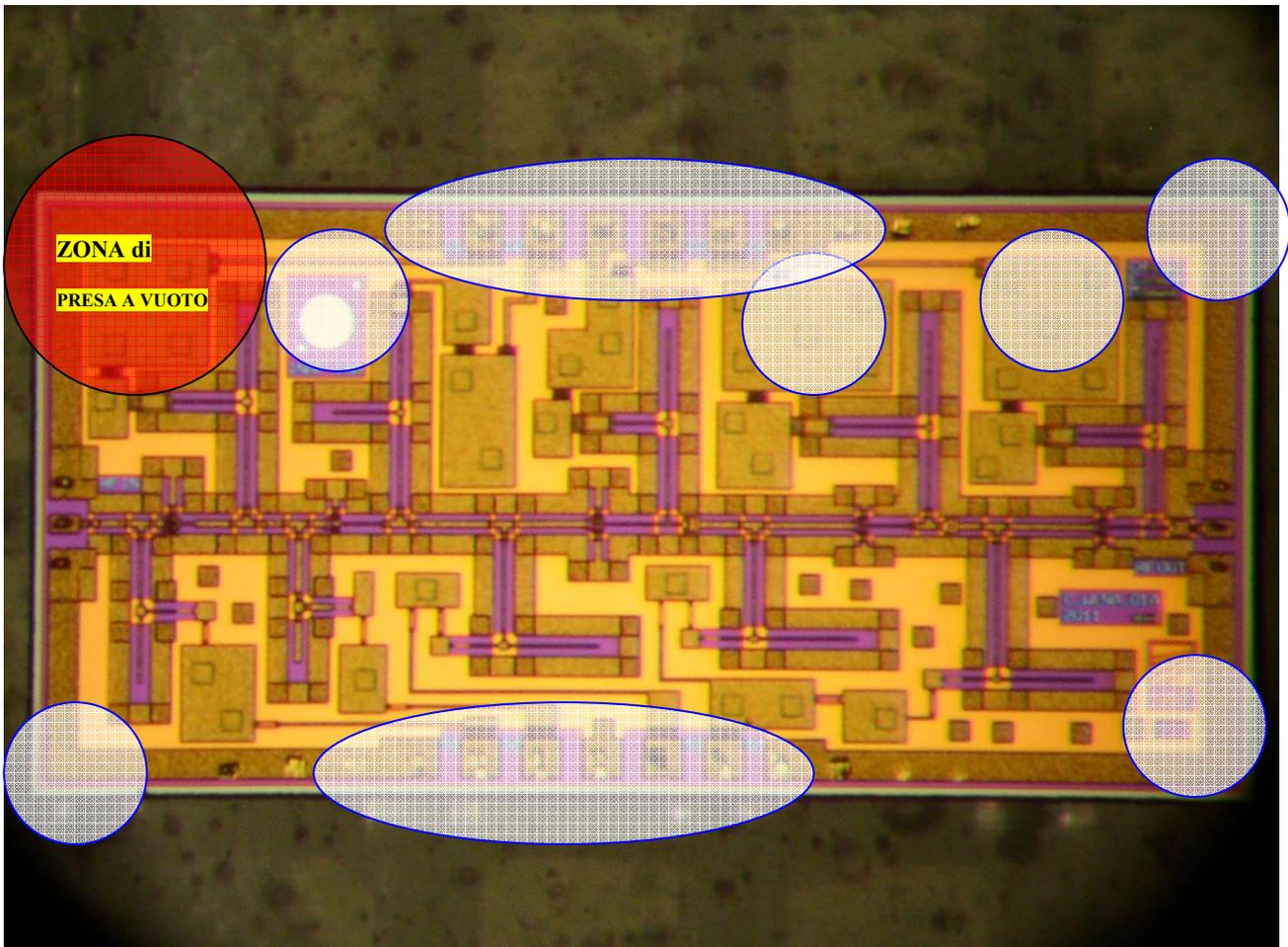


In rosso: zona di “presa a vuoto” Pick&Place

In azzurro : zona di aggiustamento / pressione con tool plastico.

**Orientamento:** con la zona *drain* in alto e la zona *gate* in basso : orientare come questa foto, cioè la logo INAF va in basso a destra. Se la logo INAF non si vede orientarsi con il layout dorato ( che si vede meglio)

## Montaggio MMIC FRAUNHOFER



In rosso: zona di “presa a vuoto” Pick&Place

In azzurro : zona di aggiustamento / pressione con *tool* plastico.

**Orientamento:** con la zona *drain* in alto e la zona *gate* in basso : orientare come questa foto, cioè la logo INAF va in alto a sinistra. Se la logo INAF non si vede, orientarsi con il layout dorato ( che si vede meglio).

## Appendice 2

### Diario delle prove di sopravvivenza degli incollaggi al raffreddamento criogenico dal 2002 al 2013

Sergio Mariotti

#### Scopo:

Scopo principale della presente nota è determinare le criticità e sensibilità degli incollaggi e/o brasature alle temperature criogeniche.

#### Generalità:

I componenti elettronici “bondabili” vengono attaccati al *carrier* tramite speciali colle elettro-termo-conduttive oppure tramite brasatura a base di leghe a base Sn/Pb oppure In.

Molti componenti elettronici, ivi compresi i fragili MMIC, sono realizzati con materiali rigidi, duri, fragili e poco elastici. Ad esempio, Si, GaAs, InP, Quarzo, Alumina, Ceramiche ecc. Tali materiali sono caratterizzati da basso coefficiente di dilatazione termica, tipicamente 4...8 ppm/K.

Altri materiali, come ad esempio i circuiti stampati laminati a base di PTFE sono invece morbidi, plastici e caratterizzati da alto coefficiente di dilatazione termica, tipicamente 30...200 ppm/K.

È evidente che, in presenza di grandi variazioni di temperatura, se il componente elettronico è giuntato rigidamente ad un substrato (*carrier*) caratterizzato da diverso coefficiente di dilatazione termica, il componente stesso può spaccarsi o staccarsi.

Le principali variabili in gioco sono:

$\Delta CTE$  Differenziale del coeff. di dilatazione termica (es. 20 – 5 = 15ppm/K)

$\Delta T$  Salto di temperatura (es. 295K...20K)

$l$  Lunghezza del componente (vista in pianta).

Elasticità

$\Delta CTE$  è una variabile funzione della temperatura. È più corretto scrivere  $\Delta CTE(T)$ .

Tuttavia, per quanto riguarda i raffreddamenti criogenici, studi sulla dilatazione eseguiti su molti materiali diversi fra loro, eseguiti da autorevoli enti, hanno mostrato che il CTE diminuisce in ambiente criogenico [D10]. Quindi nei calcoli, l'utilizzo di  $\Delta CTE(T_{amb})$  è un approccio conservativo.

Il modulo di elasticità è una grandezza molto complicata da determinare, perché dipende dalla temperatura, dalla morfologia, dal verso e direzione delle forze applicate.

La conoscenza del modulo di elasticità “a priori” consentirebbe di prevedere tramite calcolo numerico, il rischio di rottura.

Poiché in pratica non è noto il modulo di elasticità dei componenti elettronici, e se lo fosse non sarebbe di facile utilizzo (non è un reale bensì vettore), di fatto lo scopo di questa nota sarà quella di determinare sperimentalmente le condizioni di rottura.

Considerando due materiali diversi, appoggiati ma non vincolati fra loro, vale

$$\Delta l = \Delta CTE \cdot \Delta T \cdot l$$

poiché  $\Delta T$  è fissato dall'utilizzo scientifico (295K-20K), è evidente che più  $\Delta CTE$  è basso e più ci si potrà permettere l'utilizzo di componenti elettronici di grandi dimensioni.

Le CTE tipiche delle leghe metalliche più comunemente utilizzate per realizzare i *carrier* spaziano fra 17 e 25 ppm/K (Rame, Ottone, Lega Alluminio).

Esistono materiali metallici speciali la cui CTE è molto vicina a quella dei più comuni semiconduttori. Tali materiali sono leghe Si/Al o sinterizzazioni. Tali materiali presentano CTE tipiche comprese fra 5...12 ppm/K.

In linea di massima, nessuna di codeste leghe o sinterizzazioni è di facile lavorazione meccanica. Pure l'alto costo della materia prima, la scarsa conducibilità elettrica e le difficoltà di approvvigionamento ne scoraggiano l'utilizzo.

Fra le tante colle disponibili sul mercato, alcune sono dotate della particolarità di assorbire le differenze di dilatazione ( ad es. a mo di "pongo" o mastice). Tale proprietà ridurrebbe il problema di rotture o distaccamenti e consentirebbe di realizzare il *carrier* con un metallo o lega di uso comune.

## Descrizione del lavoro svolto

<b>Variabile</b>	<b>Campo di variazione</b>
<b>Tipo / Marchio</b>	Provate il maggior numero possibile le cui caratteristiche apparivano adatte alle esigenze criogeniche, dimensionali, RF ecc. Q.tà di colle provate: 7
<b>Tempi e temperature</b>	E' sempre stata prediletta la temperatura di polimerizzazione minore possibile a discapito del tempo, che in alcuni casi ha raggiunto le 3 h N° condizioni: N/A
<b>Assorbe <math>\Delta CTE</math>?</b>	Provate sia colle che assorbono sia colle che non assorbono variazioni dimensionali dovute a $\Delta CTE$ N° condizioni : N/A
<b>Dimensioni componenti</b>	Provati incollaggi di componenti le cui dimensioni spaziano fra i "piccoli" (es 0.5 x 0.5 mm) , i medi ( 3 x 3 mm, MMIC) ed i grandi (10 x 5mm, Lanciatori K) ed i grandissimi ( 25 x 10 mm, PCB a base PTFE) N° condizioni : 4
<b>Spessore colla</b>	Provati spessori "thin" ( tip. 50+/-20 $\mu$ m) e "thick" (tipicamente 150+/-50 $\mu$ m). N° condizioni : 2
<b>Materiale <i>carrier</i></b>	Ottone, Lega Alluminio N° condizioni : 2
<b>Finitura superficiale <i>carrier</i> e componenti</b>	<i>Carrier</i> : finitura "liscia" , finitura pallinata Componenti: finitura metallizzata , finitura ceramica N° condizioni : 4
<b>cicli temperatura</b>	3 cicli rapidi 295K→77K→295K 2 cicli 295 K→20K→295K 1 ciclo 20K lungo periodo (stasi = 1 settimana) N° condizioni : 3

CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI:  
PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI

Dalla tabella precedente è evidente che per poter studiare tutte le combinazioni servirebbero  $7 * 4 * 2 * 2 * 4 * 3 = 13442$  combinazioni, le quali, al fine di realizzare una indagine statistica, andrebbero moltiplicate per la minima quantità di componenti uguali fra loro.

Supponendo che il numero minimo di componenti uguali fra loro possa essere 3, si otterrebbero  $1344 * 3 = 4032$  campioni.

Poiché i componenti elettronici sarebbero “a perdere” anche nel caso che il test non sia distruttivo, tale approccio è stato considerato anti economico.

Si è pertanto ipotizzato che le variabili fossero scorrelate fra loro in modo tale da ridurre sia la quantità di componenti elettronici da sacrificare sia la quantità di test da eseguire.

Nel corso degli anni sono stati eseguiti i seguenti “provini” recanti a bordo una svariata tipologia di casi.

<b>1° provino: Ottone - H20E</b>					
<b>Materiale Carrier</b>		<b>CTE Carrier</b>		<b>Finitura Carrier</b>	
<i>Ottone (70÷85)</i>		<i>19÷20 ppm/K</i>		<i>fresatura (▽▽). Oro lucido</i>	
<b>Pulizia</b>					
<i>Sgrassato con solvente aromatico, risciacquo, Smac Rame, risciacquo H<sub>2</sub>O deionizzata</i>					
<b>Colle impiegate</b>					
<i>H20E</i>					
<b>Dimensioni Campioni</b>					
<i>medi (MMIC 3.2x2.5mm)</i>					
<b>Test criogenici eseguiti</b>					
<i>295K→77K→295K, 3 volte</i>					

Q.tà campioni: 10

Risultato: Analisi visuale: Q.tà 2 MMIC risultano crepati.

La colla H20E viene decretata NON adatta a produzione in serie di dispositivi criogenici.

<b>2° provino: Ottone – varie colle</b>					
<b>Materiale Carrier</b>		<b>CTE Carrier</b>		<b>Finitura Carrier</b>	
<i>Ottone (70÷85)</i>		<i>19÷20 ppm/K</i>		<i>fresatura (▽▽). Oro lucido</i>	
<b>Pulizia</b>					
<i>Sgrassato con solvente aromatico, risciacquo, Smac Rame, risciacquo H<sub>2</sub>O deionizzata</i>					
<b>Colle impiegate</b>					
<i>H20E</i>	<i>H20E</i>	<i>4130</i>	<i>4130</i>	<i>6030</i>	
<i>thick=0.15mm</i>	<i>thin=0.05mm</i>	<i>thick=0.15mm</i>	<i>thin=0.10mm</i>	<i>thick=0.20mm</i>	
<b>Dimensioni Campioni</b>					
<i>medi (MMIC 3.2x2.5mm)</i>		<i>grandi (lanciatore 10x5mm)</i>			
<b>Test criogenici eseguiti</b>					
<i>295K→77K→295K, 3 volte</i>					

Viene ridotta la quantità di componenti sacrificabili, solo 2 per tipologia.

CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI:  
PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI

Risultati 2° provino:

L'effetto del ciclo termico sull'incollaggio con H20E thick è distruttivo per i componenti più grandi mentre lo stesso ciclo, sull'incollaggio con H20E thin è molto più distruttivo sia per i componenti "grandi" sia per un componente "medio".

Gli incollaggi con Diemat™ 4130, che avrebbero voluto essere di due tipo, thin e thick, di fatto si sono rilevati essere entrambi "thick" a causa della consistenza "pastosa" piuttosto che "cremosa" della colla. Il raffreddamento non ha ne crepato ne distaccato i componenti (grandi e medi).

Il ciclo di raffreddamento, sull'incollaggio con Diemat™ 6030 thick mostra che il componente medio non si è ne crepato ne staccato. Per quanto riguarda il componente "grande", si è crepata la colla.

A termine del 2° step si può affermare che la Diemat™ 4130, spalmata in spessori thick, assorbe sufficientemente  $\Delta$ CTE per componenti "grandi" fino a 10 mm.

<b>3° provino: Al - varie colle</b>					
<b>Materiale Carrier</b>		<b>CTE Carrier</b>		<b>Finitura Carrier</b>	
<i>lega Al (50xx o 60xx)</i>		<i>23÷24 ppm/K</i>		<i>trafila ( ∇).Di fatto è piano e planare</i>	
<b>Pulizia</b>					
<i>Sgrassato con solvente aromatico, risciacquo, Smac Rame, risciacquo H<sub>2</sub>O deionizzata</i>					
<b>Colle impiegate</b>					
<i>H20E thick=0.15mm</i>	<i>H20E thin=0.05mm</i>	<i>4131 thick=0.15mm</i>	<i>AiT8050 thik=0.15mm</i>	<i>Ablestik 5025</i>	
<b>Dimensioni Campioni</b>					
<i>medi (MMIC 3.2x2.5mm)</i>		<i>piccoli (solo Ablestik)</i>			
<b>Test criogenici eseguiti</b>					
<i>295K→77K→295K, 3 volte</i>					

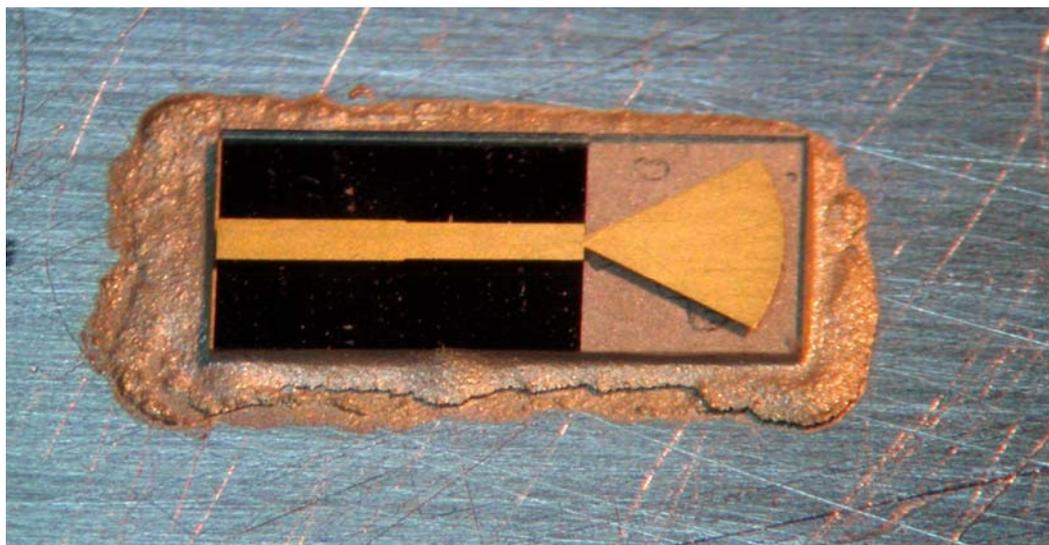
Risultati 3° provino:

I componenti incollati con H20E (thin) non si sono staccati (2 su 5).

I componenti incollati con H20E (thick) non si sono staccati

I componenti incollati con AiT™ 8050-LV non si sono staccati.

Inoltre la spalmabilità della colla Diemat™ DM4131 non è eccellente, la consistenza è "pastosa" piuttosto che "cremosa" e sono presenti microgranuli. Questi fatti limitano la "bagnabilità".



*Incollaggio "staccato" a seguito di ciclo termico*

<b>4° provino: Indio , Ablestik 5025, H20F</b>					
<b>Materiale Carrier</b>		<b>CTE Carrier</b>		<b>Finitura Carrier</b>	
<i>Ottone (70÷85)</i>		<i>19÷20 ppm/K</i>		<i>fresatura ( ∇∇). Oro lucido</i>	
<b>Pulizia</b>					
<i>Sgrassato con solvente aromatico, risciacquo, Smac Rame, risciacquo H<sub>2</sub>O deionizzata</i>					
<b>Colle impiegate</b>					
<i>Lega In 1E</i>	<i>Ablestik 5025</i>	<i>H20F</i>			
<b>Dimensioni Campioni</b>					
<i>grandi (10 x 5mm)</i>		<i>molto grandi (PCB 20mm)</i>			
<b>Test criogenici eseguiti</b>					
<i>295K→77K→295K, 3 volte</i>					

Risultati 4° provino:

Saldatura a lega In: Nessuna rottura , crepa o distacco visibile.

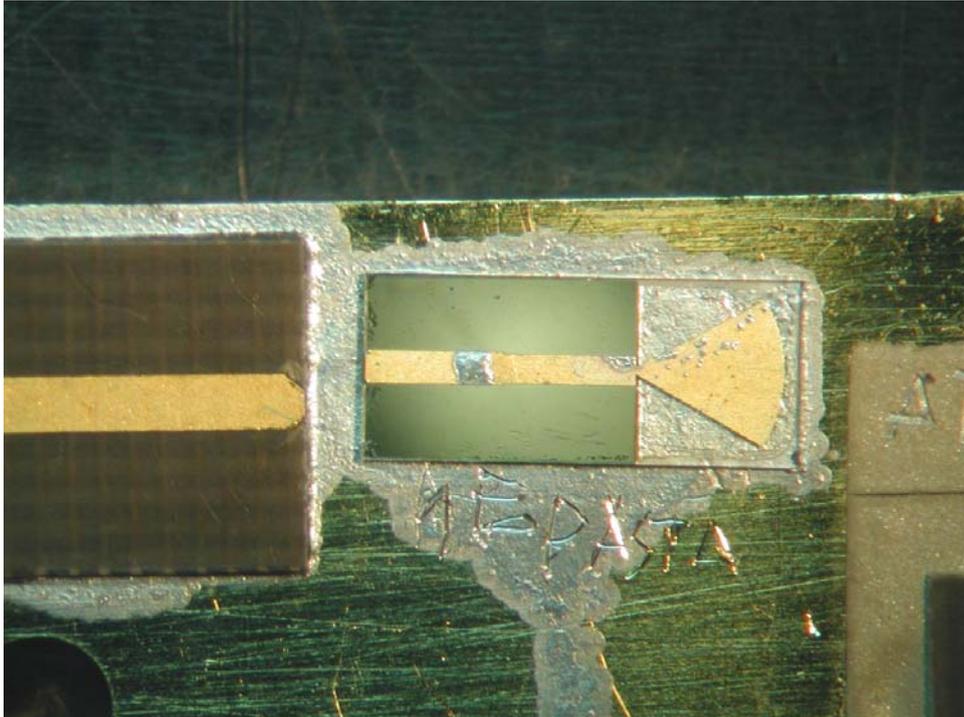
E' abbastanza critica perché non è facile bagnare bene il *carrier*.

Il *carrier* deve venir riscaldato ad una temperatura pari a circa 30...50 °C in più rispetto alla temperatura di fusione della lega In. Si deve dapprima "bagnare" il *carrier* aiutandosi con il flussante. Poi si appoggia il componente e , se necessario lo si mantiene schiacciato con un peso per evitare che il componente stesso "galleggi" e "navighi".

Incollaggio con bi-adesivo Ablestick 5025. Nessuna rottura , crepa o distacco visibile

Necessita che il componente sia pressato durante la polimerizzazione. Non è nota la pressione. Si sono provate pressioni comprese fra 1...30 gr/mm<sup>2</sup> e non si sono notate differenze sostanziali.

CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI:  
PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI

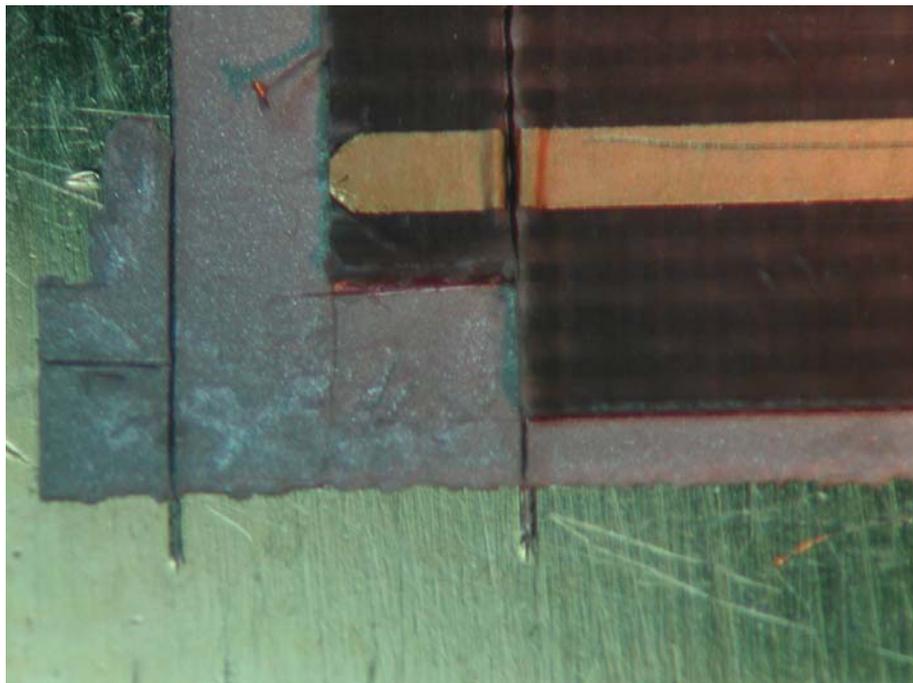


*Componente "grande" saldato con lega Indium Corp 1E in pasta.*



*Componente "molto grande" saldato con lega Indium Corp 1E in pasta*

CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI:  
PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI



Componente "grande" incollato con Ablestik Ablefilm 5025

Incollaggio con Epotek™ H20F (assorbe  $\Delta$ CTE) : Alcuni Distaccamenti.

La colla Epotek™ H20F , una volta polimerizzata presenta una bassissima adesività, grossomodo la stessa adesività che può avere un grasso.

Il test criogenico ha fatto staccare (senza romperli) i componenti "molto grandi" (circa 20 mm).

<b>5° e 6° provino Diemat 6030 e Ablestick 5025 – componenti piccoli</b>					
<b>Materiale Carrier</b>		<b>CTE Carrier</b>		<b>Finitura Carrier</b>	
<i>Ottone (70÷85)</i>		<i>19÷20 ppm/K</i>		<i>fresatura ( ▽ ▽ ). No Au</i>	
<b>Pulizia</b>					
<i>Sgrassato con solvente aromatico, risciacquo, Smac Rame, risciacquo H<sub>2</sub>O deionizzata</i>					
<b>Colle impiegate</b>					
<i>6030 (180°C)</i>	<i>Ablestik 5025 (180°C)</i>				
<b>Dimensioni Campioni</b>					
<i>piccoli (1-2mm)</i>					
<b>Test criogenici eseguiti</b>					
<i>295K→77K→295K, 3 volte</i>					

Lo scopo di questo provino è constatare l'adesività quando le superfici incollate sono particolarmente piccole.

I componenti incollati sono diodi al Si montati in verticale. Piccola superficie d'incollaggio e grande effetto "leva" (D 1.5mm x 3 mm).

Test criogenico: 3 cicli 295K...77K...295K.

Dopo il ciclo termico, prova di distacco particolarmente severa, ad "effetto leva" eseguita con dinamometro. nessuna rottura fino alla massima forza esercitata (300 gr).

<b>7° provino: Componenti "molto grandi" (20mm) – varie colle</b>					
<b>Materiale Carrier</b>		<b>CTE Carrier</b>		<b>Finitura Carrier</b>	
<i>Ottone (70÷85)</i>		<i>19÷20 ppm/K</i>		<i>fresatura (▽▽). Oro lucido</i>	
<b>Pulizia</b>					
<i>Sgrassato con solvente aromatico, risciacquo, Smac Rame, risciacquo H<sub>2</sub>O deionizzata</i>					
<b>Colle impiegate</b>					
<i>4130</i>	<i>4030</i>	<i>6030</i>	<i>AiT 8050</i>	<i>H20E</i>	
<b>Dimensioni Campioni</b>					
<i>grandi (20mm)</i>					
<b>Test criogenici eseguiti</b>					
<i>295K→77K→295K, 3 volte</i>					

Lo scopo di questo provino è constatare l'adesività quando le dimensioni sono molto grandi (20mm) la  $\Delta$ CTE è molto grande ed il materiale è potenzialmente plastico (laminato a basa PTFE).

Diemat™ 6030 e Epotek™ H20F si sono staccate, lasciando un po' di colla sia sul *carrier* sia sul PCB. Segno evidente che l'incollaggio era avvenuto "bene" ed è stato il ciclo termico che ha causato la rottura dell'incollaggio.

Le colle Diemat™ 4130, 4030, e AiT™ 8050-LV sono rimaste incollate senza mostrare nessuna crepa, rottura, deformazione.

### Test criogenici 295K→14K→295K

Alcuni test criogenici con criogeneratore GM (14K...20K), condotti su alcuni dei precedenti provini ha messo in evidenza che:

- Alcuni incollaggi che avevano resistito agli shock termici precedenti (295K→77K→295K) so sono rotti al primo ciclo 295K→14K→295K
- Alcuni incollaggi che avevano resistito al precedente ciclo 295K→14K→295K si sono staccati a causa di un prolungato periodo a freddo (3 gg 14 K).
- I precedenti effetti sono stati osservati con maggior frequenza nei casi di *carrier* in lega Al, più raramente nei casi di *carrier* in ottone lucido dorato, e mai nei casi di *carrier* in ottone pallinato dorato.
- Dopo che è emersa la criticità per le temperature 14K...20K per tempi prolungati (>3gg), si è eseguita una seconda campagna di raffreddamento di altri provini ma non si è visto nessun ulteriore distacco dell'incollaggio ne ulteriori rotture o crepe.
- Il comportamento alle temperature 14K...20K dovranno venir investigati in maniera più approfondita.

## Considerazioni conclusive sui test criogenici

### **Carrier: materiali**

Il materiale del *carrier* può essere a bassa CTE oppure il meno esotico Ottone. La finitura pallinata aumenta considerevolmente l'adesività.

Nel *carrier*, sul piano di appoggio dei componenti, la presenza di canali di sfogo o fori (pozzi di sfogo) migliora sensibilmente l'adesività della colla e sono misure necessarie nel caso di saldo-brasatura lega In o Sn/Pb.

### **Componenti elettronici: materiali**

Quando è possibile, per i componenti elettronici ceramici, utilizzare componenti NON gold-back. La ceramica nuda, è rugosa e migliora l'adesività.

### **Colle:**

La colla Epotek™ H20E, il prodotto più venduto sul mercato, è adatta per uso criogenico solamente per componenti piccoli ( $D < 1\text{mm}$ ) e per spessori "thick". Comportamento "vetroso"; se forzata, "crepa" e smette di condurre elettricità.

La colla Diemat™ 4130 è adeguata all'uso criogenico. Assorbe  $\Delta\text{CTE}$  fra Ottone e Quarzo fino a dimensioni 8 mm. Discreta adesività. Rilavorabile. Aspetto moderatamente morbido (se crepa continua a condurre). Produce un ossido violaceo dopo circa 1 anno ma non sembra un problema. Diemat™ 4130 è candidata ad essere la colla conduttiva universale per i circuiti ibridi.

Le colla Diemat™ 4031, per *carrier* in Al, è "grumosa" e non facile da stendere. Produce un ossido violaceo dopo circa 1 anno ma non sembra un problema. Non consigliata.

La colla Diemat™ 4030, fortemente termoplastica, presenta bassa adesività, è "grumosa". Produce un ossido violaceo dopo circa 1 anno ma non sembra un problema. Non consigliata.

La colla Diemat™ 6030 non assorbe  $\Delta\text{CTE}$ . Utilizzabile per componenti piccoli ( $D < 1\text{mm}$ ), richiede temperature alte ( $180^\circ\text{C}$ ) e tempi lunghi. Produce un ossido violaceo dopo circa 1 anno ma non sembra un problema. Particolarmente tenace e resistente. Suggesta in casi specifici.

La colla AiT™ 8050-LV assorbe  $\Delta\text{CTE}$ . è adeguata all'uso criogenico. Assorbe  $\Delta\text{CTE}$  fra Ottone e Quarzo fino a dimensioni di almeno 15 mm. Buona adesività. Rilavorabile facilmente. Aspetto gommoso e morbido (se crepa continua a condurre). Non mostra ossidazione visibile dopo periodi lunghi. L'aspetto pastoso non consente di venir depositata in spessori sottili, cioè è difficoltoso stendere la colla per componenti piccoli ( $es < 1\text{mm}$ ). Consigliabile.

Il foglio bi-adesivo Ablestik™ Ablefilm 5025 assorbe  $\Delta\text{CTE}$ . è adeguata all'uso criogenico. Assorbe  $\Delta\text{CTE}$  fra Ottone e Quarzo fino a dimensioni di almeno 15 mm. Eccellente adesività e tenacità. Rilavorabile con qualche difficoltà. Aspetto tenace ma non fragile cioè non tende a crepare se sollecitato. Non mostra ossidazione visibile dopo periodi lunghi.

## Dimensione massima componenti incollati

L'esperienza pratica acquisita con i provini ha mostrato che, quando si utilizza una colla per incollare un componente rigido, esiste sempre un effetto di assorbimento di  $\Delta CTE$ ; l'entità di tale assorbimento è stato stimato sperimentalmente sia con cicli di raffreddamento 295K→77K→295K sia con cicli 295K→14K→295K .

Le lunghezze massime dei componenti, tali innescare crepe o distacchi, vale

$$L_{MAX} = A / \Delta CTE$$

dove A dipende dal tipo di colla

$L_{MAX}$  [ mm ],  $\Delta CTE$  [ppm/K oppure ppm/°C]

A	Colla e condizioni
50	Epotek H20E, thick, valore di "rottura", $\Delta T = 295K - 14K$
150	Diemat 4130, thick, valore di "rottura", $\Delta T = 295K - 14K$
250	AiT 8050-LV, thick, valore di "rottura", $\Delta T = 295K - 14K$
250	Ablestik 5025, 0.15mm, valore di "rottura", $\Delta T = 295K - 14K$

La lunghezza ottenuta andrà moltiplicata per un coefficiente di sicurezza  $\leq 0.8$ .

*esempio.*

*Dati:*

*Componente in Quarzo (CTE=4 ppm/K), Carrier in Ottone (CTE=19ppm/K) , Salto di temperatura: 25°C...20K colla Diemat™ 4130*

*Soluzione:*

*$L_{MAX} = 150 / (19ppm/K - 4ppm/K) = 10mm$ . Applicando un coefficiente di sicurezza non maggiore di 0.8, si ottiene  $L_{MAX} = 10mm * 0.8 = 8.0 mm$*

## Tempi e temperature di polimerizzazione:

Tutti i produttori forniscono una tabella tempi-temperatura di polimerizzazione per ciascuna colla.

Analizzando matematicamente le coppie "tempo di polimerizzazione vs temperatura" fornite dai costruttori, si è notato che per tutte le colle di tutte le marche di cui siamo in possesso, è possibile un "fit" pressoché perfetto con una legge logaritmica.

L'analisi, estesa pure ad alcune colle bi-componenti utilizzate in impieghi diversi dalla microelettronica (es. Armstrong A12) mostra che per ciascuna delle numerose colle considerate vale:

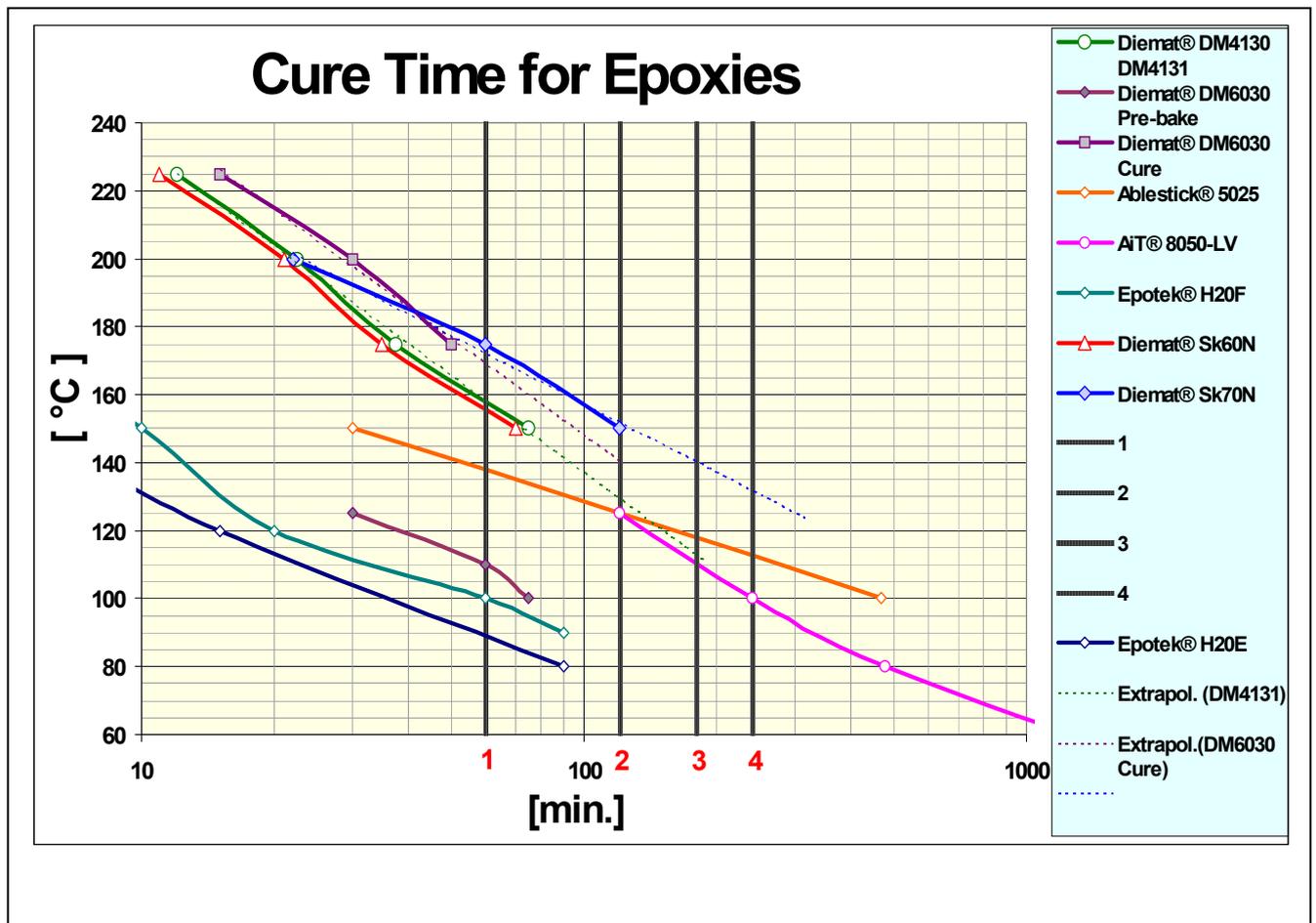
$$T_C = A \cdot \ln(t_C) + B$$

dove A e B sono una coppia di costanti identificative del modello specifico di colla.

Si è pensato pertanto che fosse lecito estrapolare leggermente tale funzione per poter utilizzare temperature minori, ovviamente a discapito di tempi più lunghi. Naturalmente per le nuove

temperature, più basse, si sono scelti valori che superassero comunque il valore di vetrificazione ( $T_G$ ).

Nella pratica, al fine di estendere il tempo di polimerizzazione, non è necessario un approccio numerico, cioè non è necessario conoscere i coefficienti A e B. È sufficiente riferirsi al grafico riportato sotto.



Temperatura di curing delle colle a disposizione in funzione del tempo

**Appendice 3**

**Nota tecnica: Spessori Incollaggi e saldature**

# Nota Tecnica :

## Circuiti Ibridi: Incollaggio Componenti

Sergio Mariotti 24 feb. 2004

revisioni: 9 mar. 2005, 28 feb. 2007, 26 ott. 2011, 15 dic 2011, 10 giu 2013,

**Tabelle Dimensionali: Vedi disegni pag. successiva**

### SPessori DEGLI INCOLLAGGI

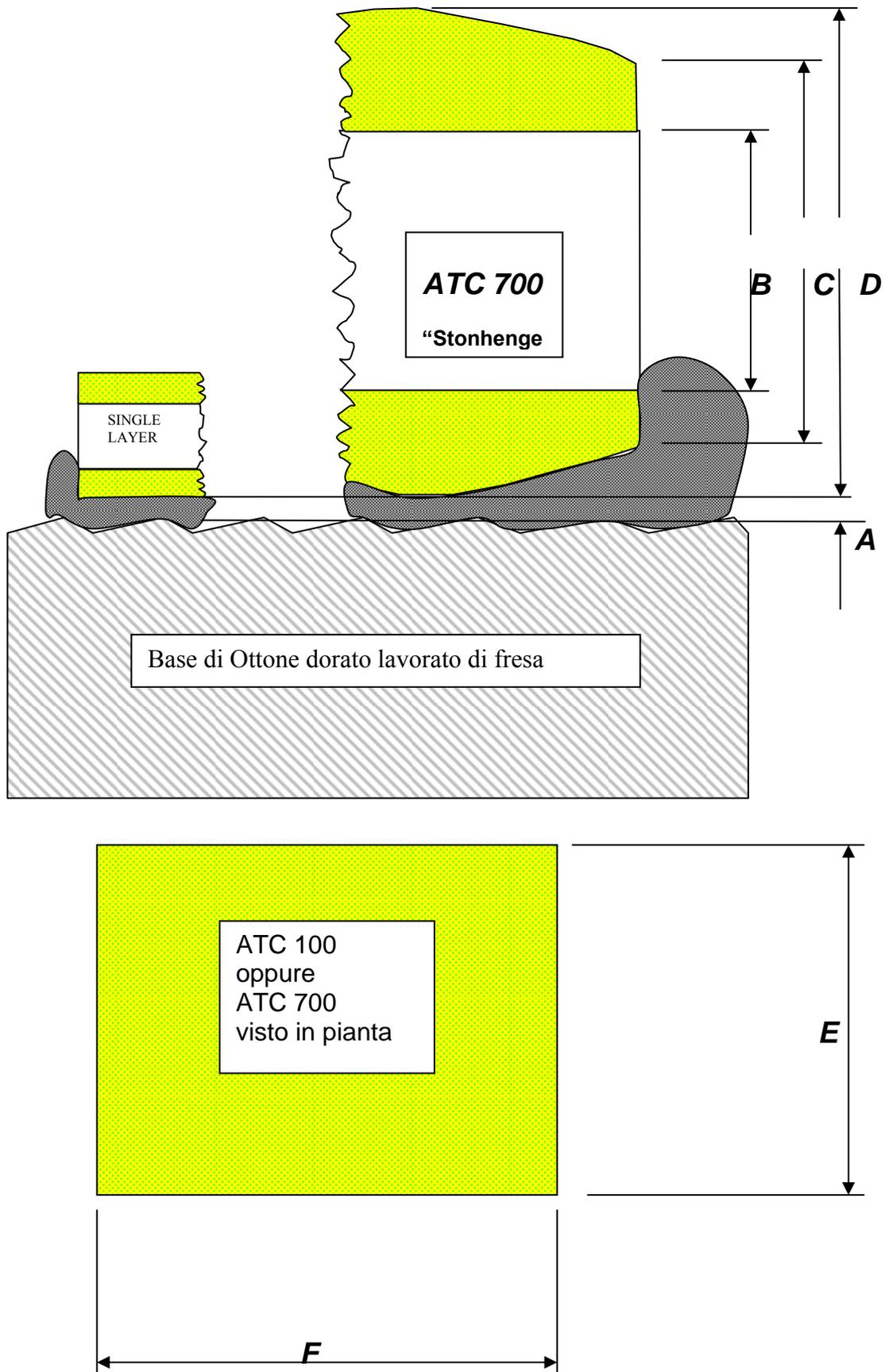
Sn <sub>62</sub> Pb <sub>36</sub> Ag <sub>2</sub> EpoTek™ AiT™ Diemat™	Spessore nominale <b>A</b>	Tolleranza	Spread
	Vedi descrizioni di seguito	Non applicabile	Vedi descrizioni di seguito

### CONDENSATORI ATC® : DIMENSIONI MISURATE

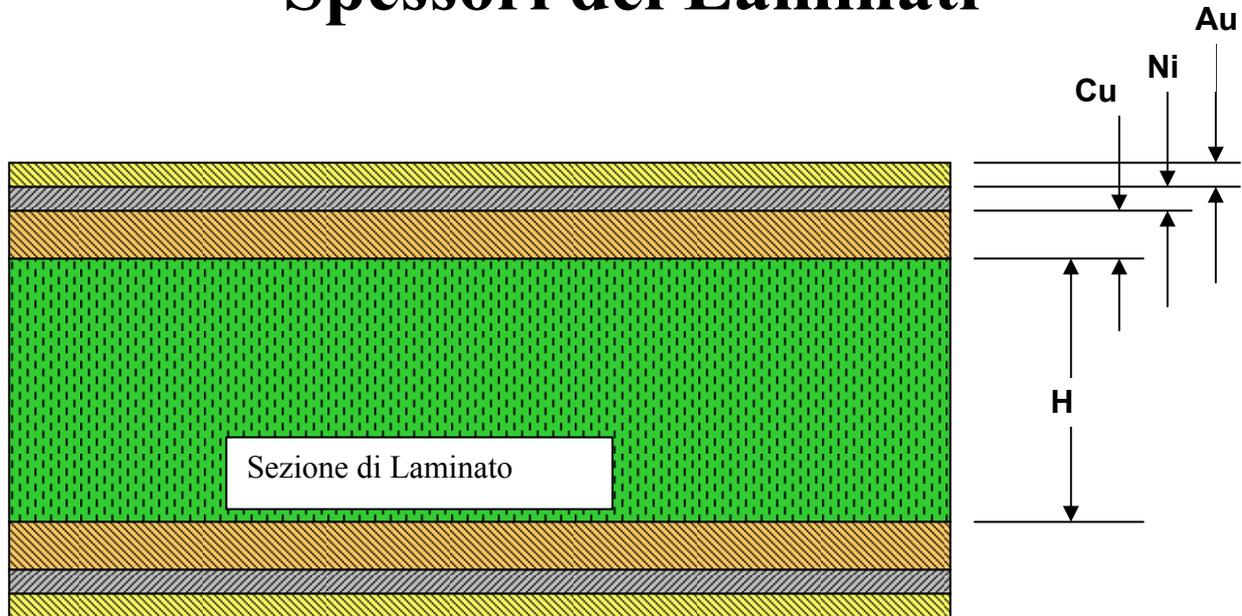
	ATC 100 A ☒	ATC 100 B	ATC 700 A ☒
<b>B</b>	≥0.55 mm	≥1.6 mm	0.8 mm circa
<b>C</b>	D – 0.05 mm circa	D – 0.05 mm circa	1.5 mm circa
<b>D</b>	1.60+/-0.05mm (10 campioni misurati)	3.02+/-0.05mm (10 campioni misurati)	1.80 +/- 0.05mm (10 campioni misurati)
<b>E</b>	1.19 mm	2.38 mm	1.00 mm
<b>F</b>	1.27 mm	2.90 mm	1.35 mm

☒: Utilizzati, l'uno in alternativa all'altro in LNA 22 GHz

CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI:  
PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI



## Spessori dei Laminati



SPESSORI STANDARD DEI LAMINATI (Circuiti Stampati)							
Dielettrico (H)			Rame (Cu)		Altri Metalli		
mils	$\mu\text{m}$	mm 2 digit	$\mu\text{m}$		Nichel (Ni)	Oro (Au)	
					$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	
10	254	0.25	17	☒	0	0	
15	381	0.38	34		4	6	☒
19	483	0.48	70				
20	508	0.51					
25	635	0.63					
31	787	0.79					
45	1143	1.14					
62	1575	1.58					

**Tolleranze:** La tolleranza RSS combinata (H, Cu, Ni, Au) vale circa +/-10 $\mu\text{m}$ , il valore esatto dipende dal costruttore.

Però il materiale è comprimibile pertanto si suggerisce di utilizzare le quote nominali.

☒ = Utilizzato per LNA 5 GHz, Spessore =  $483+2*(17+4+6) = 537 \mu\text{m}$

# Considerazioni sull'incollaggio dei componenti

In generale gli spessori delle leghe o resine conduttive per attaccare componenti hanno spessori variabili:

Lo spessore può variare entro 1 ordine di grandezza.

Da considerazioni dei manuali di montaggio componenti, il componente dovrebbe “galleggiare”, ovvero ci dovrebbe essere “molto” materiale d'incollaggio.

L'esperienza personale ha mostrato che spessori ridotti non mostrano problemi di sorta nella tenuta e forniscono un montaggio più pulito limitando gli “sbordi” che possono “risalire” in verticale se si usa un SnPb con flussante molto attivo o EpoTek<sup>®</sup>.

## Sn/Pb

Sono stati sperimentati tre spessori: 0.016 mm , 0.032 mm., 0.048 mm.

Con spessori 0.048 mm, il materiale di sbordo laterale è notevole.

Utilizzando un montaggio artigianale, il processo è poco controllabile, la tolleranza in spessore rasenta il 100%. Ciò nonostante non appare problematico sotto nessun aspetto.

Spessori alti (es. 0.5mm) tendono a far galleggiare troppo i componenti, e i cap ATC<sup>®</sup> serie 100 A e B, avendo terminali bombati, tendono a ribaltarsi durante la saldatura.

La lega Sn<sub>62</sub>Pb<sub>36</sub>Ag<sub>2</sub> è nettamente più performante della più comune lega Sn<sub>60</sub>Pb<sub>40</sub>. Le leghe senza Pb non sono state provate ma è noto che la bagnabilità è minore e la temperatura di fusione è maggiore.

Spessori lega Sn/Pb	
N° fili SnPb 0.5mm per ogni cm di larghezza cava. [N°/cm]	Spessore lega SnPb distribuita. [mm]
1	0.02
2	0.03
3	0.05

## In Alloy

Sono state sperimentate alcune leghe a base Indio, in particolare di produzione Indium Corporation, mod. #1E, #2, #290

Le leghe sono state scelte con i seguenti criteri:  
Saldabilità buona alle superfici dorate

Saldabilità buona alle superfici già bagnate con lega Sn/Pb  
% di In alta in modo da evitare il fenomeno della cristallizzazione a temperature criogeniche.

<b>Spessori lega In</b>			
Lega In			Spessori [mm]
<b>1E</b>	52In 48Sn	118°C	<b>0.05 ÷ 0.30</b>
<b>2</b>	80In 15Pb 5Ag	149°C	<b>0.03 ÷ 0.10</b>
<b>290</b>	97In 3Ag	143°C	<b>0.05 ÷ 0.30</b>

L'esperienza personale con leghe Indio, finora è stata negativa. Bassa bagnabilità con conseguente bassa adesività, spessori della goccia troppo grandi.

## Colle

Con EpoTek™ lo spessore richiesto può essere minore. Dato che EpoTek™ è triotropica e con i componenti a facce piane, basta uno spessore di circa ½ dello spessore dei componenti “sottili” (come ad es. i HEMT e i *single layer capacitors*).

Per minimizzare il pericolo dell'onda di risalita della pasta, sono da preferire i *chip capacitors* con metallizzazione “*recessed*”.

Le colle con bassa ΔCTE funzionano sul principio del “pongo” , cioè rimangono “gomme” e richiedono spessori relativamente grandi.

In linea di massima:

Per i componenti “piccoli” ad esempio < 1 x 1 mm , si può utilizzare H20

Per i componenti “medi” (es. 1mm < lato < 2.5mm) ma robusti si utilizza H20

Per i componenti “medi ma sensibili a ΔCTE si utilizza DM4131 o 8550LV

Per componenti “grandi” ( es 2mm < lato < 10mm) si utilizza DM4131 o 8550LV

Per componenti molto grandi, si considera l'utilizzo di 5025 o saldatura.

<b>Spessori COLLE</b>			
			Spessori [mm]
<b>H20E</b>	EpoTek	Bi-componente	<b>0.02 ÷ 0.20</b>
<b>DM4130</b>	Diemat	Mono-componente	<b>0.05 ÷ 0.50</b>
<b>8050LV</b>	AiT	Bi-componente	<b>0.05 ÷ 0.50</b>
<b>5025</b>	Ablestick	Foglio biadesivo	<b>0.15</b>

CIRCUITI ELETTRONICI IBRIDI:  
PROCEDURA DI INCOLLAGGIO DEI COMPONENTI ELETTRONICI

---