



FARE Elettronica magazine:
ogni mese, il meglio di quanto pubblicato online

Puntiamo alla
sostenibilità ambientale!

Per realizzare questo
magazine non sono
stati abbattuti alberi



FOCUS
Innovazioni nelle misure a
radiofrequenza e microonde

IN EVIDENZA
Il Bluetooth 6.0 potenzia le
applicazioni di Distance-Ranging

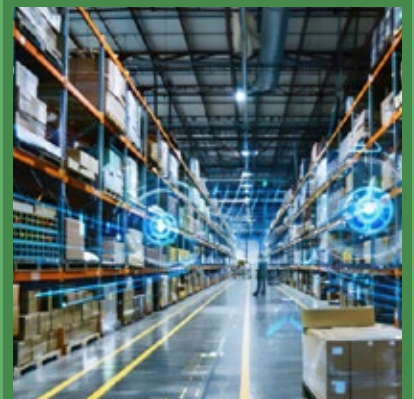
MERCATO:
Supply chain elettronica 2026:
crisi e strategie di sourcing

SOLUZIONI:
Shunt analogici per misure precise

TECNOLOGIE:
Il Nitruro di gallio nell'audio
professionale



GIULIO MARIA CAMPAGNARO
Business Development Manager Anritsu





Acceleriamo l'innovazione!

Circuiti stampati affidabili e sicuri.

HI-TECH, ELETTRONICA, AUTOMOTIVE, CORSA ALLO SPAZIO...
I CIRCUITI STAMPATI TRACCIANO IL PERCORSO DELL'INNOVAZIONE.

SAFE-PCB è un riferimento unico e d'esperienza in tutto il processo di **produzione di circuiti stampati**, realizzati in prototipi e **serie di alta qualità**.

La **fabbrica ultra-moderna**, nel cuore della più grande area al mondo di produzione PCB, garantisce innovazione e precisione.

Grazie al nostro **configuratore online**, potrai personalizzare facilmente i tuoi circuiti stampati, secondo le tue esigenze. Le **consegne rapide, in 8 giorni standard**, e un team di commerciali e tecnici italiani, sempre pronto ad assisterti, rendono **SAFE-PCB la scelta ideale** per chi cerca qualità ed efficienza.



QUALITY, SERVICE, PRICE...
WHAT ELSE?
www.safe-pcb.com

SAFE[®]

Supply Chain Elettronica 2026: shortage, crisi e strategie di sourcing

AUTORE: Ivan Scordato

PRIMO TRIMESTRE 2026.

Il mercato dei componenti elettronici non è in crisi generalizzata. E forse è proprio questo il problema. Non siamo nel 2021, quando non si trovava nulla. Oggi il quadro è diverso: shortage mirati su componenti specifici, rincari che non dipendono dalla domanda ma dai costi a monte, e una geopolitica che si traduce in problemi operativi concreti per chi gestisce acquisti e produzione. Vediamo cosa sta succedendo, dove conviene stare attenti e cosa si può fare.

SHORTAGE MEMORIE DRAM E DDR5: IL COLLO DI BOTTIGLIA DEL 2026

Se c'è un componente che definisce la supply chain elettronica nel 2026, è la

memoria. E non si tratta di un ciclo passeggero.

LEAD TIME OLTRE LE 40 SETTIMANE
I lead time delle DRAM (DDR4 e DDR5) hanno raggiunto 26-40+ settimane.

Micron è messa peggio, con ritardi oltre le 39 settimane. **Samsung DDR4** sta su 16-20 settimane, prezzi in salita.

Il prezzo spot delle DDR5? +307% rispetto a settembre 2025.

S&P Global Mobility prevede prezzi DRAM in crescita del 70-100% nell'arco del 2026. I tre grandi produttori sono già in larga parte sold-out.

PERCHÉ MANCA LA MEMORIA: L'EFFETTO AI SULLA SUPPLY CHAIN
I produttori di memoria (Micron, SK Hynix, Samsung) stanno spostando

wafer start verso la **High Bandwidth Memory (HBM)**, quella che serve ai chip AI per data center. La capacità che resta per la DRAM di schede industriali, controller e sistemi embedded si riduce.

Chi con l'AI non ha nulla a che fare, paga comunque il conto.

A complicare ulteriormente il quadro, il phase-out delle DDR4. Le scorte si stanno esaurendo mentre molti design industriali le richiedono ancora. Chi non ha pianificato last-time buy o migrazione a DDR5, adesso ha un problema.

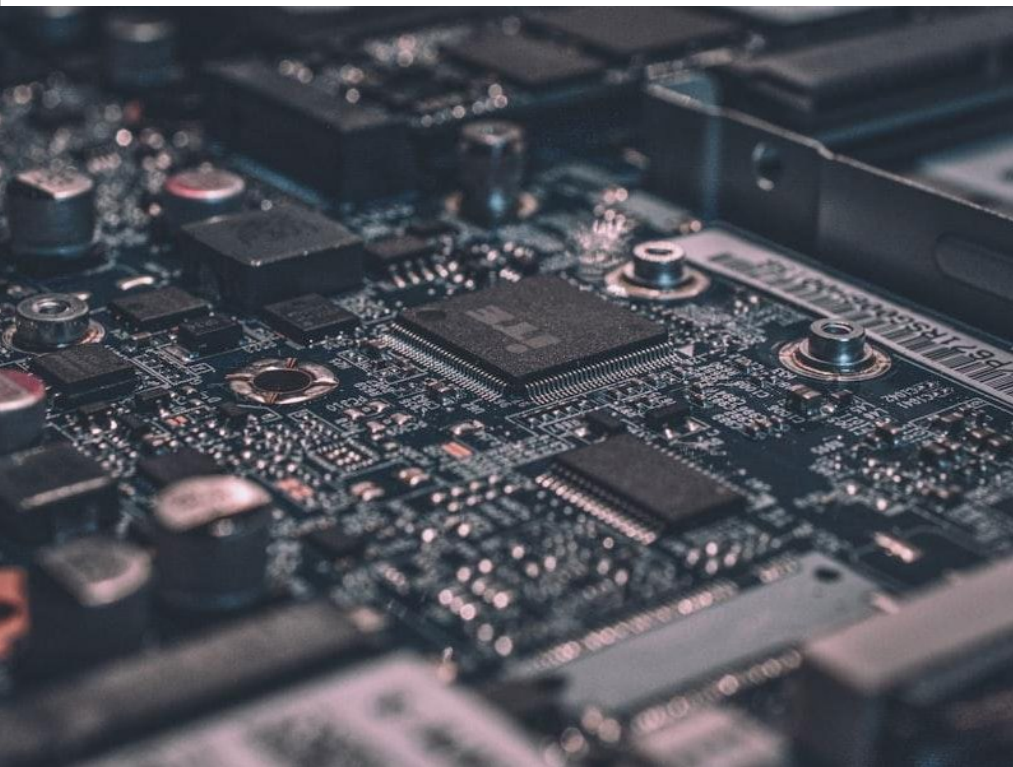
CRISI NEXPERIA E COMPONENTI DISCRETI: UNA SUPPLY CHAIN SPEZZATA

Secondo fronte: diodi, MOSFET, transistor, IGBT.

Nexperia controlla circa il 40% del mercato globale di transistor e diodi. Il 60% della produzione va all'automotive. A settembre 2025 il governo olandese ha invocato poteri di emergenza per strapparla alla cinese **Wingtech**. Pechino ha risposto bloccando l'export. Risultato: due entità separate che non si parlano. L'unità olandese ha interrotto le spedizioni di wafer verso la Cina. Quella cinese sta cercando fornitori domestici per coprire la produzione IGBT del 2026. A inizio marzo 2026 la situazione si è riacutizzata: la sede olandese ha **disabilitato gli account IT** dei dipendenti cinesi, e Pechino ha minacciato una **nuova crisi globale dei chip**.

IMPATTO SU LEAD TIME E SOURCING COMPONENTI

Honda ha sospeso la produzione in alcuni stabilimenti. Bosch ha ridotto le



ore nel suo impianto di centraline. La VDA tedesca avverte che i rischi restano alti per tutto il Q1 2026.

Per chi produce in Italia: i lead time su MOSFET, diodi e transistor small-signal si sono estesi di 6-8 settimane oltre la norma. Chi ha design che dipendono da Nexperia deve qualificare alternative (Onsemi, Diodes Inc., Infineon, Vishay). Non domani. Adesso.

PASSIVI E ANALOGICI:

LA MERCE C'È, MA COSTA DI PIÙ

Fuori da memoria e discreti, il mercato a inizio 2026 fa una cosa strana: la disponibilità è buona ma i prezzi salgono lo stesso. Il report Lytica di gennaio 2026 registra stock sopra il 93% nella maggior parte delle categorie. Eppure.

COSA STA SPINGENDO I PREZZI

I costi dei wafer, saliti a fine 2025, stanno entrando nei contratti. Rame e litio restano alti. Il Q1 è la finestra classica di rinnovo listini, e i fornitori ne approfittano.

Qualche numero: power MOSFET e IGBT +5%, IC analogici e lineari +4%,

cavo e wiring +9% (il rame pesa).

Panasonic ha annunciato rincari sui condensatori POSCAP dal 1° febbraio 2026. Le MLCC ad alta temperatura per decoupling GPU AI crescono del 45% anno su anno. Chi lavora con semiconduttori di potenza dovrebbe monitorare.

Per procurement e operations: i margini d'errore si riducono. Un contratto in rinnovo nel Q1 potrebbe arrivare con un listino più alto di quanto preventivato.

DAZI, TERRE RARE E CHIPS ACT: IL CONTESTO GEOPOLITICO RAPIDO

Dietro ai problemi operativi c'è un quadro geopolitico che conviene conoscere, almeno a grandi linee.

- **Dazi USA.**

A febbraio 2026 la Corte Suprema ha dichiarato incostituzionali i dazi IEEPA. Nuove tariffe del 10-15% sono arrivate via Section 122, ma scadono a luglio. I dazi al 25% sui semiconduttori AI restano. Per l'industria elettronica italiana, che nel primo semestre 2025 ha aumentato

l'export USA del 12%, pianificare i costi è diventato un esercizio di fantasia.

- **Terre rare cinesi.**

La Cina controlla oltre l'80% della fornitura globale, quasi il 100% per elementi pesanti come il disprosio (magneti permanenti, motori, sensori). Le restrizioni all'export sono state parzialmente sospese, ma la dipendenza non si cancella con un accordo temporaneo. L'UE ha attivato il Regolamento sulle Materie Prime Critiche, con obiettivi al 2030. Lontani.

- **European Chips Act.**

Oltre 69 miliardi mobilitati. In Italia, il SiC Campus STMicroelectronics a Catania (5 miliardi) produce già wafer SiC da 200mm. Per la filiera dei semiconduttori, il sourcing locale inizia a essere un'opzione concreta.

CINQUE MOSSE PER METTERE IN SICUREZZA IL SOURCING NEL 2026

- **Mappare le dipendenze nella BOM**
Quali componenti della distinta base sono a rischio? Memorie DDR4/DDR5, discreti Nexperia, POSCAP Panasonic. Strumenti di BOM risk management come Z2Data, Datalynq o SiliconExpert monitorano lead time, obsolescenza e alternative in tempo reale. Senza questi dati si naviga a vista.

- **Qualificare alternative prima che servano**
Per i discreti: Onsemi, Diodes Inc., Infineon, Vishay come sostituti Nexperia. Per la memoria: valutare DDR5 dove il design lo consente, negoziare last-time buy sulle DDR4, avere almeno due fonti. Una qualifica automotive richiede mesi. Chi aspetta giugno, rischia di restare scoperto.

- **Scorte strategiche, non panic buying**
Il just-in-time puro, in questo mercato, è una scommessa. Un buffer di 8-12 settimane su memorie, power discrete e condensatori tantalio po-



limero può evitare un fermo linea. Se il magazzino non è un'opzione, il consignment stock con i distributori funziona.

- **Negoziare i contratti prima, non durante il rinnovo**

Diversi rincari sono già in vigore. Chi ha contratti in scadenza nel primo semestre 2026 faccia bene a fissare prezzi su base semestrale o annuale, con clausole legate a indici di materia prima. Aspettare il rinnovo automatico vuol dire accettare i nuovi listini senza discussione.

- **Portare visibilità nella supply chain**

L'AI applicata alla supply chain è già realtà operativa: l'87% delle imprese la usa per il demand forecasting, con miglioramenti di accuratezza sopra il 35%. Ma si può partire anche da meno: un cruscotto che aggrega dati da ERP, fornitori e mercato in un'unica vista. Chi ha programmi di risk management attivi spende circa la metà in gestione delle interruzioni rispetto a chi reagisce a posteriori.

**DESIGN FOR AVAILABILITY:
IL RUOLO DELL'R&D NELLA
RESILIENZA DELLA SUPPLY CHAIN**

Questo tocca direttamente chi progetta. Quando la supply chain è volatile, le scelte fatte sulla BOM in fase di design pesano sulla produzione per mesi.

La regola base: almeno due fornitori qualificati per ogni componente critico. Controllare lo stato del ciclo di vita di ogni part number (active, NRND, last-time buy, obsolete). Un design che si appoggia su un singolo fornitore MOSFET o su una DDR4 in dismissione nasce già fragile.

Per i nuovi prodotti, la **transizione DDR4 -> DDR5 va pianificata adesso**. Vale anche per le tecnologie wide bandgap SiC e GaN nei design di potenza: l'ecosistema produttivo europeo



sta crescendo e la supply chain SiC si accorcia.

Un punto spesso trascurato: la collaborazione tra engineering e procurement. Un progetto PCB medio richiede quasi 3 re-spin. Molti dipendono da componenti scelti che poi risultano non disponibili.

Basta una verifica incrociata con l'ufficio acquisti prima di congelare la BOM, o integrare dati di supply chain aggiornati nel flusso di progettazione, per tagliare re-spin e time-to-market.

**OUTLOOK H2 2026:
COSA ASPETTARSI NELLA
SUPPLY CHAIN ELETTRONICA**

La pressione sui prezzi della memoria continuerà almeno fino a metà anno. Probabilmente oltre: SK Hynix parla di supply tight fino al 2028. La domanda HBM non rallenta. Il phase-out DDR4 è irreversibile. Per i discreti, tutto dipende dalla vicenda Nexperia. Se la frattura si consolida (e a oggi non ci sono segnali diversi), il mercato transistor e diodi dovrà redistribuire le quote tra competitor. Ci vorranno 6-12 mesi. Sul fronte normativo, **attenzione al CBAM** (Carbon Border Adjustment

Mechanism), in fase definitiva dal 1° gennaio 2026. La Commissione ha proposto di estenderlo a circa 180 prodotti a valle, inclusi macchinari e apparecchiature elettriche. Per chi importa materiali coperti, i costi di compliance vanno messi a budget adesso. Chi si occupa di produzione sostenibile nell'elettronica ne sarà direttamente coinvolto.

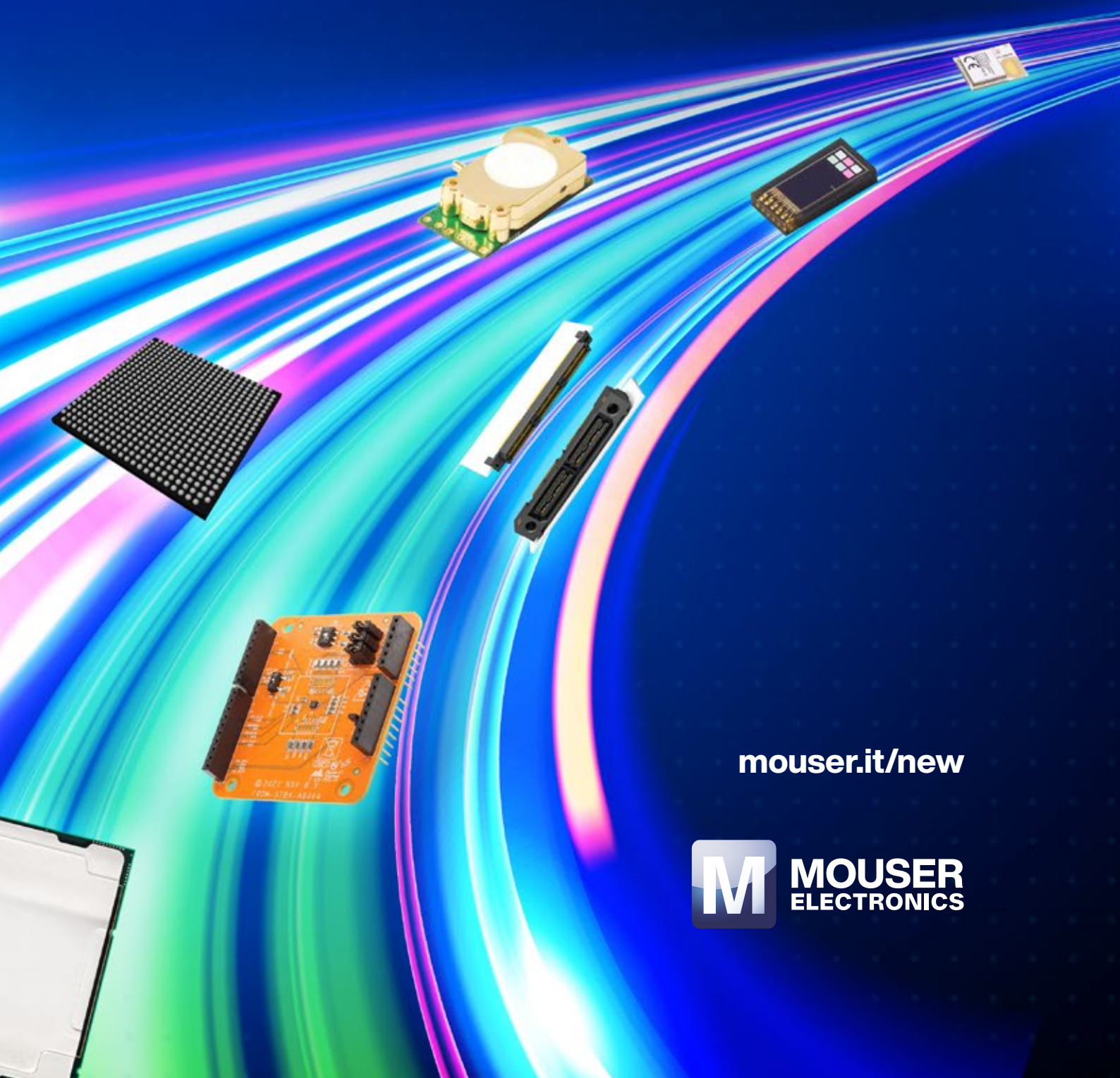
Ultima nota: il 56% delle aziende ANIE segnala ancora criticità nella supply chain. Il reshoring sarebbe una risposta logica, ma la carenza di tecnici specializzati in Italia resta il freno più sottovalutato. Puoi anche riportare la produzione qui, se non trovi chi la manda avanti.

IN SINTESI

La supply chain elettronica del 2026 non è in emergenza globale. Ma è piena di trappole selettive: memoria, discreti e passivi di nicchia. La geopolitica aggiunge volatilità a un mercato che già di suo non sta fermo. Le aziende che se la cavano meglio sono quelle che sanno cosa hanno nella BOM, hanno già le alternative pronte e non aspettano che il problema si presenti per reagire.

A tutta velocità

Affidatevi al leader nell'introduzione di nuovi prodotti™ per passare dall'idea al prototipo alla velocità della luce



[mouser.it/new](https://www.mouser.it/new)



Il Bluetooth 6.0 potenzia le applicazioni di Distance-Ranging

A CURA: Technical Resource Center di Mouser Electronics

Il Bluetooth Special Interest Group (SIG) continua ad ampliare il campo applicativo di una tecnologia wireless a corto raggio nata inizialmente per il mondo consumer. Progettata in origine per collegare in modalità wireless le periferiche ai computer host, la tecnologia Bluetooth® è diventata nel tempo una soluzione praticamente onnipresente per garantire connettività wireless affidabile e a basso consumo. Anche il supporto quasi universale da parte degli smartphone ha contribuito in modo decisivo alla sua diffusione.

L'uso del Bluetooth si è esteso alla sanità, all'elettronica di consumo, all'audio, all'industria e a molti altri ambiti applicativi. Nonostante una diffusione notevole - il Bluetooth SIG ha visto circa 5,9 miliardi di dispositivi spediti nel 2025 - i risultati in alcuni settori target sono stati meno brillanti del previsto.^[1] Un'area degna di nota è quella del posizionamento dei dispositivi e dei servizi di localizzazione.

I nuovi miglioramenti introdotti nel protocollo con il Bluetooth 6.0 dovrebbero spingere gli ingegneri a utilizzare questa tecnologia per sviluppare prodotti più evoluti dedicati al posizionamento e alla localizzazione. Il Bluetooth SIG prevede infatti un tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 22%, fino a raggiungere 563 milioni di dispositivi per servizi di localizzazione entro il 2028.^[2]

IL SUPPORTO INIZIALE AL DISTANCE RANGING BLUETOOTH

In teoria, la connettività wireless può



essere utilizzata per localizzare oggetti smarriti. Basta pensare alle chiavi finite tra i cuscini del divano. Se le chiavi sono collegate a un tag wireless, lo smartphone può indicare rapidamente da dove iniziare la ricerca. In ambito industriale, invece, le reti wireless mesh possono aiutare gli operatori a individuare rapidamente merci e materiali sugli scaffali di magazzino. In pratica, però, realizzare applicazioni di questo tipo è tutt'altro che semplice. Fenomeni come il **multi-path fading** e le interferenze generate da altri ricetrasmittitori a 2,4GHz presenti nelle vicinanze compromettono l'integrità del segnale e riducono l'accuratezza della localizzazione.

Il Bluetooth SIG aveva già tentato in passato di introdurre nel proprio protocollo RF funzionalità di **distance ranging** e **supporto al posizionamento dei dispositivi**. Il primo approccio si basava sull'utilizzo del parametro di trasmissione (TX), che forniva un livello di potenza di riferimento a un metro dal dispositivo trasmittente, per ricavare un **RSSI**

(Received Signal Strength Indicator).

Poiché l'intensità del segnale RF diminuisce in modo inversamente proporzionale alla distanza tra due dispositivi radio, può essere usata per ottenere una stima approssimativa della distanza. Questa tecnica è utile per individuare oggetti nelle vicinanze, ma determinare la direzione di un oggetto rispetto a un altro è un problema ben più complesso.

Nel 2019, il Bluetooth Direction Finding - adottato con la ratifica del **Bluetooth v5.1** - ha migliorato il posizionamento dei dispositivi Bluetooth e le capacità di distance ranging. Questa tecnica consente alle applicazioni di calcolare la direzione di un segnale ricevuto sfruttando misure di fase effettuate dal controller **Bluetooth Low Energy**. Sono stati definiti due metodi: **Angle of Arrival (AoA)** e **Angle of Departure (AoD)**.

Sebbene il Bluetooth Direction Finding offra buone prestazioni, la sua implementazione richiede una notevole esperienza progettuale.

I design risultano complessi e possono essere costosi. Per questo motivo, la tecnologia è rimasta confinata principalmente ad applicazioni di fascia alta, come il tracciamento di beni ad alto valore, invece di essere adottata su larga scala in applicazioni più comuni.

LE NOVITÀ DEL BLUETOOTH 6.0

La recente introduzione del Bluetooth 6.0 ha portato diversi miglioramenti rilevanti al protocollo, tra cui:

- **decision-based advertising filtering**, una nuova funzionalità che consente a un dispositivo in scansione di usare le informazioni ricevute dal canale di advertising primario per stabilire se valga la pena cercare pacchetti correlati sui canali secondari;
- **monitoring advertisers**, che consente al controller Bluetooth Low Energy di filtrare i pacchetti di advertising duplicati secondo le istruzioni ricevute dal componente host di un dispositivo observer;
- miglioramento dell'**Isochronous Adaptation Layer (ISOAL)**, che permette di trasmettere frame di dati più grandi utilizzando pacchetti del link layer più compatti;
- un **set esteso di funzionalità del link layer**, che aumenta il numero di funzioni del livello di collegamento sulle quali i dispositivi possono scambiarsi informazioni;
- un aggiornamento della **spaziatura dei frame (IFS - Inter-Frame Space)**, che abilita una spaziatura flessibile tra connessioni adiacenti usata con i pacchetti degli eventi di connessione o con gli eventi dei flussi isocroni connessi.

Il miglioramento più importante del Bluetooth 6.0 è però l'introduzione del Bluetooth Channel Sounding, che aumenta in modo significativo la precisione di tutte le tecniche Bluetooth precedenti per la misura della distanza.

La specifica aggiornata definisce nuove

funzionalità del livello radio (PHY), del controller, misure di sicurezza e procedure necessarie per raccogliere i dati grezzi di misura.

NUOVE TECNICHE CHE SEMPLIFICANO IL POSIZIONAMENTO DEI DISPOSITIVI

Il Channel Sounding introduce due soluzioni semplici e affidabili per le applicazioni di distance ranging: **Phase-Based Ranging (PBR)** e **Round-Trip Timing (RTT)**. Entrambe sono standardizzate e interoperabili e possono essere supportate anche da dispositivi molto semplici oppure integrate in prodotti più evoluti senza costi hardware aggiuntivi e con modifiche software minime.

Il PBR sfrutta lo sfasamento di fase di un segnale inviato dal dispositivo iniziatore e ritrasmesso dal dispositivo reflector su più frequenze. La conversione dei dati in distanza viene eseguita tramite algoritmi dedicati a livello applicativo. La tecnica RTT, invece, si basa sul tempo impiegato dai pacchetti radio per compiere il tragitto di andata e ritorno tra l'iniziatore e il reflector. L'RTT agisce come tecnica sicura di **distance bounding**, utile per verificare i risultati del PBR, e gli algoritmi impiegati per il calcolo della distanza sono più semplici rispetto a quelli richiesti dal PBR.

Sia nel caso del PBR sia in quello dell'RTT, il consumo energetico resta in genere paragonabile a quello di un normale trasferimento dati tramite Bluetooth Low Energy.

Inoltre, il Channel Sounding supporta diverse opzioni di configurazione hardware e software per ottimizzare accuratezza, latenza, sicurezza e consumo energetico.

NUOVE APPLICAZIONI ALL'ORIZZONTE

Il Channel Sounding renderà più semplice per una nuova generazione di sviluppatori progettare applicazioni di

posizionamento dei dispositivi e distance ranging, tra cui i seguenti possibili esempi:

- **Asset tracking**: il Channel Sounding promette maggiore precisione, flessibilità, affidabilità e praticità nelle applicazioni di misura della distanza e localizzazione, senza introdurre complessità progettuale o costi significativi.
- **Smart lock**: la sicurezza migliorerà perché la posizione della persona che desidera utilizzare la serratura potrà essere determinata con maggiore accuratezza. Le serrature intelligenti beneficeranno inoltre di una protezione robusta contro gli attacchi man-in-the-middle e gli attacchi relay.
- **Tracking tag**: le attuali soluzioni basate su tag funzionano bene, ma la vibrazione o il segnale acustico emessi quando vengono attivati possono essere attenuati da elementi come cuscini o coperte. Il Channel Sounding consentirà avvisi di prossimità precisi anche su distanze maggiori, superando i limiti degli allarmi sonori o vibranti.
- **Appliance**: le informazioni sul contesto fisico fornite dal Channel Sounding saranno utili quando si lavora con più dispositivi e aiuteranno anche le funzioni di sicurezza che attivano i controlli solo quando l'utente si trova vicino all'apparecchio.

CONCLUSIONE

Il Bluetooth Low Energy continua a espandersi in nuove applicazioni consumer, sanitarie, di automazione industriale e smart home, oltre che in molti altri settori.

Dopo una partenza lenta, il comparto della localizzazione promette prospettive economiche molto interessanti. La tecnologia Channel Sounding introdotta con il Bluetooth 6.0 apre la strada a un'ampia gamma di possibili applicazioni di distance ranging e localizzazione, inclusi dispositivi più avanzati per l'asset tracking, smart lock, tag e appliance.

Il nitruro di gallio nell'audio professionale: implementazione a livello di sistema e implicazioni progettuali

AUTORE: Maurizio Di Paolo Emilio

A causa dei severi requisiti di affidabilità, durata operativa e prestazioni affidabili a lungo termine, il settore dell'audio professionale adotta solitamente le nuove tecnologie dei semiconduttori in modo graduale. Tuttavia, grazie alle loro caratteristiche di distorsione ridotta ed elevata efficienza di commutazione, i transistor al nitruro di gallio (GaN) stanno diventando sempre più popolari negli amplificatori audio di classe D.

Iniziando lo sviluppo nel 2020 in collaborazione con Efficient Power Conversion (EPC), Innosonix è stata una delle prime aziende a utilizzare dispositivi GaN nei propri prodotti.

SELEZIONE DEI DISPOSITIVI E REQUISITI ELETTRICI

Le prime piattaforme basate su GaN sviluppate da Innosonix erano destinate alla fascia di potenze comprese tra 50 e 300 W per canale, con rail di tensione di circa ± 60 V. I FET eGaN da 150 V di EPC, in particolare l'EPC2059, fornivano il margine di tensione richiesto e prestazioni dinamiche adeguate.

Le proprietà elettriche - bassa resistenza, bassa capacità di uscita e accumulo di carica minimo - hanno consentito un miglioramento significativo del comportamento di commutazione senza alterare la topologia del sistema.

A differenza dei fornitori tradizionali di dispositivi al silicio, EPC ha fornito una documentazione pubblica completa, dati di affidabilità e indicazioni applicative,

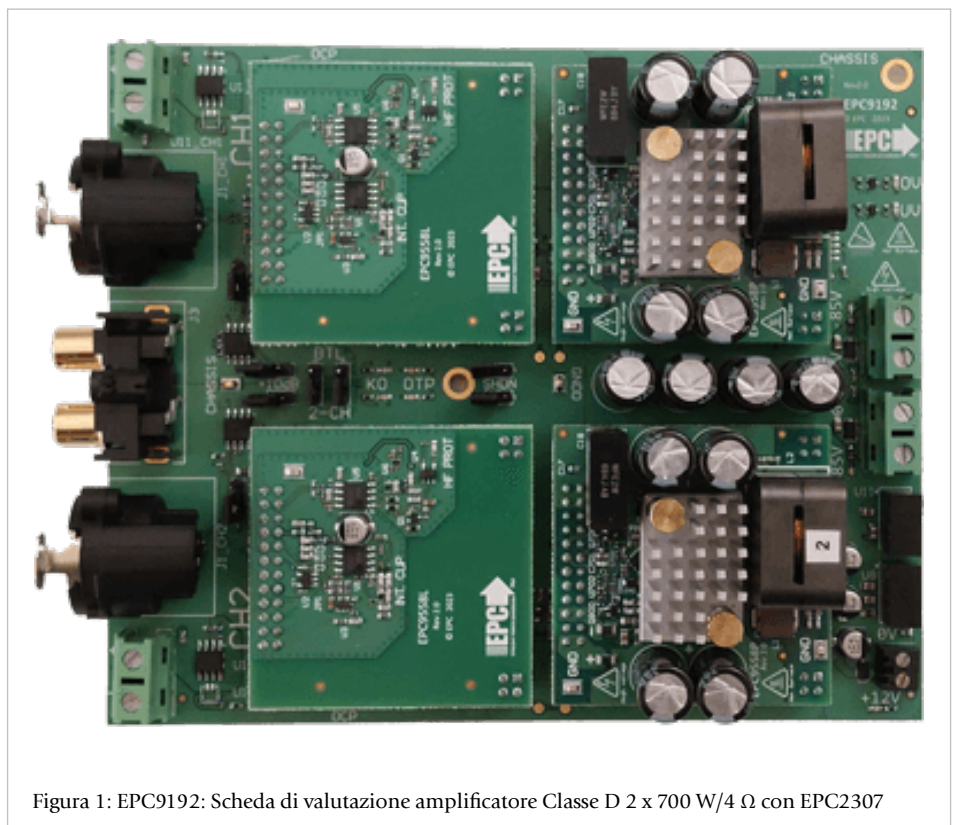


Figura 1: EPC9192: Scheda di valutazione amplificatore Classe D 2 x 700 W/4 Ω con EPC2307

semplificando la validazione iniziale del progetto e l'analisi dei guasti.

Questa trasparenza ha ridotto la tipica incertezza associata alle nuove tecnologie dei dispositivi e ha abbreviato la fase di qualifica.

CARATTERISTICHE ELETTRICHE RILEVANTI PER GLI AMPLIFICATORI DI CLASSE D

Negli stadi di uscita di classe D, la velocità di commutazione dei transistor e le perdite legate alla carica influenzano direttamente la distorsione e l'efficienza.

Rispetto ai MOSFET al silicio, i FET GaN presentano:

- Tempi di transizione di accensione e spegnimento più brevi
- Carica di recupero inverso trascurabile
- Carica di gate (Qg) inferiore per un dato valore di RDS(on)
- Bassa capacità di uscita (Coss)
- Induttanza parassita ridotta grazie al packaging compatto

Questi parametri consentono ai dispositivi GaN di operare a frequenze di commutazione più elevate con dead time più brevi, riducendo la distorsione causata dal ritardo di propagazione e dagli effetti

Figura 2: Amadeus Acoustics nel teatro di Vienna



Poiché i segnali musicali presentano un fattore di cresta elevato caratterizzato da picchi brevi e corrente media più bassa, il carico termico è dominato dagli eventi di commutazione piuttosto che dalle fasi di conduzione. Dispositivi come l'EPC2207 sono quindi selezionati per canali a bassa e media potenza, mentre i dispositivi EPC2307 sono utilizzati per progetti di potenza maggiore.

Il controllo del fronte di commutazione è essenziale per il funzionamento stabile del sistema. Un dv/dt eccessivo può ricollegarsi alle sezioni del modulatore analogico e influire sulle prestazioni del rumore. Pertanto, viene inclusa una resistenza di gate aggiuntiva per rallentare leggermente le transizioni, mantenendo una velocità di fronte adeguata senza introdurre problemi di interferenza elettromagnetica.

Anche i valori di dead time sono impostati in modo conservativo per ridurre al minimo le perdite di potenza inattiva, poiché l'efficienza totale in standby è un vincolo pratico di progettazione nelle installazioni con funzionamento continuo.

A livello meccanico, i progetti successivi sono passati dai FET GaN su chip ai FET GaN in package QFN. Il profilo QFN migliora la robustezza a livello di scheda e semplifica l'assemblaggio,

mantenendo bassi gli elementi parassiti. Osservare le raccomandazioni documentate da EPC relative al layout e allo stencil è stato fondamentale per ottenere un'affidabilità ripetibile dei giunti di saldatura e l'integrità termica.

INTEGRAZIONE DI SISTEMA E PRESTAZIONI TERMICHE

Le attuali piattaforme Innosonix sono tutte basate su GaN. Come si può vedere dall'architettura di progettazione della gamma LP², essa consente fino a 32 canali di amplificazione in un unico chassis 1U.

Nonostante l'elevata densità dei canali, la potenza totale in standby rimane inferiore a 100 W, riducendo significativamente la generazione di calore e le esigenze di raffreddamento. Rispetto a soluzioni simili basate sul silicio, il risultato è un sistema di dimensioni più ridotte e più stabile in termini di temperatura.

La minore dissipazione termica rende l'intero sistema più affidabile e consente di utilizzarlo in spazi ristretti come rack teatrali e installazioni marine. Una minore necessità di raffreddamento comporta anche un minor consumo energetico a livello di sistema (Figure 1-3).

di recupero dei diodi. I progetti di riferimento resi disponibili da EPC mostrano un THD+N inferiore allo 0,005% e un SNR superiore a 120 dB, indicando che il comportamento del dispositivo supporta implementazioni di classe D ad alta fedeltà.

OTTIMIZZAZIONE DEL PROGETTO

Il design del canale dell'amplificatore di Innosonix dà priorità alla riduzione delle perdite di commutazione piuttosto che a quelle di conduzione, riflettendo le caratteristiche del segnale tipiche dell'amplificazione audio.





Figura 3: Sistema Audio installato nel Teatro di Vienna

CONSIDERAZIONI SULL’AFFIDABILITÀ

Piuttosto che alle modalità di guasto dei dispositivi, le deviazioni iniziali di affidabilità sono state attribuite alle variazioni nel processo di assemblaggio. La sensibilità al controllo del volume di saldatura e alla geometria dell’apertura dello stencil è stata dimostrata dai primi prototipi. Una volta ottimizzati questi parametri, la robustezza dei dispositivi in condizioni di cicli termici e sovraccarico ha soddisfatto le aspettative. Dopo molte ore di funzionamento sul campo, i test a lungo termine hanno verificato il funzionamento stabile.

Ad oggi, Innosonix ha implementato circa 25.000 canali basati su GaN. L’esperienza sul campo e i risultati dei test accelerati sono in linea con i dati di affidabilità pubblicati da EPC, indicando l’assenza di meccanismi di guasto sistematici relativi ai dispositivi stessi.

PROSPETTIVE

I futuri progetti di Innosonix estenderanno l’utilizzo dei dispositivi GaN oltre l’amplificazione di potenza verso gli stadi di alimentazione, compresi i convertitori LLC risonanti e le topologie PFC multilivello. Dispositivi come l’EPC2304 sono in fase di valutazione per queste applicazioni. Il comportamento elettrico coerente e il supporto all’integrazione offerti dai dispositivi EPC facilitano questa convergenza a livello di sistema.

L’integrazione dei dispositivi GaN nell’audio professionale dimostra miglioramenti quantificabili in termini di efficienza, densità di potenza e prestazioni termiche. Sebbene i miglioramenti nella distorsione udibile siano secondari, l’architettura complessiva del sistema beneficia di un numero ridotto di componenti, involucri più piccoli e una maggiore stabilità operativa,

caratteristiche direttamente associate alle proprietà fisiche dei dispositivi a semiconduttori utilizzati.

Riferimenti:

- [1] EPC Corporation, “GaN for Audio”
- [2] Innosonix GmbH, “Pioneering GaN Amplifier Technology Since 2020”
- [3] Tiziano Morganiti, EPC Corporation, “Next generation Audio Amplifiers with EPC GaN FETs”
- [4] Alex Lidow, Michael de Rooij, John Glaser, Alejandro Pozo Arribas, Shengke Zhang, Marco Palma, David Reusch, Johan Strydom, “GaN Power Devices for Efficient Power Conversion”, Fourth Edition

Shunt analogici per misure precise

Le soluzioni shunt ad alta precisione vanno oltre la semplice fornitura di elementi resistivi: integrano punti di prelievo della tensione e contatti, personalizzati per soddisfare diversi requisiti applicativi. Il sensore analogico con PCB è uno shunt a barra (busbar) che può essere adattato alle esigenze specifiche del cliente oppure scelto dal portafoglio prodotti standard. Questa soluzione innovativa incorpora un circuito stampato (PCB) saldato, consentendo il prelievo diretto del segnale di misura mantenendo elevata precisione e affidabilità.

I resistori di precisione e di misura presenti nel portafoglio di CODICO vengono sempre utilizzati quando è richiesta qualità, in modo da soddisfare sia requisiti standardizzati sia specifici dell'applicazione. Scopri di più sui nostri resistori shunt.

Le soluzioni shunt analogiche di ISABELLENHÜTTE offrono precisione e affidabilità, rendendole la scelta ideale per la misurazione accurata della corrente in applicazioni impegnative. Ogni shunt è dotato di un numero di serie univoco e della data di produzione, garantendo una completa tracciabilità. Inoltre, i valori di resistenza misurati e il coefficiente di temperatura della resistenza nominale (TCR) sono memorizzati nel codice DMC, fornendo dati essenziali per un monitoraggio preciso delle prestazioni.

Un altro vantaggio chiave di questo design è l'integrazione di NTC (termistori a coefficiente di temperatura negativo) sul PCB, che consente il monitoraggio in tempo reale della temperatura e la compensazione delle variazioni di resistenza legate alla temperatura. Di conseguenza, il sensore analogico supporta efficacemente due funzioni critiche del sistema di gestione della batteria (BMS): la misurazione della

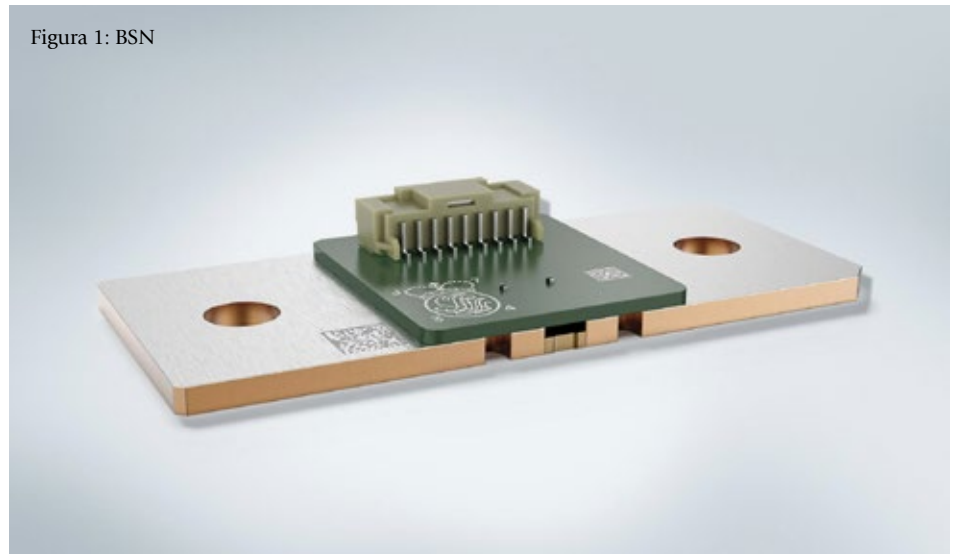


Figura 1: BSN

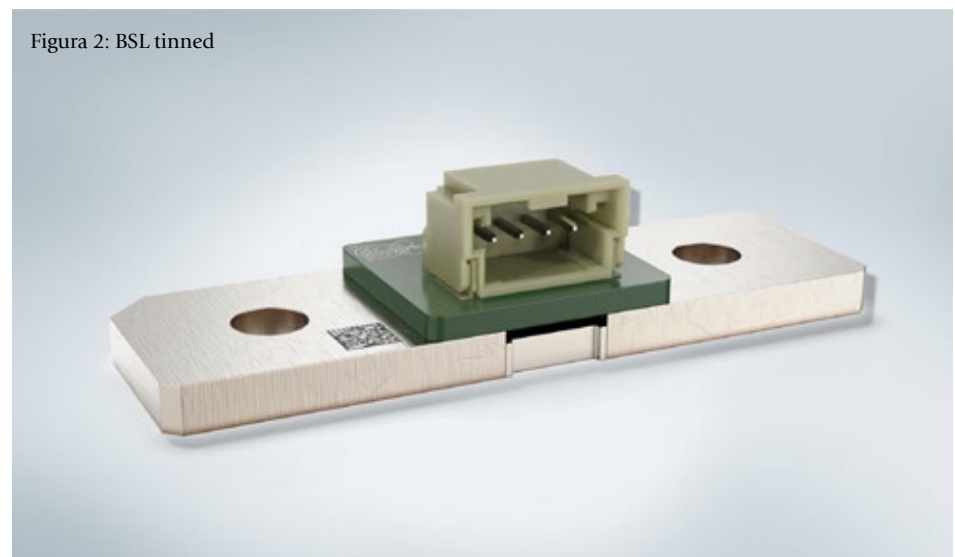


Figura 2: BSL tinned

corrente (CSM) e la misurazione della temperatura (TMP).

Integrando direttamente il PCB sullo shunt, lo shunt analogico garantisce una trasmissione del segnale precisa e stabile, riducendo le interferenze esterne e minimizzando le fasi aggiuntive di assemblaggio. Un connettore dedicato facilita l'estrazione dei dati di tensione e temperatura, trasmetten-

do senza interruzioni i segnali analogici al sistema di controllo di livello superiore del cliente.

L'utente ottiene un segnale di misura molto accurato perché il PCB è posizionato esattamente nel punto in cui il coefficiente di temperatura è più favorevole. Se l'utente sceglie un proprio sistema di contatto, questo potrebbe trovarsi in una posizione in cui il TCR non può essere misurato in

modo ottimale, influenzando negativamente il risultato della misura.

Al contrario, con il PCB applicato direttamente sul bordo del materiale resistivo, si garantisce il miglior prelievo possibile del segnale di misura.

Il sensore analogico con PCB offre inoltre maggiore flessibilità in termini di spazio di installazione: il sistema non deve essere progettato in modo particolare per mantenere lo shunt e un PCB separato il più vicini possibile.

Va però considerato che il collegamento verso il PCB di livello superiore può comportarsi come un'antenna e quindi captare interferenze. Tuttavia, questo problema può essere risolto utilizzando cavi intrecciati o schermati.

L'elevata precisione, le capacità di compensazione termica e la perfetta integrazione nei sistemi di gestione delle batterie (BMS) rendono queste soluzioni ideali sia per applicazioni automotive sia per applicazioni industriali nel settore energetico.

LE AREE DI APPLICAZIONE DEGLI SHUNT ANALOGICI SONO DIVERSE:

1. AUTOMOTIVE ED E-MOBILITY

Gli shunt analogici svolgono un ruolo cruciale nelle unità di disconnessione della batteria (BDU) e nelle Battery Junction Box (BJB), garantendo un rilevamento accurato della corrente e il monitoraggio termico in diverse piattaforme di veicoli elettrici, tra cui:



Figura 3: BSX-L025.59

- **Autovetture** – supportano una distribuzione efficiente dell'energia nei veicoli elettrici e ibridi
- **Veicoli agricoli elettrici** – utilizzati in trattori elettrici, macchinari agricoli automatizzati e altri veicoli off-road, dove durata e precisione sono fondamentali
- **Camion e autobus** – garantiscono una gestione dell'energia stabile e sicura nelle flotte elettriche commerciali
- **Veicoli a due e tre ruote** – offrono soluzioni compatte e leggere per motocicli elettrici, scooter e risicò
- **Escavatori e macchine da miniera** – impiegati in macchinari elettrici e ibridi per applicazioni gravose, dove è essenziale una misurazione affidabile della corrente
- **Soluzioni di mobilità alternative** –

tra cui motoslitte, sedie a rotelle elettriche, treni e altri sistemi di trasporto elettrico specializzati che richiedono misurazioni altamente accurate

2. SISTEMI DI ACCUMULO ENERGETICO

- **Unità di monitoraggio batteria (BMU) e monitoraggio pacchi** – garantiscono una gestione energetica precisa in grandi batterie
- **Sistemi di accumulo stazionari** – supportano reti elettriche, sistemi da fonti rinnovabili e applicazioni di backup con monitoraggio in tempo reale della corrente
- **Sistemi di accumulo mobili** – utilizzati in soluzioni portatili e modulari, assicurando una distribuzione dell'energia sicura ed efficiente

Table 1: Analog Sensors

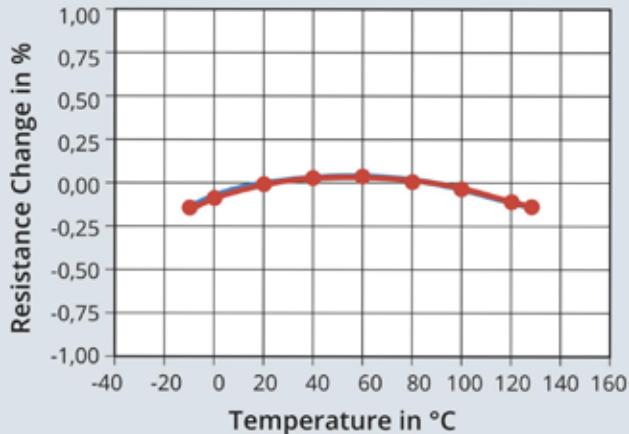
SERIES	SIZE	PART NAME	Continuous load up to [A]	10s load [A]	1s load [A]	100ms load [A]	Measurement Channels	NTC Channels
BSL	5216×3 (metric)	BSL-L100-xxx	± 310	± 500	± 800	± 2.300	1	1
BSS	8420×3 (metric)	BSS-L050-xxx	± 600	± 800	± 1,500	± 3,600	2	1
		BSS-L100-xxx	± 450	± 600	± 1,100	± 3,500		
BSN	8436×3 (metric)	BSN-L025-001	± 1,100	± 1,300	± 5,500	± 5,200	3	2
		BSN-L025-002 to 004	± 1,100	± 1,300	± 5,500	± 5,200	2	2

Example

(values from DMC-code of the BSN):

$a = 9,952E-08$ / $b = -1,712E-05$ / $c = 9,602E-04$

Resistance value $25\mu\Omega$ at
reference temperature of 20°C



3. APPLICAZIONI INDUSTRIALI ED ELETTRONICA DI POTENZA

- **Inverter industriali** – sebbene dominati da sensori ad effetto Hall, gli shunt analogici sono utilizzati per misure ad alta precisione nelle applicazioni di conversione di potenza
- **Misura della corrente di fase** – consente un rilevamento accurato nelle azionamenti di motori elettrici e inverter
- **Misura della corrente totale** – supporta applicazioni multifase fornendo una misura aggregata su più circuiti

Ciò che distingue questi shunt è la misurazione del TCR al 100% su ogni singola unità, a differenza di molti concorrenti che lo misurano solo a livello di lotto. Questo garantisce una tolleranza complessiva elevata per tutta la vita del prodotto, anche in condizioni operative variabili, come verificato tramite profili di missione specifici del cliente.

Integrandosi perfettamente con shunt standalone o con soluzioni attive di Current Shunt Monitor (CSM), questi sensori forniscono un pacchetto completo e accurato di misura analogica. Inoltre, ISABELLENHÜTTE ha presentato il nuovo shunt BSX, con una corrente continua fino a 1340A.

SPIEGAZIONE DEL TCR E LETTURA DAL CODICE DMC

Ogni shunt analogico ISABELLENHÜTTE presenta un polinomio univoco memorizzato nel proprio codice Data Matrix (DMC), che rappresenta caratteristiche precise e specifiche del componente.

Rchange R/R20 [%]

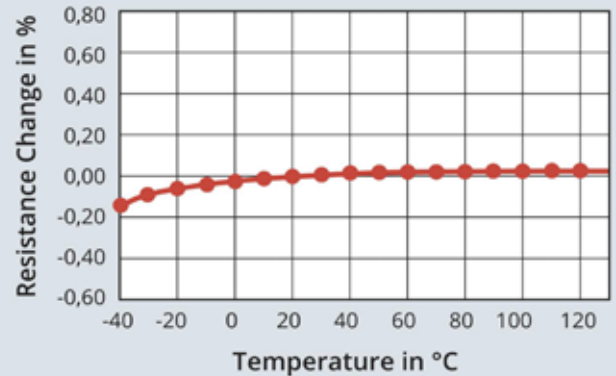


Table 2: Lookup-Table

TEMP	CHANGE [%]	R-VALUE [μOhm]
-20	-0,0722	24,982
-10	-0,0469	24,988
0	-0,0268	24,993
10	-0,0114	24,997
20	0,0000	25,000
30	0,0080	25,002
40	0,0132	25,003
50	0,0161	25,004
60	0,0174	25,004
70	0,0177	25,004
80	0,0175	25,004
90	0,0175	25,004
100	0,0182	25,005
110	0,0203	25,005
120	0,0243	25,006
130	0,0309	25,008

A differenza dei concorrenti che si basano su approssimazioni a livello di lotto, ISABELLENHÜTTE garantisce che ogni singolo shunt venga sottoposto a test End-of-Line (EOL), durante i quali il coefficiente di temperatura della resistenza (TCR) viene misurato e inciso al laser direttamente sul componente.

Il TCR definisce come la resistenza di un materiale varia con la temperatura, e ogni lega possiede intrinsecamente un proprio valore di TCR. Nei sensori analogici, questo valore è influenzato sia dalla composizione del materiale (lega e rame) sia dalla posizione precisa delle tracce di misura.

codico.com

Innovazioni nelle misure a radiofrequenza e microonde per il settore Aerospazio e Difesa

INTERVISTA A GIULIO MARIA CAMPAGNARO, Business Development Manager & Team Leader di ANRITSU EMEA GMBH

1. L'enfasi e la spesa per sistemi e attrezzature destinati al settore Aerospazio e Difesa oggi sono cresciute enormemente. Quali sono i principali sviluppi e le tendenze ingegneristiche che stai osservando?

Il settore Aerospazio e Difesa continua a stabilire requisiti sempre più stringenti per lo sviluppo di nuove tecnologie. Si fa un uso sempre maggiore delle frequenze più elevate nelle bande Ka, Q e V (frequenze a microonde) per comunicazioni satellitari e sensoristica radar. Dal punto di vista ingegneristico, ciò richiede la miniaturizzazione dei front-end a microonde nei moduli TRM, che a loro volta contribuiscono a ridurre le dimensioni e il consumo energetico dell'intera catena Tx/Rx.

Stiamo anche assistendo a un maggiore utilizzo di sistemi di antenne attive

(Phased Array), in cui il front-end RF è incorporato con gli elementi radianti. Frequenze portanti più elevate consentono di utilizzare larghezze di banda di modulazione più ampie (centinaia di Megahertz), con velocità di trasmissione dati molto migliori.

Questa tendenza è un fattore chiave del 5G di "livello militare", in cui le bande di frequenza FR2 e altre reti non terrestri (NTN) possono essere utilizzate una volta garantita una banda di modulazione sufficientemente larga.

Un'altra tendenza in questo settore è l'impiego intensivo di droni e veicoli aerei senza pilota (UAV) come sistemi di sorveglianza e armi multi-dominio.

2. Ritiene che l'IA avrà un ruolo attivo nel settore Aerospazio e Difesa?

I droni possono essere rilevati utilizzando sensori acustici, ottici ed elettromagnetici. In quest'ultimo caso, gli analizzatori di spettro possono monitorare continuamente i segnali e fornire dati a un sistema di intelligenza artificiale. Si tratta di una soluzione economica adatta sia all'uso



GIULIO MARIA CAMPAGNARO
Business Development Manager
Anritsu EMEA GmbH

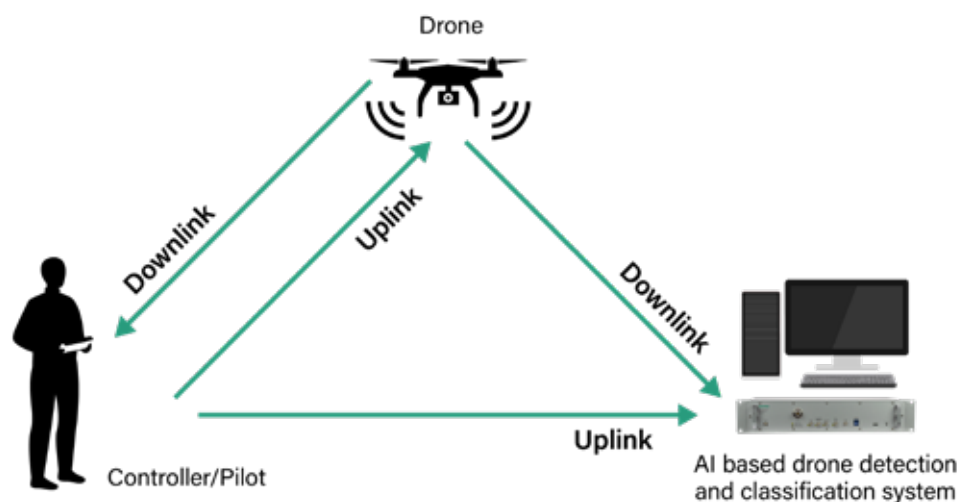
mobile che stazionario e consente l'identificazione del pilota del drone con tecniche consolidate.

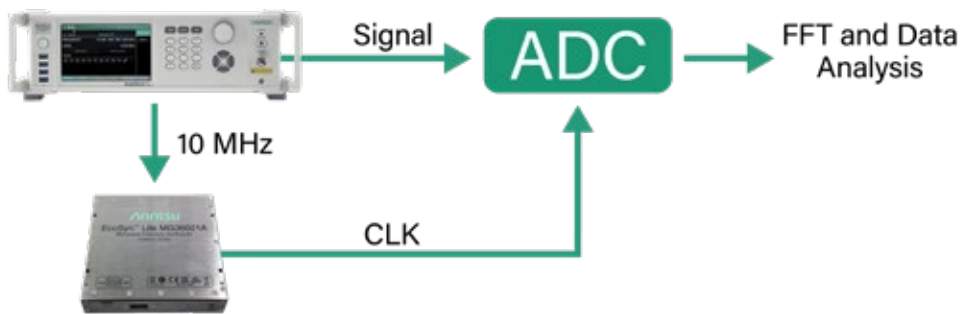
Questa visione unisce l'intelligenza artificiale e l'apprendimento automatico. Un "sensore" (analizzatore di segnale) monitora lo spettro a banda larga e trasmette continuamente i dati in banda base (rappresentati come dati IQ) tramite una connessione ad alta velocità in un'infrastruttura IT basata su intelligenza artificiale/apprendimento automatico.

Le caratteristiche del segnale vengono riconosciute e utilizzate per il rilevamento, la classificazione e l'allarme. L'addestramento viene eseguito ordinando, etichettando e curando i dati RF in librerie/modelli.

3. Ci sono altre sfide che questo settore sta affrontando?

Il rilevamento dei droni non è l'unico argomento importante relativo agli UAV. Le aziende aerospaziali e della difesa impegnate nella progettazione e nella





produzione di droni hanno altre preoccupazioni specifiche che dovrebbero essere affrontate con attenzione e tempestività per ottimizzare lo sviluppo di questi prodotti. La riduzione della RCS (*Radar Cross Section*) dei droni e la considerazione dei problemi di diafonia e integrità del segnale rappresentano sfide crescenti, soprattutto ora che la sensibilità dei radar sta aumentando in modo esponenziale e che sempre più componenti elettronici vengono inseriti in spazi sempre più ridotti.

4. Di cosa hanno bisogno gli strumenti di T&M per soddisfare tutte queste tendenze e sfide?

Anritsu offre soluzioni leader di mercato per testare dispositivi innovativi, come DAC e ADC ad alta velocità, sempre più necessari nella nuova era dei transceiver digitali. Il test degli ADC richiede due sorgenti di segnali analogici ad alta purezza, una per l'ingresso del segnale nell'ADC e un'altra per il clock.

L'ultima sorgente di **segnale modulare EcoSyn™ Lite** di Anritsu, insieme al ben noto **generatore da banco Rubidium™**, può essere utilizzato per effettuare misure su ADC con frequenze di campionamento molto alte (fino a 20 GHz). Il sintetizzatore modulare EcoSyn™ Lite è sincronizzato al Rubidium mediante un riferimento a 10 MHz. L

a frequenza di uscita RF e la potenza sia dell'EcoSyn™ Lite che del Rubidium possono essere controllate indipendentemente durante la misura. Con l'EcoSyn Lite come sorgente di clock, è possibile testare DAC e ADC con frequenze di campionamento fino a 20 GHz. Le cifre di merito tipiche per questi ADC includono ENOB, SFDR, SNR, SINAD, distorsione armonica, IMD.

Entrambi i generatori di segnale offrono prestazioni di rumore di fase senza precedenti (-140 dBc/Hz @ 10 GHz output, 10 kHz offset per il Rubidium™ e -126 dBc/Hz @ 10 GHz output, 10 kHz offset per l'EcoSyn™ Lite) che hanno un impatto minimo su ENOB, SFDR, SNR e altri parametri dell'ADC, consentendo così misure più accurate.

Peraltro, anche i sistemi di antenna che operano in collegamenti NTN Ka-band e/o 5G FR2 dovrebbero essere caratterizzati prima dell'implementazione finale, il che richiede almeno due scenari di test: OTA indoor in camera anecoica e soluzioni di Antenna Test Range outdoor.

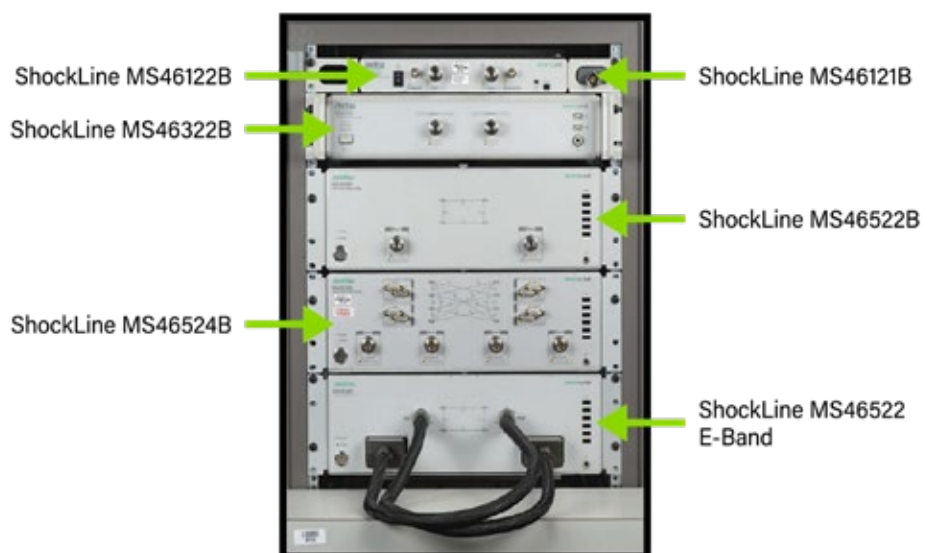
In entrambi i casi, l'utilizzo di VNA tradizionali per testare le antenne richiede generalmente lunghi cavi per le porte di test; ma più lungo è il cavo, maggiore è la perdita di inserzione e l'instabilità di fase aggiunta nella misura dei parametri

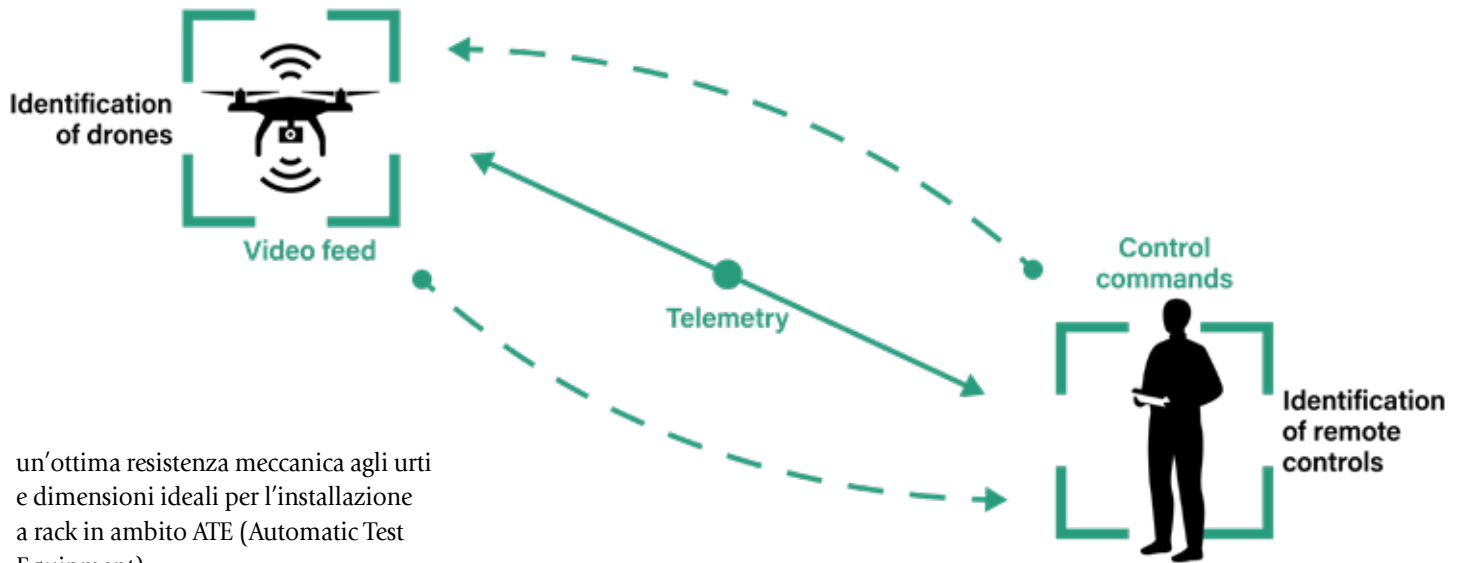
di scattering, specialmente alle frequenze delle microonde o superiori. Anritsu ha risolto questo problema con il suo nuovo ShockLine ME7869A, un esclusivo VNA a due porte distribuite con moduli portatili che coprono una gamma di frequenze da 1 MHz a 43,5 GHz. La sua architettura consente il posizionamento delle porte del VNA fino a 100 metri di distanza con le stesse funzionalità delle soluzioni VNA tradizionali e a un costo significativamente inferiore.

Il VNA a porte distribuite è anche uno strumento prezioso per misure di RCS accurate di droni e altri piccoli oggetti, specialmente nella banda Ka dove il range dinamico del VNA è di fondamentale importanza.

Per quanto riguarda il crosstalk e altre questioni relative all'integrità del segnale, Anritsu fornisce soluzioni sia per laboratori R&D che per la produzione. Nelle prime fasi di ricerca e sviluppo, è fondamentale studiare la propagazione del segnale attraverso le varie linee di trasmissione con la migliore Time Domain Resolution offerta dai VNA millimetrici della famiglia VectorStar, che arrivano oltre 220 GHz di frequenza massima.

Per la produzione, test simili possono essere eseguiti fino a 43,5 GHz e anche nella E-Band (da 55 a 92 GHz, tipicamente utilizzata per applicazioni radar) con la famiglia ShockLine VNA che garantisce





un'ottima resistenza meccanica agli urti e dimensioni ideali per l'installazione a rack in ambito ATE (Automatic Test Equipment).

5. Utilizzate partnership per sviluppare sistemi e metodologie T&M di questi nuovi sviluppi nell'industria Aerospazio e Difesa?

Per la categorizzazione e l'identificazione dei droni, Anritsu collabora con aziende altamente specializzate in algoritmi di intelligenza artificiale applicati ai dati dello spettro acquisiti con strumentazione general-purpose.

Alcune collaborazioni più rilevanti hanno come obiettivo il MS2090A Field Master Pro, l'ammiraglia tra gli analizzatori di segnale portatili di Anritsu, che acquisisce e trasmette dati IQ con 150 MHz di larghezza di banda di analisi in tempo reale fino a 54 GHz, ben oltre la banda Ka. MS2090A e OmniSig AI sono una simbiosi a valore aggiunto per l'identificazione dei droni e per la localizzazione dei controlli remoti degli UAV.

Un'altra partnership è in atto con YOTASYS in Svizzera, con l'obiettivo di integrare l'esclusivo front-end a microonde Field Master Pro di Anritsu con la sua larghezza di banda di 150 MHz in un

hardware con intelligenza artificiale e deep learning all'avanguardia che sarà la sintesi perfetta tra qualità di acquisizione dei dati e GPU svelate per assicurare la massima velocità di elaborazione per qualsiasi esigenza di consapevolezza dello spettro sul campo.

6. Quali sono le innovazioni che mantengono Anritsu all'avanguardia in questo settore?

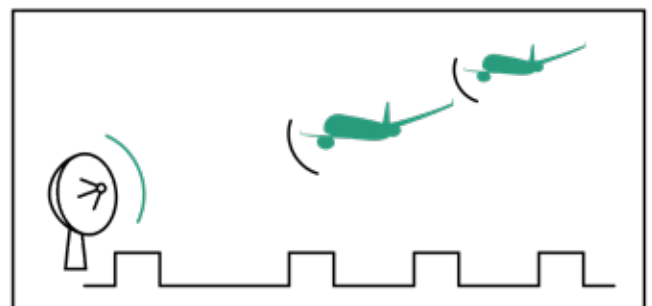
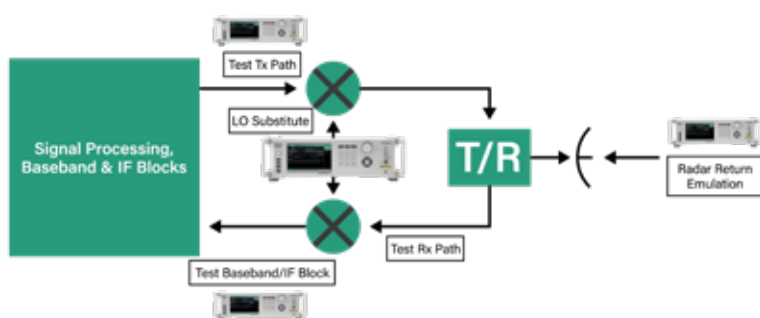
Anritsu migliora costantemente il proprio portfolio di soluzioni per offrire la migliore combinazione di prodotti da banco con particolare attenzione agli sforzi di R&D dei nostri clienti. Un buon esempio è il generatore di segnale RubidiumTM, con le sue prestazioni rivoluzionarie fino a 70 GHz, grazie alla purezza del segnale e alla stabilità di frequenza garantite, anche a livelli di potenza di uscita elevati, e su un'ampia gamma di frequenze.

In particolare, per l'industria satellitare e aerospaziale, il RubidiumTM offre una stabilità di frequenza di un ordine di grandezza superiore rispetto ad altri generatori

di segnale che utilizzano un riferimento basato su OCXO.

La calibrazione on-site è un altro valore aggiunto per l'ecosistema aerospazio e difesa. Per il Rubidium MG362x1A è consigliato un ciclo di calibrazione di due anni. Con la calibrazione on-site, che può essere svolta direttamente dall'utilizzatore, i clienti possono ripristinare la precisione di livello entro le specifiche dello strumento senza dover rispedire l'unità al centro assistenza, riducendo così i tempi di inattività.

Oltre al Rubidium, la gamma di generatori di segnale di Anritsu viene costantemente aggiornata in linea con gli sviluppi del mercato. La nostra ultima innovazione è EcoSynTM Lite, un modulo innovativo che copre la gamma di frequenze da 10 MHz a 20 GHz e fornisce una potenza di uscita di 18 dBm. Alloggiato in un involucro portatile e compatto da 4 pollici x 4 pollici x 0,8 pollici, è ideale per applicazioni in cui lo spazio sia limitato che richiedono una sorgente di segnale CW di livello metrologico.

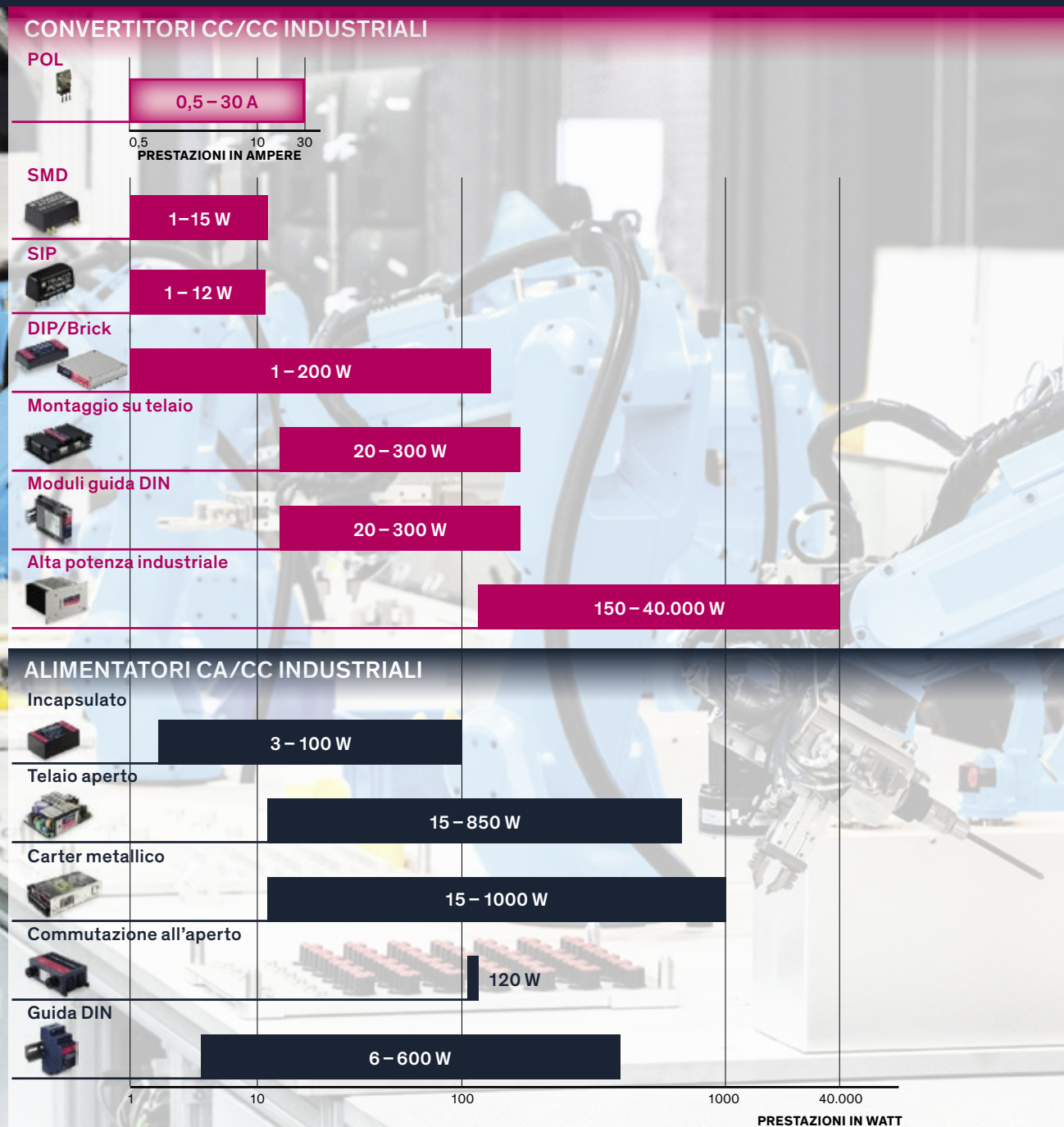


Soluzioni di potenza industriali

CC/CC da 1 a 300 watt e CA/CC da 3 a 1000 watt

- Ampia gamma di applicazioni che copre ambienti di ufficio, di produzione, industriali, problematici e pericolosi
- Immunità CEM industriale secondo IEC 61000-6-2
- Vari tipi di montaggio: scheda a circuito stampato, montaggio su telaio e guida DIN
- Stili di package: a telaio aperto, incapsulato e coperto
- 3 anni di garanzia

Per maggiori informazioni, certificazioni e per la scheda tecnica, visitate il nostro sito Web www.tracopower.com



AI on the Edge: limiti, opportunità e casi d'uso per l'industria

AUTORE: Ivan Scordato

Di edge AI industriale si parla da anni. E nel 2026 qualcosa è cambiato: non è più un concetto astratto. I dispositivi ci sono, i modelli girano, i costi si sono abbassati. Eppure il 70% dei progetti Industry resta fermo alla fase pilota, secondo le stime di settore. E tra il demo che funziona sul banco e il sistema che regge tre turni su una linea vera, c'è un abisso.

Per l'edge AI: Cosa funziona, cosa no, quanto costa e da dove si parte.

TRE CASI D'USO EDGE AI

Il mercato edge AI industriale vale circa 25 miliardi di dollari nel 2025 e cresce del 21,7% annuo. Ma i numeri aggregati dico-

no poco. Quello che conta è capire dove l'edge AI genera valore misurabile oggi in un contesto manifatturiero.

• VISUAL INSPECTION: controllo qualità in tempo reale

La computer vision è il caso d'uso più maturo. Telecamere + modelli di deep learning direttamente sulla linea, senza passare dal cloud. Il sistema ispeziona ogni pezzo, rileva difetti sotto il millimetro, e lo fa a velocità di linea. Risultati recenti parlano di riduzione dei difetti del 30% e latenza sotto i 10 ms. Siemens, per fare un esempio concreto, usa sensori Arm-based con modelli edge per ispezione visiva su linee di assemblaggio.

Per chi fa automazione industriale, questo è probabilmente il punto d'in-

gresso con il rapporto rischio/beneficio migliore.

- **PREDICTIVE MAINTENANCE: anticipare i guasti, non subirli**
Sensori di vibrazione, temperatura e acustica che analizzano i dati localmente e prevedono i guasti 48-72 ore prima che accadano. Nell'industria pesante e chimica, i dati parlano di riduzione dei fermi imprevisti del 25-40% e allungamento della vita utile degli asset del 25%.

La differenza rispetto alla classica manutenzione programmata è che intervieni solo quando serve davvero. Rispetto al cloud-based: il modello gira sul dispositivo, non devi aspettare la risposta del server e funziona anche se la rete è giù. Per capire come si integra con



i sensori IIoT, vale la pena approfondire il tema della sensor fusion.

• **COBOT E AMR:**

decisioni in millisecondi

Robot collaborativi e veicoli a guida autonoma (AMR) in magazzino o in produzione dipendono dall'inferenza locale per la navigazione, l'obstacle avoidance e il coordinamento. Non puoi mandare il frame video al cloud e aspettare la risposta: il cobot deve reagire in millisecondi. I sistemi con edge AI industriale riducono gli errori di picking del 35% nei magazzini con SKU variabili, e permettono di riconfigurare le linee senza fermo.

I LIMITI REALI DELL'EDGE AI INDUSTRIALE: PERCHÉ IL 70% DEI PROGETTI SI FERMA AL PILOTA

Ok, i casi d'uso funzionano. Ma allora perché così tanti progetti non arrivano in produzione? I motivi sono meno tecnologici di quanto si pensi.

Il deployment su scala è un altro mestiere

Far girare un modello su un dispositivo in laboratorio è una cosa. Farlo girare su 500 dispositivi distribuiti in 12 stabilimenti, con hardware diverso, connettività intermittente e reti OT segmentate, è un'altra. Le piattaforme di MLOps arrivano fino al packaging del modello. Poi ti trovi da solo. L'orchestrazione dei modelli all'edge industriale, l'aggiornamento OTA, il monitoring della drift, la gestione dell'hardware eterogeneo: tutto questo richiede competenze che nella maggior parte delle aziende manifatturiere non ci sono. Non ancora.

Potenza di calcolo vs. accuratezza del modello

Un dispositivo edge ha risorse limitate: poca RAM, poca potenza di calcolo, vincoli termici. Per far girare un modello su un microcontrollore con 16 KB di RAM (sì, esistono, e LiteRT Micro

ci gira) serve quantizzazione, pruning, knowledge distillation. Ogni passaggio di compressione può erodere l'accuratezza. Il trade-off è reale e va calibrato caso per caso. Un modello di ispezione visiva che perde il 2% di accuratezza dopo la quantizzazione può essere accettabile. Uno che controlla dispositivi medicali, no.

Chi progetta sistemi embedded conosce bene questo equilibrio.

Connettività e sicurezza: il punto dolente delle reti OT

Le reti industriali non sono reti IT. Segmentazione, firewall, protocolli legacy, connettività instabile in ambienti remoti o rumorosi dal punto di vista elettromagnetico. Ogni aggiornamento del modello deve passare per gateway, proxy, talvolta floppy disk virtuali. Scherzo. Ma neanche troppo. Il tema della cybersecurity edge AI è serio: ogni dispositivo connesso è una superficie d'attacco. Nel 2024 la backdoor Keyplug, nel 2025, gli attacchi alla logistica sono cresciuti del 61%. Un sistema edge AI che non prevede aggiornamenti sicuri e autenticazione forte è un rischio, non un vantaggio.

DA LLM A SLM: IL CAMBIO DI PARADIGMA PER L'EDGE AI INDUSTRIALE

Gartner prevede che entro il 2027, le organizzazioni useranno modelli piccoli e task-specific tre volte di più rispetto ai modelli generalistici. All'edge, questo è già realtà.

I Small Language Model (SLM) ottimizzati per edge consumano una frazione dell'energia e del compute richiesti da un LLM, con accuratezza elevata per compiti specifici. Un terminale a bordo macchina che traduce codici di errore in istruzioni di troubleshooting: on servono 70 miliardi di parametri per questo.

Il TinyML porta il concetto ancora più

in basso: modelli di machine learning che girano su microcontrollori a bassissimo consumo. Fino a qualche anno fa era teoria. Nel 2026, TI ha acquisito Silicon Labs proprio per portare la piattaforma IoT Series 3 (10x le performance della generazione precedente) sulla sua produzione di wafer da 300mm. Quando un'azienda di quella scala acquisisce una piattaforma edge AI industriale e punta subito a ridurre il costo per unità, non sta scommettendo sul futuro: sta rispondendo a domanda già presente.

Per chi sviluppa su microcontrollori intelligenti per IoT, il framework LiteRT (ex TensorFlow Lite) con la variante Micro permette di fare inferenza su dispositivi ARM Cortex-M con 16 KB di RAM. Non è fantascienza. È un datasheet.

HARDWARE EDGE AI INDUSTRIALE NEL 2026: COSA C'È SUL MERCATO PER L'INDUSTRIA

Il panorama hardware si è fatto più interessante. Ecco qualche riferimento concreto per orientarsi.

NVIDIA Jetson Orin resta il punto di riferimento per applicazioni che richiedono potenza (computer vision multi-stream, AMR). I moduli Hailo-8 e Hailo-10, montabili su slot M.2 in PC industriali rugged, permettono di aggiungere capacità AI a sistemi già installati senza sostituire l'hardware. La serie Qualcomm Dragonwing IQ9 offre fino a 100 TOPS con consumi da leader di settore, ed è in grado di far girare Llama2 da 13 miliardi di parametri a 12 token/secondo. Il tema di etica dell'IA nasce proprio qui: la responsabilità non può essere delegata completamente alla macchina, perché ogni modello è il risultato di scelte umane.

Il trend hardware del 2026 è la modularità. Un singolo box rugged che oggi fa data logging e domani fa ispezione

Partire da un caso d'uso singolo, misurabile	Scegliere hardware modulare e aperto	Pianificare il lifecycle del modello, non solo il deployment	Coinvolgere OT e maintenance dall'inizio
La manutenzione predittiva su una macchina critica. Oppure la visual inspection su una linea con un alto tasso di scarto. Un obiettivo chiaro: ridurre i fermi del 10%, abbattere i difetti del 5%. Se il pilota non ha una metrica di successo, non saprà mai se ha funzionato. E non genererà il consenso interno per scalare.	Un box rugged con slot per acceleratore AI è un investimento che regge nel tempo. L'acceleratore cambia, il box resta. Evitare architetture chiuse che vincolano a un singolo vendor per hardware, software e modelli. Le piattaforme che supportano più framework (TensorFlow Lite, ONNX, PyTorch) e più OS danno più margine di manovra.	Un modello AI non è un firmware che installi e dimentichi. I dati cambiano, il processo evolve, il modello va riaddestrato. Serve un piano per l'aggiornamento OTA, il monitoring della drift, il rollback in caso di problemi. Se questo piano non esiste prima del go-live, si finisce con modelli stantii che peggiorano nel tempo e nessuno se ne accorge.	L'errore classico: l'IT o l'R&D costruisce il sistema, poi lo "consegna" alla produzione. Il risultato è un sistema che nessuno usa. Gli operatori di linea e i manutentori devono essere coinvolti dalla fase pilota, perché sono loro che sanno dove il processo si rompe e cosa serve davvero. Un sistema di embedded intelligence funziona solo se chi ci lavora ogni giorno lo capisce e ci crede.

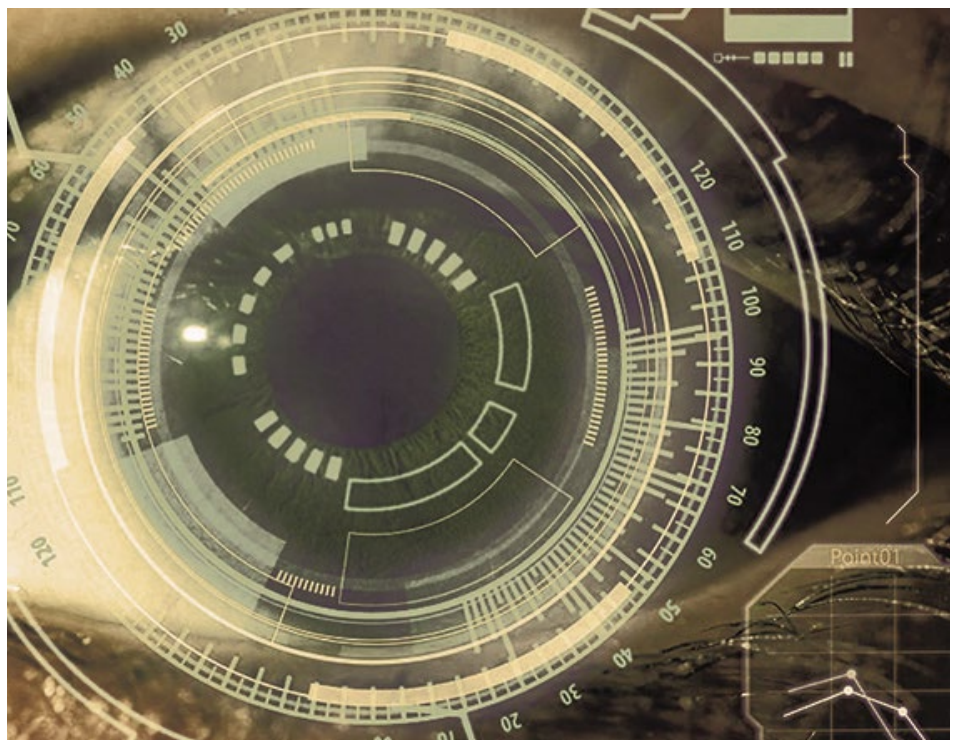
Tabella 1: Come passare dal pilota alla produzione: un approccio pratico

visiva, cambiando solo il modulo AI. Per chi segue l'evoluzione dell'edge computing embedded, il cambiamento è tangibile.

**COSA ASPETTARSI:
EDGE AI INDUSTRIALE NELLA
SECONDA METÀ DEL 2026**

Dell prevede che la computer vision resterà il caso d'uso edge industriale AI dominante.

Gartner dice che entro il 2030, metà delle soluzioni di supply chain management includerà AI agentiche. IDC stima che oltre il 40% dei manufacturer con sistemi di scheduling aggiornerà all'AI entro fine 2026. Il trend architetturale è l'ibrido edge-cloud: l'edge gestisce inferenza in tempo reale e decisioni critiche, il cloud fa training, analytics pesanti e storage storico. Le aziende che adottano questa architettura riportano risposte più rapide del 40% sulle operazioni e costi cloud ridotti del 30-50%.



Processare in locale, trasmettere solo i risultati, diventa una scelta economica oltre che tecnica.

L'IoT device che si limita a spedire dati grezzi al cloud inizia a sembrare il ter-

minale stupido di quest'epoca.

L'edge AI industriale nel 2026 non è più una promessa. Ma non è nemmeno un plug-and-play.

DC/DC Step-Down da 60V efficiente per i sistemi a 12-24V

Nei moderni sistemi elettronici alimentati a 12V o 24V è essenziale una conversione DC/DC stabile ed efficiente. Con le ultime soluzioni di gestione dell'alimentazione come XC9711, TOREX Semiconductor, partner di CODICO, offre circuiti integrati compatti caratterizzati da alta efficienza, basso rumore e prestazioni affidabili, in grado di gestire in modo sicuro le sovratensioni sulle linee di alimentazione a 24V.

CONVERTITORI DC/DC MINIATURIZZATI E FLESSIBILI

Riducendo il numero e le dimensioni dei componenti esterni, XC9711 consente una significativa miniaturizzazione.

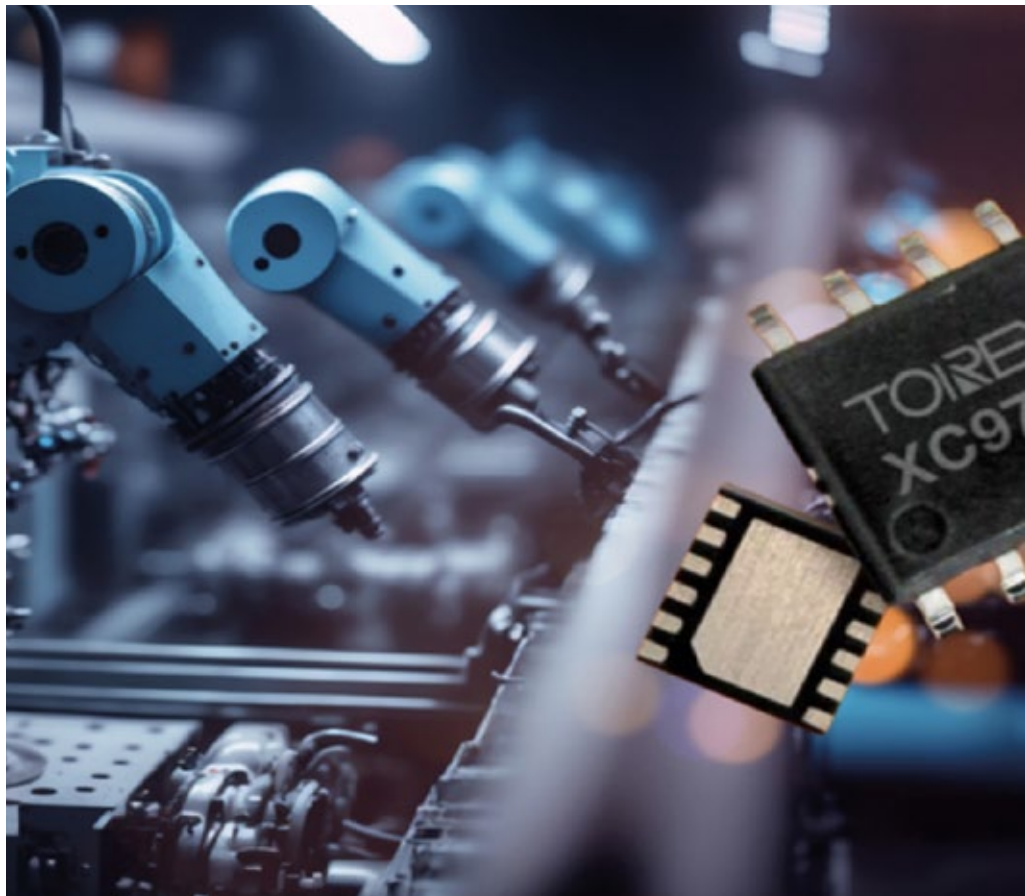
Garantisce un'elevata efficienza anche con carichi ridotti, supporta ampi rapporti di conversione step-down (inclusa la conversione diretta a 3.3V) con caratteristiche di funzionamento a basso rumore e modalità di controllo selezionabili F-PWM/PWM/PFM.

APPLICAZIONI

Il dispositivo è ideale per sistemi a batteria da 24V, automazione industriale, sensori, sistemi di sicurezza, elettrodomestici e utensili elettrici. Può essere utilizzato anche come sostituto per i regolatori lineari ad alta tensione, e in generale come point-of-load e nelle alimentazioni. CODICO può assistervi nella ricerca della variante ottimale per le vostre esigenze all'interno di un ampio portafoglio di convertitori DC/DC.

CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

- Vin: 4.5V - 60.0V
- Vout: 2.5V - 18.0V
- Iout max: 1.0A



- Modalità di controllo: F-PWM e PWM/PFM
- Protezioni:
 - o Limitazione di corrente
 - o Sovratensione in uscita
 - o Spegnimento termico
- Funzioni aggiuntive:
 - o Power Good
 - o UVLO
 - o Soft-start
- Temperatura ambiente operativa: -40/+125 °C / Tjmax=150 °C

XC9711 è disponibile nei package DFN3030-12A (3.0×3.0×0.75mm) e HSOP-8N (6.2×5.2×1.7mm) ed è già disponibile in produzione. Campioni

e schede di valutazione possono essere richiesti direttamente a CODICO.

Quando è indicato un convertitore DC/DC step-down da 60V per le applicazioni industriali?

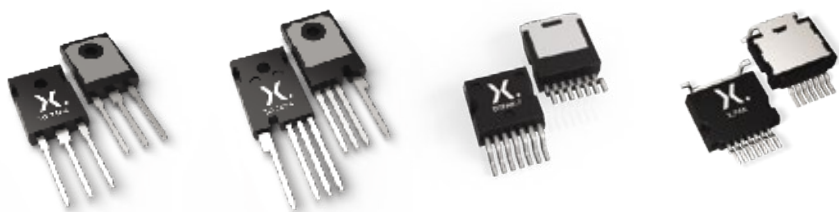
Un convertitore DC/DC step-down da 60V è ideale per sistemi a 12-24V dove i transistori di tensione, il design compatto e l'elevata efficienza sono critici, come nelle applicazioni industriali, nella sensoristica e nell'automazione.

Desideri utilizzare il convertitore DC/DC step-down XC9711 di TOREX nella tua applicazione? codico.com

1200 V SiC MOSFETs Unmatched Temperature Stability



[nexperia.com
/sic-mosfets](https://nexperia.com/sic-mosfets)



nexperia