

SiC e MDmesh, tecnologie di ultima generazione per un solare più efficiente

Gaetano Belverde
Senior Application engineer

Giuseppe Sorrentino
Senior Application engineer

STMicroelectronics

In questo articolo, dopo una breve analisi dei convertitori solari con cenni sulle topologie e sulle principali caratteristiche richieste dal mercato, verranno presentate due nuove tecnologie sviluppate allo scopo di ottimizzare l'efficienza delle applicazioni fotovoltaiche e la densità di potenza dei convertitori. Grazie alle velocità di spegnimento di SiC e MDmesh, che possono generare di/dt di $2000A/\mu s$, è possibile ridurre al minimo le perdite dovute alla commutazioni. I nuovi dispositivi sono stati provati sul campo in un convertitore solare "grid connected" ad alte prestazioni

Gli accordi internazionali di Kyoto in merito alla riduzione dei gas serra hanno spinto avanti la ricerca nel campo delle energie rinnovabili in tutto il mondo. Diversi sono i progetti attualmente in sviluppo che sfruttano fonti alternative per generare energia. Tutte le metodologie entrano in competizione in termini di costi, rispetto all'energia generata con i carburanti tradizionali (gas, petrolio, carbone), attualmente utilizzati in altissima percentuale in tutto il mondo.

Grazie alla ricerca e alla continua richiesta del mercato, il costo di produzione di energia derivante da tecnologie di produzione alternative e rinnovabili (solare, biomasse, vento, energia oceanica legata alle maree) sta diminuendo e diventando sempre più conveniente dal punto di vista economico.

Il solare fotovoltaico, tra le fonti alternative a disposizione, consente di servire facilmente zone non raggiunte dalla rete elettrica convenzionale, oltre

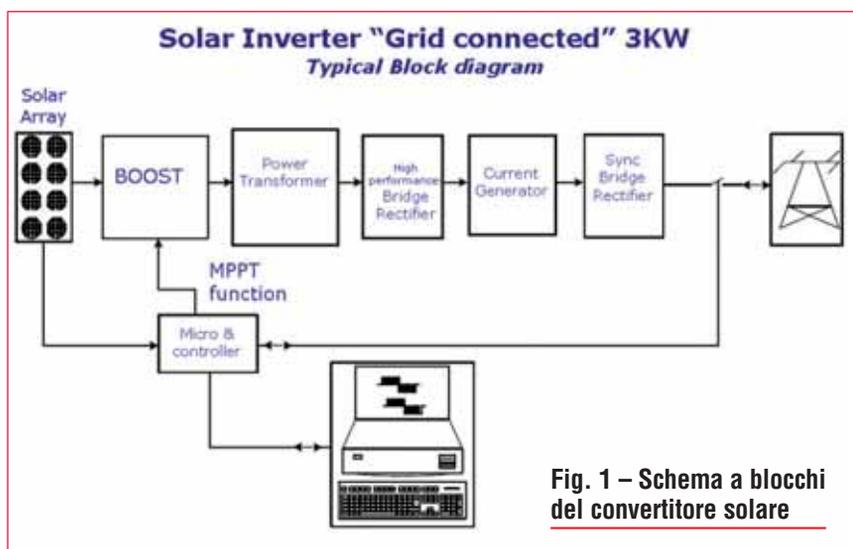


Fig. 1 – Schema a blocchi del convertitore solare

a essere una tecnologia verde, pulita e illimitata.

I sistemi di produzione di energia fotovoltaica solare domestica generano corrente continua e per questo motivo necessitano di un sistema inverter in grado di condizionare il bus DC in corrente continua,

trasformando l'energia generata dal pannello in corrente alternata AC da impiegare per le utilizzazioni domestiche o per essere immessa in rete.

Una prima suddivisione tra le varie tipologie di impianti solari può essere fatta in: sistemi di generazione stand-alone

(isolati dalla rete elettrica) e sistemi di generazione grid-connected (connessi alla rete elettrica).

I primi necessitano di un sistema di accumulo di energia (batterie), in modo da poter utilizzare l'energia elettrica anche nelle ore notturne con zero irradiazione solare. I secondi, grid-connected, generano energia che può essere consumata e/o immessa nella rete elettrica del gestore. Nelle ore notturne e a bassa o nulla irradiazione solare, l'impianto invece assorbe la potenza elettrica necessaria alle utilizzazioni domestiche direttamente dalla rete elettrica.

Con questo accorgimento il sistema non necessita di batterie per l'accumulo dell'energia elettrica prodotta in eccesso.

Entrambe queste tipologie di impianto hanno bisogno di un convertitore per trasformare la corrente continua proveniente dai pannelli e generare la corrente alternata.

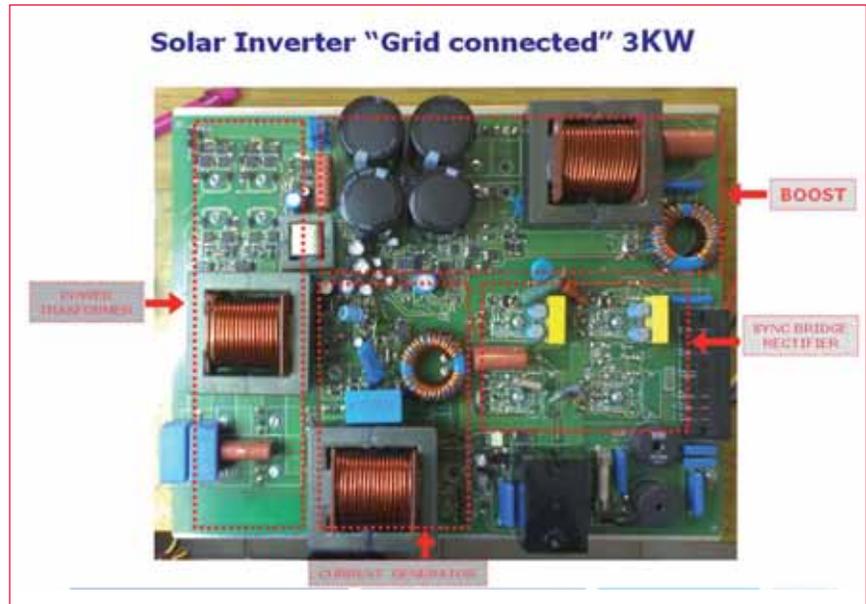
Gli inverter utilizzati in questi impianti sono molto diversificati e sono costruiti con diverse scelte progettuali; tutti, però devono soddisfare alcune caratteristiche fondamentali:

1) Alta efficienza (considerando la relativa bassa efficienza dei pannelli, ~14% per i monocristallini, è fondamentale avere un convertitore con almeno il 97% di efficienza).

2) Affidabilità (in linea teorica dovrebbe essere maggiore o uguale alla vita garantita di un pannello pari a circa 25 anni).

3) Power quality (l'energia generata e/o trasferita alla rete deve avere il minore contenuto possibile di armoniche).

La continua richiesta di abbassare le perdite dovute alla conversione di energia hanno spinto i progettisti di convertitori per solare a sviluppare nuovi con-



vertitori ad alte prestazioni, capaci di lavorare con rendimenti superiori al 97%.

Per fare questo, sono necessari, oltre alle topologie circuitali più efficienti, anche i migliori dispositivi a semiconduttore presenti sul mercato.

Allo scopo di abbassare le perdite sui convertitori, l'industria mondiale dei semiconduttori ha sviluppato le tecnologie esistenti e ne ha creato di nuove per superare i limiti tecnologici insiti nel silicio. Sono nate dunque le nuove tecnologie al carburo di silicio.

Ai dispositivi di potenza impiegati nelle applicazioni solari si richiede una caduta di tensione quanto più bassa possibile e contemporaneamente una maggiore velocità nelle commutazioni, in modo da ridurre le perdite e minimizzare gli ingombri dei componenti passivi.

La tecnologia a super giunzione denominata MDmesh è quella che permette di costruire dei Power MOSFET con

Fig. 2 – Convertitore solare e relativi blocchi

un'altissima densità di corrente e contemporaneamente molto veloci.

Le commutazioni veloci dei MOSFET impongono l'impiego di rettificatori in grado di lavorare ad altissimi dI/dt e dV/dt . I normali diodi al silicio, pur essendo nelle versioni turboswitch molto veloci, non riescono a lavorare bene alle velocità di esercizio dei MOSFET a supergiunzione.

Per questo motivo si utilizzano dei diodi in carburo di silicio, che non presentano virtualmente recovery time per ricombinazione delle cariche, indipendentemente dal valore della corrente diretta e dal dI/dt imposto, al contrario dei diodi al silicio che invece soffrono di tale problematica.

Il settore della conversione di energia solare, risulta essere quindi il campo applicativo principe per le nuove tecnologie "verdi" a bassa perdita e altissime prestazioni quali sono il carburo di silicio e l'MDmesh di STmicroelectronics. Il progetto che è stato preso come veicolo di prova per validare l'efficacia

Tabella 1 - Principali parametri elettrici (valori tipici a datasheet)

Device type	VDS breakdown [V]	Qg @Vgs=10V [nC]	RDSon @Vgs=10V [mOhm]
STW42N65M5	650	100 @Id=16.5A	70 @Id=16.5A

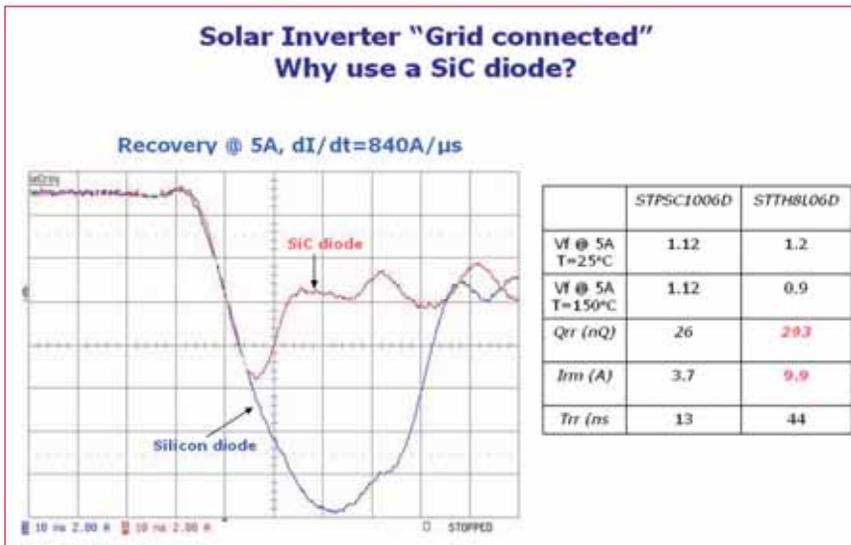


Fig. 3 – Confronto recovery diodi con $dI/dt = 800^{\circ}/ms$, $I_f = 5A$

delle nuove tecnologie è un convertitore “grid connected” da circa 3 KW di potenza, e un ampio range di tensione di ingresso che va da 150V a 400V, e che implementa la funzione MPPT (Maximum Power Point Tracking).

L'efficienza massima del convertitore supera il 97%.

La figura 1 mostra lo schema a blocchi del convertitore. Si tenga presente che esistono diverse topologie che implicano differenti soluzioni progettuali e circuitali rispetto a quelle trattate. La figura 2 mostra la foto del convertitore, in evidenza i relativi blocchi.

Il primo stadio del convertitore è un BOOST, utilizzato come front-end sia negli inverter stand-alone sia negli inverter grid-connected.

Questo blocco è comune a quasi tutti i convertitori solari maggiormente utilizzati. Esso serve come front-end tra i pannelli e il convertitore e serve ad alzare la tensione generata dalla stringa di pannelli solari a un valore di BUS che va tipicamente dai 400V ai 500V, per impianti fino a 3 KW di potenza.

Il blocco denominato “power transformer” serve per isolare galvanicamente il pannello fotovoltaico dalla rete elettrica.

di lavorare con gli elevati dI/dt generati dalle commutazioni dei MOSFET a supergiunzione a circa 100KHz di frequenza.

Il “current generator” e il “sync bridge rectifier” servono invece per regolare e immettere direttamente in rete l'energia prodotta dal pannello, seguendo la fase della sinusoide a 50Hz. Altre soluzioni di progetto impiegano in questo stadio un semiponte o un ponte intero invece della topologia “current generator” a single switch.

Grazie alle soluzioni circuitali adottate in questo convertitore, con un BUS di 450V possono essere impiegati in sicurezza dei MOSFET da 650V (STW42N65M5) e dei diodi SiC da 600V con frequenze maggiori di 100KHz, allo scopo di minimizzare le dimensioni di induttanze, trasformatori e condensatori di bulk. Con dispositivi IGBT difficilmente si riuscirebbero ad approssiare

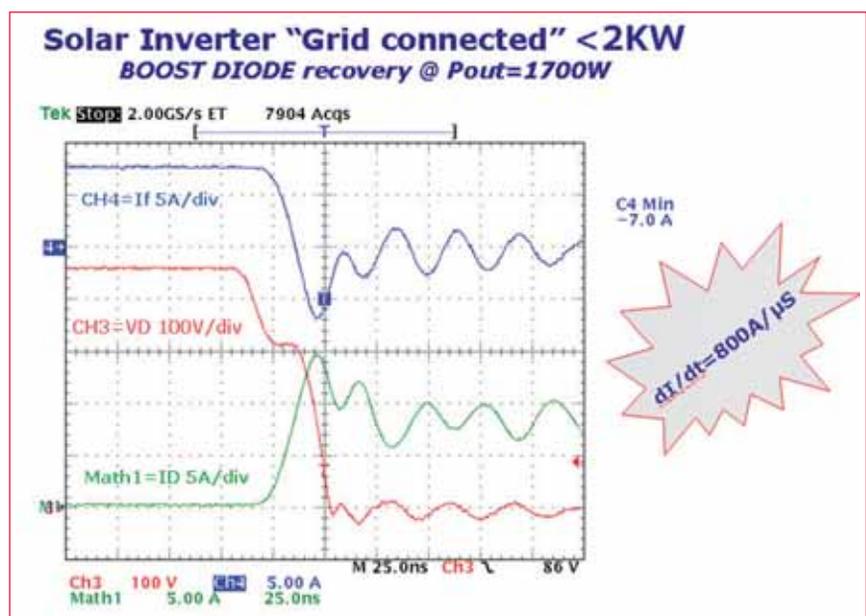


Fig. 4 – Commutazione dei MOSFET e recovery dei SiC alla potenza di circa 1800W

L'isolamento non è obbligatorio in tutti i Paesi della comunità europea, ed esistono pertanto convertitori che non implementano questo stadio.

Il blocco “high performance bridge rectifier” è semplicemente un ponte di Greatz realizzato con diodi SiC capaci

queste frequenze operative e relative velocità di commutazione. Per ragioni di spazio è stato valutato in dettaglio solo il primo stadio del convertitore che, essendo comune a quasi tutti i convertitori in commercio, ben si presta per eventuali confronti con altre soluzioni.

BOOST in dettaglio

Il singolo pannello genera una tensione di poche decine di volt; per questo motivo si tende a connetterli in serie formando delle stringhe sino ad arrivare a un BUS di almeno 150V e in genere non superiore ai 400V per ragioni di sicurezza dell'impianto.

La tendenza degli installatori è quella di mettere in serie il minor numero possibile di pannelli in modo da evitare che il malfunzionamento di un solo pannello pregiudichi l'intera stringa, infatti, la corrente generata dalla stringa sarà quella del pannello peggiore. Per questo motivo il BUS di tensione proveniente dai pannelli sarà sempre il più basso

Tabella 2 - Principali parametri elettrici dei diodi confrontati @ $di/dt=800A/\mu s$

	STPSC1006D	STTH8L06D
VRRM [V]	600	600
Vf [V] @ 5A T=25°C	1.12	1.2
Vf [V] @ 5A T=150°C	1.12	0.9
Qrr (nC)	20.4	202
I _{rm} (A)	3.4	9.6
Trr (ns)	12	42

possibile, favorendo la messa in parallelo dei pannelli piuttosto che in serie.

Questo si traduce ai fini pratici in elevate correnti di esercizio, specie nel primo stadio BOOST, considerando che se l'irradiazione solare è costante la potenza generata dal pannello (o dalla stringa) rimane costante, abbassando la tensione di lavoro dei pannelli la corrente dovrà necessariamente aumentare per sfruttare tutta l'energia prodotta.

L'esercizio ad alte correnti e alte frequenze di funzionamento con commutazioni veloci impone l'uso di silicio pregiato quali i diodi al carburo di silicio SiC e MDmesh di ultima generazione. Diodi in

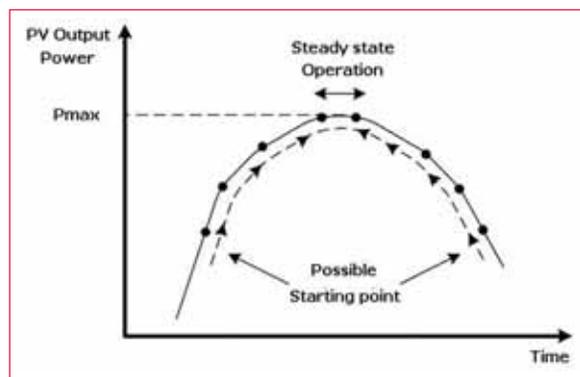


Fig. 5 - MPPT (Maximum Power Point Tracking)

silicio nelle stesse condizioni operative genererebbero picchi di corrente talmente grandi da distruggere lo switch di potenza e il diodo stesso. A tale scopo è stato fatto un confronto al banco tra un diodo SiC (siglato STPSC1006D) e un diodo al silicio turboswitch (siglato STTH8L06D) con portata di corrente confrontabile (Fig. 3).

Il di/dt di $800A/\mu s$ è confrontabile con quello raggiunto in applicazione (Fig. 4). Tale confronto può essere fatto solo a singolo impulso perché in applicazione, l'uso di diodi al silicio provocherebbe l'immediata distruzione del MOSFET. La tabella 2 riassume le principali caratteristiche elettriche dei due diodi confrontati.

Osservando la figura 3 si nota la drastica riduzione del recovery time del SiC che permette di sfruttare appieno i vantaggi offerti dalle nuove famiglie di MDmesh ed effettuare commutazioni veloci (con $di/dt > 800A/\mu s$) e conseguenti minori perdite di switching sui MOSFET. Per lo stesso motivo si ottie-

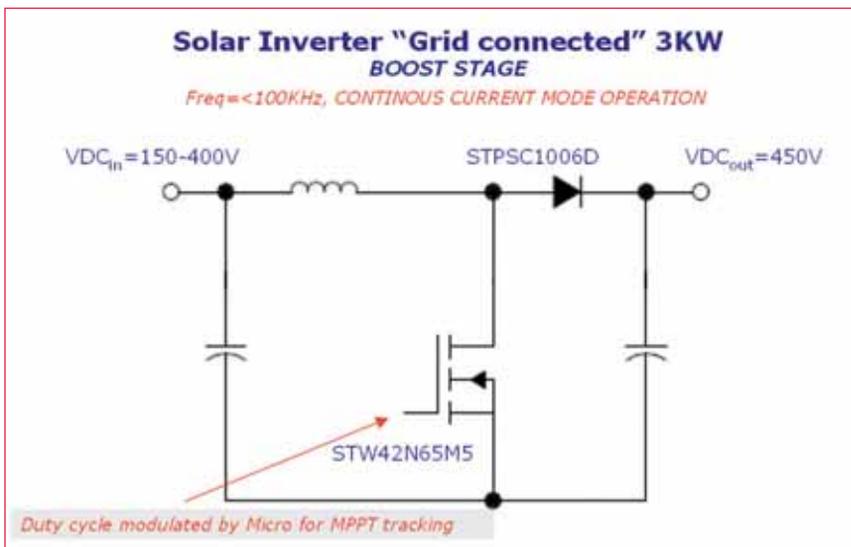


Fig. 6 - Stadio di potenza del prototipo del BOOST implementato

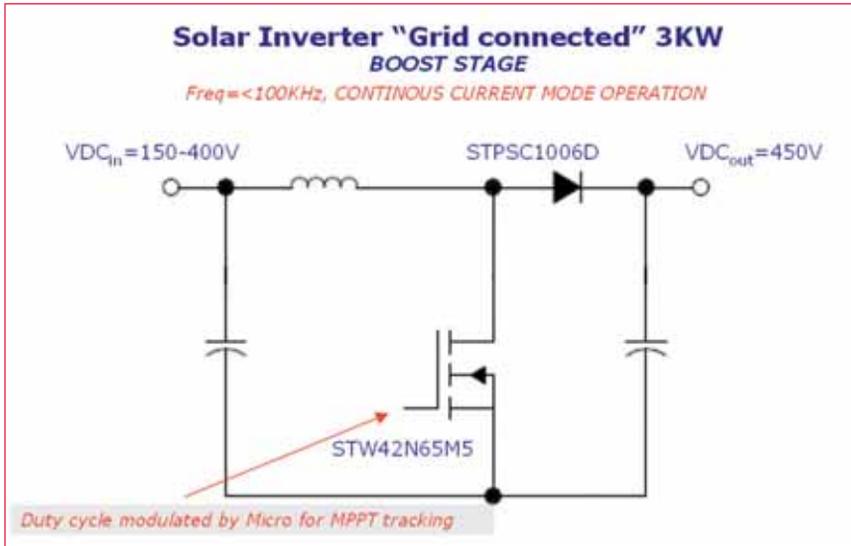


Fig. 7 – Efficienza dello stadio BOOST in funzione della potenza di uscita con $V_{in} = 200V$

ne anche una bassa emissione di disturbi e una grande affidabilità. La velocità di commutazione è stata fissata a 800 A/ μ s allo scopo di tenere sotto controllo le emissioni elettromagnetiche dell'applicazione, ma i MOSFET e i diodi SiC sono stati provati fino a dI/dt di 2000 A/ μ s senza riscontrare fallimenti. In questo caso si massimizza l'efficienza del convertitore in quanto si abbassano ulteriormente le perdite dovute alle commutazioni. Il BOOST è controllato da microprocessore per implementare la funzione di MPPT (Maximum Power Point Tracking).

L'MPPT si propone di far lavorare il pannello fotovoltaico sempre al suo massimo punto di carico allo scopo di aumentare l'efficienza del sistema di produzione di energia.

Nella pratica, il microprocessore misura la potenza generata istantaneamente dal

pannello V*I e aggiusta di conseguenza il PWM del BOOST in modo da caricarlo opportunamente e ricercare il punto di carico con maggiore potenza possibile (Fig. 5).

Lo schema semplificato dello stadio BOOST del prototipo è visibile in figura 6. La potenza di questo prototipo è di 3 KW, la frequenza di switching a cui lavora è 100 KHz.

Da notare le similitudini di questo blocco con lo schema di principio di un PFC (power factor corrector).

La differenza maggiore sta nel fatto che il convertitore solare lavora con tensioni di ingresso continue e non pulsanti come un PFC classico.

Le misure di efficienza (Fig. 7) sono state effettuate con una $V_{in}=200V$, condizione operativa più gravosa per diodi e MOSFET a causa delle maggiori correnti in gioco rispetto a tensioni di lavoro più alte.

Nelle tabelle 1 e 2 sono mostrati i principali parametri elettrici dei dispositivi utilizzati nel convertitore.

In figura 7 viene mostrato il recovery tipico riscontrato in applicazione alla potenza di circa 1800W di carico; si noti che il dI/dt è circa 800A/ μ s, condizione operativa difficilmente approcciabili con diodi in silicio.

In verde la corrente Math1 totale dei

due MOSFET. In azzurro, CH4, la corrente I_f totale sui diodi SiC. In rosso, CH3, la tensione di drain sul MOSFET. In questo articolo è stata presentata una topologia (e schema o blocchi) di convertitore che impiega MOSFET a supergiunzione da 650V e diodi SiC per la realizzazione di un inverter da 3KW "grid connected" ad alte prestazioni. Si è esposto in dettaglio il funzionamento del front-end (BOOST) di tale convertitore, stadio che risulta comune alla maggioranza dei convertitori solari in commercio.

I risultati delle misure hanno evidenziato che le nuove famiglie di MOSFET a supergiunzione consentono di ottenere un'altissima efficienza (che supera il 97% al MPPT), nei sistemi di conversione dell'energia solare, con una densità di potenza molto alta.

Grazie all'estrema ottimizzazione dei MOSFET utilizzati in questo progetto, questi possono essere montati in TO220 per realizzare convertitori molto compatti. Si è visto che grazie all'utilizzo combinato di MOSFET veloci e diodi SiC è possibile alzare le velocità e frequenza di commutazione, allo scopo di minimizzare le dimensioni dei componenti passivi (capacità, induttori e trasformatori).

Nonostante l'aumento della velocità di commutazione, i picchi di corrente durante il recovery dei diodi SiC rimangono molto contenuti, e con basso ringing e di conseguenza con ridotte emissioni elettromagnetiche EMI, rispetto alla soluzione con diodi al silicio nelle stesse condizioni operative.

Si è dimostrato infine quanto risulti problematico se non impossibile utilizzare normali diodi al silicio in questa applicazione e con queste velocità operative.