

# Dual IGBT Pack: contenitore di potenza a elevata affidabilità

*Nel prossimo futuro, il contenitore PrimePACK - che offre vantaggi elettrici, meccanici, termici ed economici - si propone come il nuovo standard per i dispositivi 2 in 1*

In configurazione duale - *Figura 1* - usando contenitori standard con tensione operativa di 1200V, la massima corrente erogabile dai moduli prodotti da **Fuji Electric** era 600A. Mentre i moduli ad alta potenza in grado di erogare 1200/3600A a 1200/1700V utilizzando il contenitore standard (HPM) con dimensioni 130\*140 [mm] o 190\*140 [mm] sono solo disponibili in configurazione singola. Per gestire quindi correnti superiori a 600A sino a oggi era d'obbligo usare moduli con contenitore standard e, per ottenere la connessione duale, era necessario connetterne due in parallelo.

## "PrimePACK ideale per i Dual IGBT"

Il contenitore, **PrimePACK**, grazie all'integrazione e ad altre innovazioni costruttive, permetterà la semplificazione del progetto meccanico portando vantaggi economici. Inoltre, confrontato con gli attuali contenitori di potenza, il PrimePACK, semplifica la progettazione meccanica e offre vantaggi dal punto di vista termico ed elettrico che saranno analizzati nel

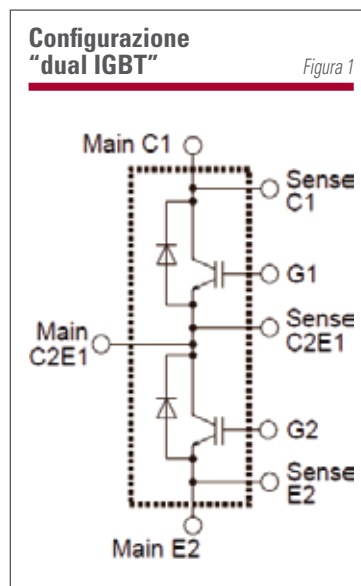
seguito. Per questo potrebbe diventare il nuovo standard "2 in 1" per future applicazioni.

### PROPRIETÀ MECCANICHE

Il contenitore PrimePACK è disponibile in due diverse versioni chiamate **PP2** e **PP3** (*Figura 2*). Guardandoli dal lato frontale si vede che la prima coppia di terminali si trova nella stessa posizione, pertanto sarà possibile migrare da un modulo all'altro in funzione delle potenze da gestire mantenendo lo stesso progetto meccanico. Rispetto ai moduli standard già presenti sul mercato è stata mantenuta la misura in altezza di **38mm**; il profilo sottile permette una facile connessione in parallelo di più moduli come spesso accade in applicazioni quali inverter a 2 livelli.

Nella sezione più bassa del lato frontale potrà essere montata una scheda -per il pilotaggio dei Gate - senza che questa venga coperta dalla barra del "bus" di potenza; ciò permetterà di ridurre la distanza del circuito pilota dall'IGBT migliorando l'accoppiamento elettrico.

I terminali posti nella parte posteriore permettono un elevato grado di libertà per il collegamento del bus DC.



Sarà possibile effettuare una connessione "Bus Bar" a 3 livelli (AC e DC) aventi adeguati isolamenti oppure a due livelli (DC) lasciando il terminale AC libero per un collegamento separato. Tale flessibilità permetterà di adottare specifiche configurazioni di sistema senza restrizioni o vincoli meccanici rendendo così la soluzione finale più semplice ed economica.

Infine, l'affidabilità risulterà aumentata da stabili connessioni meccaniche ottenute per mezzo di viti: M8 per DC e AC bus, M4 verso il pilotaggio.

### STRUTTURA INTERNA SALDATURA A ULTRASUONI

Uno dei problemi da risolvere con questi nuovi contenitori è quello di aumentare la densità di potenza senza dover scendere a compromessi relativamente a dimensioni e affidabilità.

La *Tabella 1* mostra come il rame sia la miglior scelta per realizzare le

### Dimensioni meccaniche

*Figura 2*



## Parte I

Peter Dietrich  
Thomas Heinzel,  
Fuji Electric Europe  
e Masahito Otsuki,  
Fuji Electric Systems

Traduzione di  
Massimo Caprioli,  
Fuji Electric Europe  
Filiale Italiana

Fuji Electric è distribuita  
in Italia da Consystem Srl  
Via E. Stendhal, 55  
20144 - Milano  
Tel. 02-424147.1  
Fax 02-42291305  
support@consystem.it  
www.consystem.it

connessioni interne. Sino a oggi, la modalità più efficiente per unire i terminali al substrato è stata la tecnica della saldatura tradizionale.

Usare materiali di saldatura diversi presenta alcuni inconvenienti:

- l'unione di materiali diversi può rapidamente invecchiare per effetto chimico;
- possono presentarsi rotture dovute al cattivo adattamento dei coefficienti termici;
- la lega saldante ha una resistenza meccanica 5 volte inferiore a quella del rame.

Al fine di evitare questi inconvenienti, Fuji ha sviluppato una nuova tecnologia di saldatura del rame a ultrasuoni e senza uso di materiale aggiuntivo. Questo ha permesso la diretta connessione del Bus Bar interno alla piazzola del DCB come illustrato in *Figura 3*.

La **saldatura a ultrasuoni** migliora in modo significativo l'affidabilità di tenuta del terminale sul DCB e la resistenza alle vibrazioni. *Figura 4* mostra la sezione del punto di contatto tra terminale di rame e DCB con saldatura a ultrasuoni dopo 300 cicli termici da -40 a +150°C, il punto di contatto non mostra degrado né segni di stress meccanico.

In *Figura 5* si confronta la resistenza alla trazione di una saldatura convenzionale e di una a ultrasuoni prima e dopo 300 cicli termici.

#### Sezione dell'area di saldatura a ultrasuoni dopo 300 cicli termici (-40/150°C)

*Figura 4*



after 300 Cycles

#### Proprietà dei metalli usati nella costruzione di un modulo di potenza a IGBT

*Tabella 1*

Materiale	Resistività Elettrica ( $10^{-8} \Omega m$ )	Res. Meccanica (N/mm <sup>2</sup> )	Conducibilità Termica (W/m*K)
Alluminio	2,5	60	240
Rame	1,5	325	390
Stagno (saldatura)	11,5	50	68

Quella a ultrasuoni è in grado di offrire una migliore robustezza alla trazione e un bassissimo degrado anche sottoposta a severi cicli termici.

#### STRUTTURA INTERNA MATERIALI DI SALDATURA SOTTO IL DCB

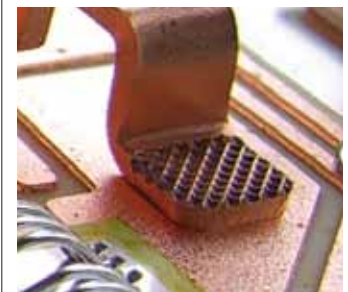
La capacità di un modulo IGBT di resistere a stress termici dipende dall'intera struttura del modulo. Lo stress termico è principalmente causato dai diversi coefficienti di dilatazione dei materiali che al variare della temperatura esercitano differenti forze di espansione. Forze che possono causare rotture negli strati di connessione che fanno aumentare la resistenza termica del dispositivo.

Fuji ha affrontato tali problematiche e aumentato la resistenza ai cicli termici per mezzo di un miglior adattamento tra i coefficienti di espansione termica dei materiali usati. Nei moduli IGBT la maggior criticità risiede nell'accoppiamento tra il substrato di isolamento ceramico del DCB e la base dissipativa in rame. La *Tabella 2* illustra le proprietà dei materiali usati. Per migliorare l'affidabilità del punto di contatto tra il DCB e la base di rame, Fuji ha condotto nel tempo studi approfonditi su alcune leghe: Stagno-Argento (Sn-Ag), Stagno Argento Indio (Sn-Ag-In) e Stagno Antimonio (Sn-Sb).

La **Sn-Ag** è il materiale maggiormente usato per rispondere alla RoHS, è in grado di resistere ai 100 cicli termici [-40°C (1h) ~ RT (0.5h) ~ +150°C (1h)] del test accelerato di invecchiamento,

#### Terminale di rame unito al DCB con saldatura a ultrasuoni

*Figura 3*



tuttavia non riesce a sostenerne 300. Per ovviare a tale problema Fuji, nel 2002, ha introdotto la lega **Sn-Ag-In**, materiale conforme alle norme RoHS e successivamente, nel 2005 per applicazioni automotive, la lega **Sn-Sb**. Come illustrato in *Figura 6* - risultato della tomografia a scansione acustica (SAT) dei giunti di saldatura - queste due leghe sono in grado di sostenere **300 cicli** senza rotture poiché la loro struttura è insensibile alle variazioni della temperatura. Sebbene siano ancora in corso test ulteriori, la lega Sn-Sb risulta essere più affidabile in quanto ha un punto di fusione più elevato rispetto alla Sn-Ag-In. Per cui la scelta finale di Fuji si è rivolta alla lega Sn-Sb anche per i moduli per applicazioni industriali introducendola col contenitore PrimePACK.

#### PROPRIETÀ TERMICHE OTTIMIZZAZIONE DEL POSIZIONAMENTO DEI DICE

Nel definire le caratteristiche del modulo, oltre alle prestazioni del silicio

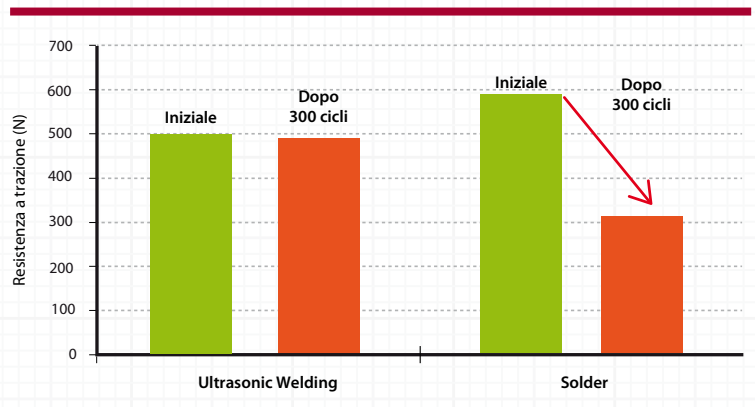
(DICE), il suo comportamento termico è un fattore rilevante. In modo particolare, l'accoppiamento termico tra IGBT e diodi adiacenti pone una particolare sfida nella gestione della dissipazione termica. Per poter erogare alte correnti, un certo numero di IGBT e diodi vengono collegati in parallelo e ciò - in funzionamento - può generare dei punti di intenso calore difficilmente drenabile. Per ridurre l'impatto dell'accoppiamento termico dei dispositivi collegati in parallelo nel modulo, Fuji ha collocato i vari DICE (IGBT e diodi) in modo alternato-sfalsato come illustrato in *Figura 7*. Tale posizionamento permette di ottenere una distribuzione più uniforme della temperatura, prevenendo punti di calore concentrato e riducendo lo stress termico dei dispositivi stessi.

**PROPRIETÀ TERMICHE TRASFERIMENTO AL DISSIPATORE**

Tutti i miglioramenti, sopra illustrati, possono divenire effettivi se il calore sviluppato viene trasferito in modo

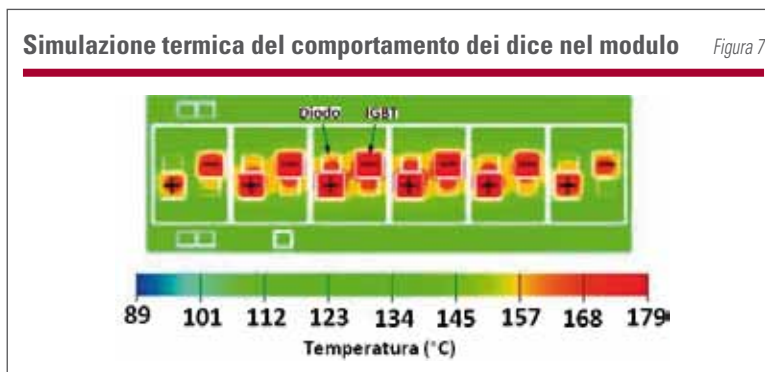
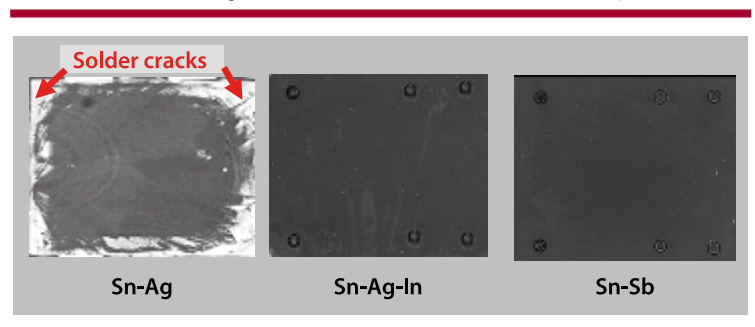
**Metodi di saldatura e robustezza del punto di contatto prima e dopo 300 cicli termici**

*Figura 5*



**Punti di rottura della saldatura del punto di contatto DCB (Si3N4) e la base di rame dopo 300 cicli termici. Confronto tra leghe**

*Figura 6*



**Proprietà dei materiali ceramici e del rame** *Tabella 2*

Materiale	Conducibilità Termica (W/m*K)	Spessore Richiesto (mm)	Coeff. di Espansione Termica (10-6/K)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18-25	0,25-0,38	7,1
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	70-90	0,32	3,4
AlN	170	0,635	4,6
Rame	390	3	16,8

adeguato al sistema di raffreddamento. Da un punto di vista **termoconduttivo**, il grasso - usato per riempire i vuoti dovuti alle imperfezioni planari delle superfici (modulo-dissipatore) aumentandone il contatto - rappresenta l'elemento peggiore nella catena termica (DICE-Ceramica-Saldatura-Rame-etc). Per ridurre tale effetto, la piastra dissipativa del modulo viene fissata al dissipatore esterno per mezzo di viti M16 (10 nel PP2, 14 nel PP3). Al fine di distribuire la corretta pressione le viti si trovano a 39mm l'una dall'altra sul lato lungo e di 73mm sull'altro. Ovviamente, la qualità del contatto è funzione di come sarà disteso il grasso sulla piastra del modulo. Nel caso dei package PrimePACK si fa uso di 2,1 gr di **HTCO1K** applicato tramite telaio serigrafico per ottenere lo spessore desiderato di 50µm.

