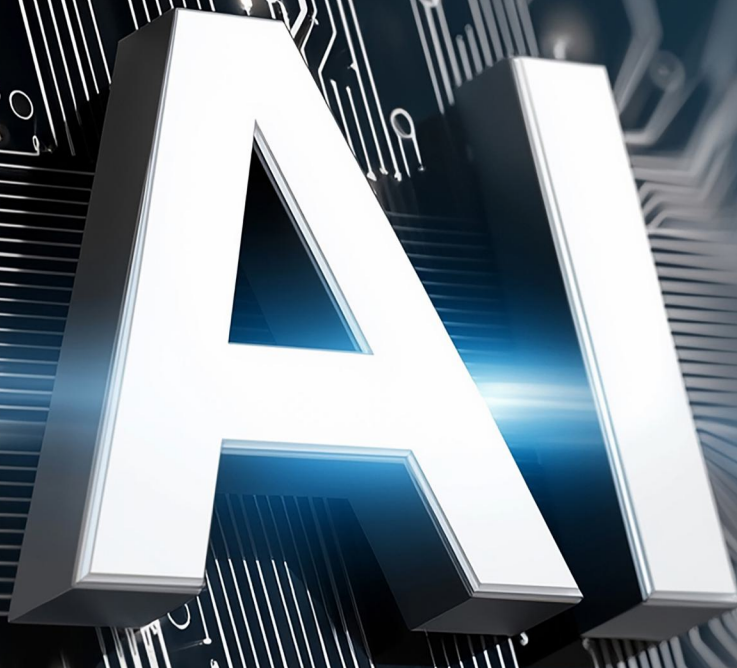


Artificial Intelligence Edge Machine Learning



IN QUESTO NUMERO:

- LE PREVISIONI SULL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER IL 2026**
- CORSO DI ELETTRONICA APPLICATA: GLI ALIMENTATORI SWITCHING - PARTE 2**
- STRATEGIE PER UN EDGE MACHINE LEARNING EFFICIENTE**
- E MOLTI ALTRI ARTICOLI E PROGETTI!**



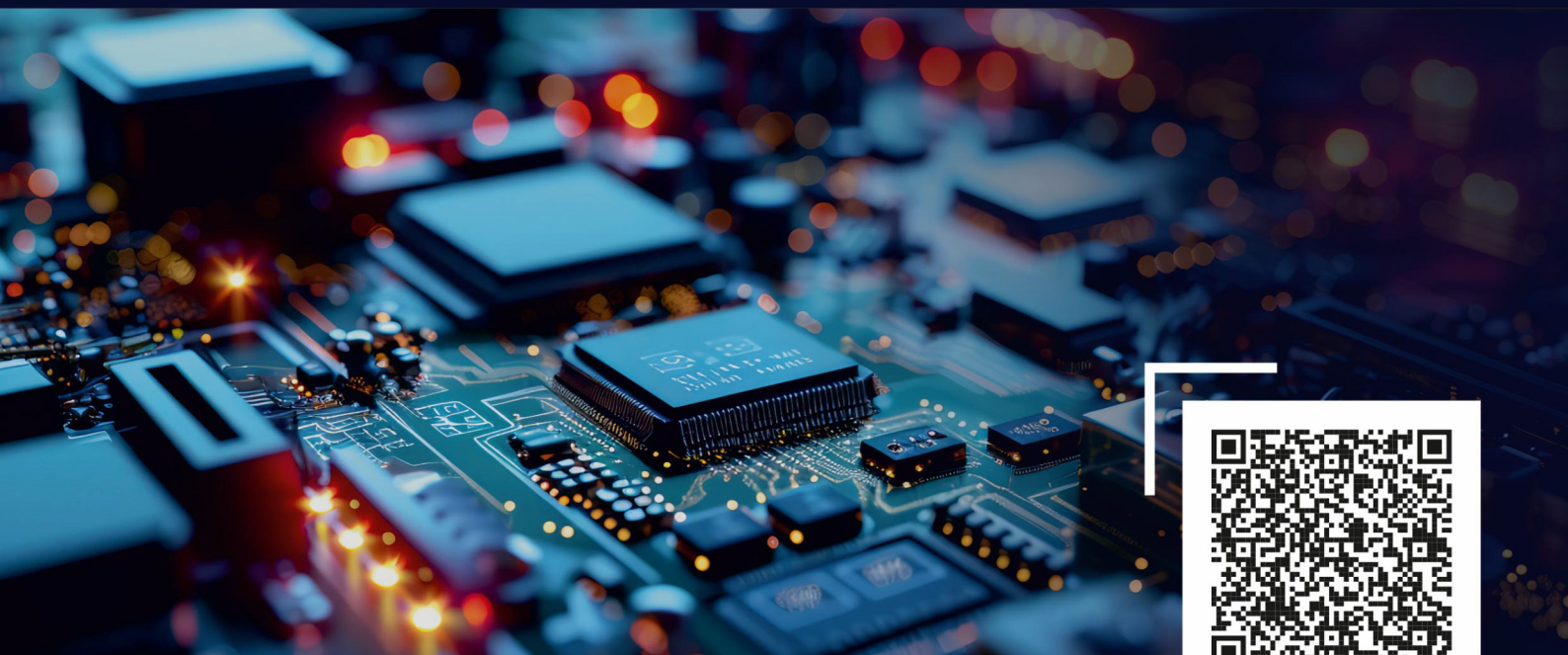
SPEDIZIONE RAPIDA
CONSEGNA RAPIDA A PARTIRE DA € 4,90

1.300.000+ PRODOTTI IN OFFERTA
6.000+ PACCHI SPEDITI OGNI GIORNO



ECCELLENTE SERVIZIO CLIENTI

OLTRE 1.300 FORNITORI
ALTA DISPONIBILITÀ



SEMPLIFICA GLI ACQUISTI

/ API - SCAMBIO DATI VELOCE

/ DATA FEED - AGGIORNAMENTI IN TEMPO REALE

/ EDI - BUSINESS SENZA CARTA

/ PUNCHOUT - FAI ACQUISTI NEL TUO ERP

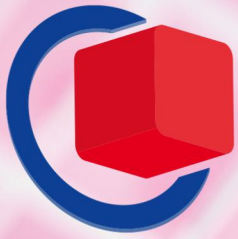
TME Italia S.r.l.
Grassobbio (BG), tme@tme-italia.it

Ci trovi su:      

tme.eu

YOU NEED IT, WE HAVE IT!

■ ■ ■ **tme.com** ■ ■



embeddedworld

Exhibition & Conference



CONNECTING THE
EMBEDDED COMMUNITY

10 – 12.3.2026

NUREMBERG, GERMANY

Redeem your
ticket voucher
GG4ew26 now!



embedded-world.de/en/codes

Media partners

elektroniknet.de

Markt&Technik
DIE UNABHÄNGIGE WOCHENZEITUNG FÜR ELEKTRONIK

Elektronik

Elektronik
automotive

Elektronik
•medical

 NÜRNBERG
MESSE

COSA LEGGERAI NEL 2026?

<i>TOPICS</i>	<i>MAKERS ZONE</i>	<i>DATA DI PUBBLICAZIONE</i>
IoT	Cybersecurity	1 Febbraio
Artificial Intelligence	Edge Machine Learning	1 Marzo
Power/Motor	Green Energy	1 Aprile
PCB	Microcontrollers	1 Maggio
Test & Measurements	DIY Tools	1 Giugno
Automotive	Sensors	1 Luglio
Open-Source	Development Boards	1 Settembre
Wireless/RF	LoRa Networks	1 Ottobre
Industry 4.0	Automation & Robotics	1 Novembre
Healthcare	Medical Wearable	1 Dicembre

Artificial Intelligence ed Edge Machine Learning: l'intelligenza che si avvicina al mondo reale

Cari lettori, il topic di questo numero di Firmware 2.0 si ispira all'Intelligenza Artificiale, tecnologia che ha radicalmente rivoluzionato quasi ogni settore e che appare sempre meno confinata ai data center delle big tech o alle infrastrutture cloud distribuite su scala globale. Oggi l'IA sta cambiando forma, dimensione e prospettiva, avvicinandosi fisicamente ai sensori, ai microcontrollori, ai dispositivi embedded, al bordo della rete, **scendendo dal cloud per entrare nei circuiti stampati**. L'Edge Machine Learning è una delle trasformazioni più rilevanti per il mondo dell'elettronica embedded e dell'ingegneria dei sistemi. Per anni abbiamo associato l'IA a potenti GPU, server farm energivore e modelli di Deep Learning con miliardi di parametri. In un sistema centralizzato, che ha funzionato e continua a funzionare, il dispositivo raccoglie dati e li invia al cloud per essere elaborati.

L'Edge Machine Learning ribalta la prospettiva. Il modello di inferenza, che non risiede più necessariamente nel cloud, viene ottimizzato, compresso e distribuito direttamente sul dispositivo finale. Microcontrollori, SoC a basso consumo, FPGA, moduli IoT diventano nodi intelligenti capaci di prendere decisioni autonome in tempo reale. Per il mondo dell'elettronica questo cambiamento è epocale. Non si tratta solo di portare l'IA sull'edge ma di ripensare l'intero stack progettuale. Ed ecco che diventano protagonisti le architetture hardware dedicate all'accelerazione neurale, le nuove tecniche di quantizzazione, e toolchain capaci di convertire reti neurali in codice ottimizzato per MCU con poche centinaia di kilobyte di RAM. Prende forma l'unione di progettazione hardware, firmware e data science in un ecosistema sempre più integrato. Tutto ciò rende l'Edge Machine Learning un'evoluzione naturale di un mondo sempre più interconnesso, dove ogni nodo può diventare intelligente.

Le applicazioni sono sotto i nostri occhi. Sistemi di manutenzione predittiva che analizzano vibrazioni in locale senza inviare continuamente dati al cloud, telecamere intelligenti che riconoscono oggetti o anomalie direttamente on-board, dispositivi wearable che monitorano parametri biometrici elaborando i segnali in tempo reale, automotive, industria 4.0, domotica, agritech. Uno degli aspetti più interessanti è la democratizzazione dell'IA. Se fino a pochi anni fa servivano competenze avanzate e costose infrastrutture per implementare modelli di Machine Learning, oggi framework ottimizzati e piattaforme dedicate permettono a team embedded di integrare funzionalità intelligenti in progetti a basso consumo. Da laboratorio di ricerca separato, l'IA diventa una feature progettuale.

Naturalmente, non mancano le criticità. **L'ottimizzazione dei modelli richiede compromessi tra accuratezza e footprint**, mentre la sicurezza diventa determinante poiché proteggere un modello distribuito su milioni di dispositivi è molto più complesso rispetto al custodirlo in un data center. Anche l'aggiornamento over-the-air dei modelli introduce nuove considerazioni in termini di affidabilità e gestione del ciclo di vita. E poi c'è il tema energetico. **L'Edge ML nasce anche per ridurre l'impatto ambientale di elaborazioni massive in cloud**, tuttavia, dobbiamo

considerare che progettare sistemi realmente efficienti richiede anche competenze approfondite in gestione della potenza, architetture a basso consumo e ottimizzazione algoritmica. In questo numero di Firmware 2.0 approfondiremo strumenti, architetture e casi applicativi già disponibili per progettisti e sviluppatori. La domanda da porsi non è più se conviene integrare l'IA nei sistemi embedded, ma come farlo in modo efficiente, sicuro e scalabile. Sull'edge si giocherà una parte fondamentale della prossima rivoluzione tecnologica.

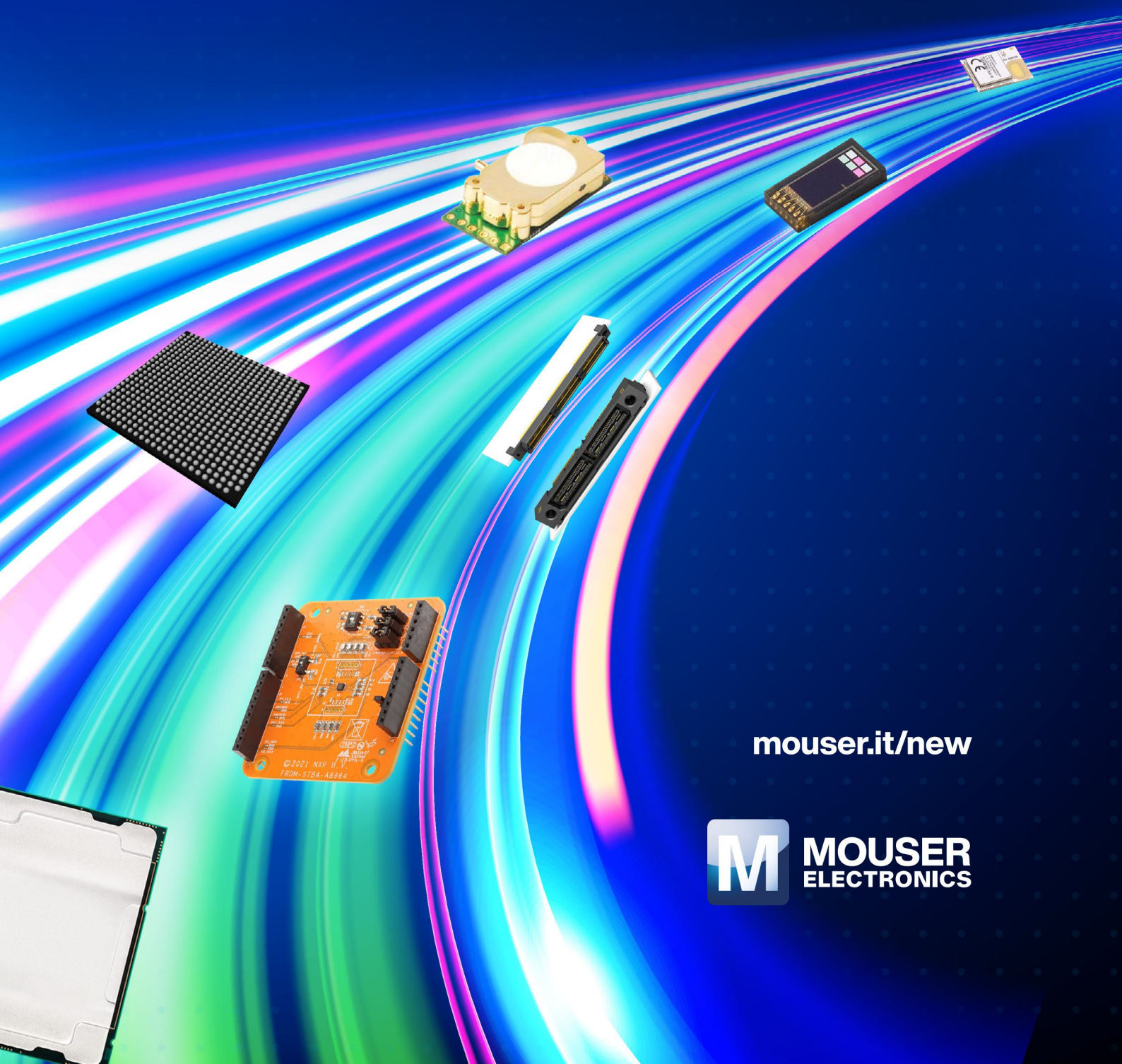
Buona lettura!

Giordana Francesca Brescia



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)



**MOUSER
ELECTRONICS**

Artificial Intelligence Edge Machine Learning



Founder&Editor
Emanuele Bonanni

CFO
Lidia Balica

Editorial Assistant
Maria Pisani

Maker in Chief
Giordana Francesca Brescia

Advertising & Marketing
Cristian Balica
cristian@contangosl.com

Graphic Designer
Marilde Mirra

Circulation
Users - 149.321
Social Network - 130.467

© Copyright

Tutti i diritti di riproduzione o di traduzione degli articoli pubblicati sono riservati.

Manoscritti e disegni sono di proprietà di Contango SL.

È vietata la riproduzione anche parziale degli articoli salvo espressa autorizzazione scritta dell'editore.

I contenuti pubblicitari sono riportati senza responsabilità, a puro titolo informativo.

EDITORIALE

ARTIFICIAL INTELLIGENCE ED EDGE MACHINE LEARNING: L'INTELLIGENZA CHE SI AVVICINA AL MONDO REALE **4**

LE PREVISIONI SULL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER IL 2026 **8**

GUIDA ALL'INDUSTRIA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE - DAI GIGANTI DEL SETTORE ALLE STARTUP EMERGENTI **10**

INTELLIGENZA ARTIFICIALE DISTRIBUITA - DAL CLOUD ALL'EDGE **12**

EDGE MACHINE LEARNING: COS'È E PERCHÉ STA CAMBIANDO I SISTEMI EMBEDDED **13**

RISOLVIAMO IL CUBO DI RUBIK CON L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE E UN MICROCONTROLORE **15**

QUANTO INQUINA L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE? **18**

MONITORAGGIO PREDITTIVO CON AI SU DISPOSITIVI EDGE **19**

GUIDA ALLE SCHEDE ELETTRONICHE CON INTELLIGENZA ARTIFICIALE INTEGRATA **22**

CON RASPBERRY PI AI HAT+ 2 L'IA GENERATIVA SBARCA SULL'EDGE COMPUTING DOMESTICO **25**

CORSO DI ELETTRONICA APPLICATA: GLI ALIMENTATORI SWITCHING - PARTE 2 **27**

LA SBC COMPATTA FORLIX OK153-S12 MINI **40**

L'AI PUÒ DIVENTARE INDOSSABILE? **42**

ANELLI AI: QUANDO L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE SI INDOSSA AL DITO **43**

IMPLICAZIONI DELL'EDGE AI A LIVELLO DI INFERENZA LOCALE E PRIVACY **44**

STRATEGIE PER UN EDGE MACHINE LEARNING EFFICIENTE **46**

AI-ON-DEVICE PER ESEGUIRE MODELLI SENZA COSTOSE GPU **48**



LE PREVISIONI SULL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER IL 2026

di Firmware Focus

Il 2026 si profila come l'anno della piena maturità dell'Intelligenza Artificiale, un passaggio fondamentale segnato dall'evoluzione delle architetture hardware, da una regolamentazione più strutturata e da un utilizzo finalmente concreto nei settori chiave dell'economia e del lavoro. Dopo una lunga fase dominata da promesse, numerose sperimentazioni e aspettative spesso superiori ai risultati, l'IA entrerà in una stagione in cui sarà chiamata a dimostrare il proprio valore reale, misurabile e sostenibile.

Con il progredire delle innovazioni, l'**Intelligenza Artificiale** non sarà più percepita come una tecnologia emergente o come un ambito separato rispetto al resto dell'ecosistema digitale. L'IA assumerà, infatti, il ruolo di infrastruttura strategica, al pari del cloud computing o di Internet. Il biennio che si apre segnerà il passaggio definitivo dalla fase dell'entusiasmo accelerato a quella del consolidamento industriale. Le grandi piattaforme tecnologiche integreranno sempre più profondamente le capacità di IA nei sistemi operativi, nei software aziendali e nei dispositivi di uso quotidiano, rendendo l'interazione tra esseri umani e macchine più fluida, continua e naturale. L'Intelligenza Artificiale è destinata a diventare così una presenza costante, ma spesso invisibile, incorporata nei processi e nei servizi senza più bisogno di essere esplicitamente richiamata.

L'invisibilità non ne ridurrà però l'impatto, anzi lo amplificherà. L'IA opererà dietro le quinte per ottimizzare flussi di lavoro, supportare decisioni complesse e automatizzare attività ad alto contenuto cognitivo. Una delle evoluzioni più rilevanti riguarderà l'affermazione degli

agenti autonomi, sistemi in grado di generare contenuti o rispondere a richieste, pianificare azioni, prendere iniziative e coordinarsi con altri agenti e applicazioni digitali, in cui si potranno sperimentare nuovi modelli organizzativi nelle imprese dove l'IA diventerà parte attiva dei processi operativi e decisionali.

Parallelamente, il 2026 sarà anche l'anno in cui l'Intelligenza Artificiale entrerà stabilmente nei meccanismi di governance aziendale. Non più quindi uno strumento sperimentale o un supporto accessorio, ma una componente strutturale perfettamente integrata nei processi decisionali con effetti diretti su produttività, competitività e gestione del rischio. **Dal punto di vista tecnologico, l'evoluzione dei modelli di Intelligenza Artificiale sarà sempre più strettamente legata allo sviluppo dell'hardware**, a tal riguardo si prevede un aumento della centralità dei chip specializzati come conseguenza della crescente complessità dei sistemi, insieme ad acceleratori dedicati e architetture ottimizzate per il calcolo neurale. Ma saranno i grandi protagonisti del settore dei semiconduttori a svolgere il ruolo più importante, men-

QUELLO CHE HAI LETTO E' UN ESTRATTO, L'ARTICOLO COMPLETO E' RISERVATO AGLI ABBONATI AD ELETTRONICA OPEN SOURCE.

PERCHE' ABBONARSI A PLATINUM 2.0?

**UN ANNO DI FIRMWARE 2.0
TUTTI GLI ARTICOLI TECNICI RISERVATI
CONTEST E PROMOZIONI RISERVATI**



VOGLIO ABBONARMI!

CORSO DI ELETTRONICA APPLICATA: GLI ALIMENTATORI SWITCHING – PARTE 2

di Fulvio De Santis

In questo articolo tratteremo ancora lo studio degli alimentatori switching attraverso la simulazione dei circuiti di base degli alimentatori step-down e step-up. Per la simulazione utilizzeremo i software LTspice e Proteus Professional. Infine, a titolo di esempio, progetteremo e testeremo in simulazione un alimentatore step-down in cui viene impiegato il circuito integrato MC34063A.

TEST IN SIMULAZIONE DELL'ALIMENTATORE STEP-DOWN

Nello schema elettrico di **Figura 1** è riportato il circuito di test semplificato di un alimentatore step-down (noto anche come convertitore DC-DC Buck) in modalità di funzionamento continuo del convertitore (CCM). L'alimentatore step-down fornisce in uscita una tensione più bassa di quella applicata in ingresso. Nel funzionamento CCM la corrente nell'induttore, quindi nel circuito, non si interrompe mai. Il test sarà eseguito utilizzando il software **LTspice** XVII. L'interruttore di switching controllato in tensione S1 (INT è il suo valore), unitamente al generatore d'impulsi V1, mediante l'apertura e la chiusura sincronizzata, simula uno switch elettronico di controllo della commutazione dell'alimentatore switching step-down ad una specificata frequenza e duty cycle. Per questo test, mediante una direttiva di LTspice, V1 viene impostato per generare un segnale ad onda rettangolare di frequenza 25 kHz, ampiezza 10 V e duty cycle del 41,6%. Il test prevede inizialmente scarichi l'induttore e il condensatore.

Il circuito dell'**alimentatore** step-down da testare in simulazione è composto dal generatore di tensione d'ingresso VIN da 12 V, generatore di impulsi V1, interruttore S1 controllato in tensione dal generatore V1, diodo shottky di ricircolo D1 (MBRS340 a bassa caduta di tensione e alta velocità di commutazione), induttore L1 in serie al parallelo del condensatore C1 con il resistore di carico RL.

CALCOLO DEI COMPONENTI

Il circuito è progettato per ottenere una tensione di uscita di +5 V stabile e una corrente massima erogabile di 1A quando viene applicata in ingresso una tensione di 12 V. Il valore dei componenti è calcolato considerando trascurabile la caduta di tensione sul diodo D1 e nel rispetto delle seguenti specifiche di progetto:

- VIN = 12 V
 - VOUT = 5 V
 - IOUT_max = 1 A
 - ΔVOUT = 1% VOUT
 - ΔIL = 30% IOUT_max
 - fs = 25 kHz (T=40 us)
 - D = 41.6% (ton 16,6 us)
-
- VIN: tensione continua applicata in ingresso
 - VOUT: tensione di uscita
 - IOUT_max: corrente massima erogabile sul carico
 - ΔVOUT: ondulazione (ripple) della tensione di uscita VOUT
 - ΔIL: ripple della corrente nell'induttore
 - fs: frequenza di switching
 - D: duty cycle del segnale di switching

CALCOLO DEL DUTY CYCLE

In un alimentatore step-down, per calcolare il duty cycle dal valore della tensione d'ingresso VIN e della tensione di uscita VOUT, si applica la seguente formula:

$$D = V_{OUT} / V_{IN} = 5 / 12 \approx 0,416$$

Ciò significa che l'interruttore S1 resta chiuso per un tempo pari a:

$$t_{on} = 40 \cdot 0,416 = 16,64 \text{ us}$$

CALCOLO DELL'INDUTTANZA L1

Il calcolo dell'induttanza tiene conto del ripple (ΔIL=30% IOUT_max) della corrente nell'induttore:

$$\Delta I_L = 0,3 \cdot I_{OUT_max} = 0,3 \cdot 1 = 0,3 \text{ A}$$

La formula in **Figura 2** mostra il calcolo dell'induttanza L1:

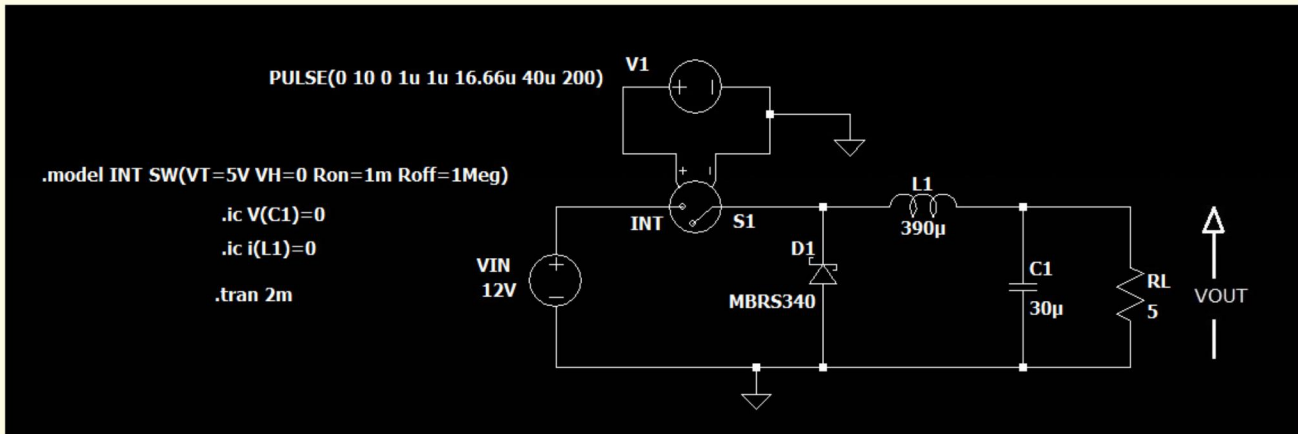


Figura 1: Schema del circuito sotto test dell'alimentatore step-down

$$L1 = \frac{V_{OUT} \cdot (V_{IN} - V_{OUT})}{\Delta I_L \cdot f_s \cdot V_{IN}}$$

Sostituendo i valori:

$$L1 = \frac{5V \cdot (12V - 5V)}{0.3A \cdot 25,000Hz \cdot 12V} = \frac{5 \cdot 7}{0.3 \cdot 300,000} = \frac{35}{90,000} \approx 0.000388 \text{ H} \approx 390 \mu\text{H}$$

Figura 2: Formula per il calcolo dell'induttanza L1

$$C1 = \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f_s \cdot \Delta V_{OUT}}$$

Sostituendo i valori:

$$C1 = \frac{0.3A}{8 \cdot 25,000 \cdot 0.3} = 0.00003 = 30 \mu\text{F}$$

QUELLO CHE HAI LETTO E' UN ESTRATTO, L'ARTICOLO COMPLETO E' RISERVATO AGLI ABBONATI AD ELETTRONICA OPEN SOURCE.

PERCHE' ABBONARSI A PLATINUM 2.0?

**UN ANNO DI FIRMWARE 2.0
TUTTI GLI ARTICOLI TECNICI RISERVATI
CONTEST E PROMOZIONI RISERVATI**



VOGLIO ABBONARMI!

STRATEGIE PER UN EDGE MACHINE LEARNING EFFICIENTE

di Redazione

L'Edge Machine Learning trasforma dispositivi a basso consumo in strumenti intelligenti. Ottimizzare energia, gestire il duty cycle e scegliere modelli leggeri permette inferenze rapide e autonomia prolungata. Si rende così possibile l'AI embedded anche su hardware limitato.

Negli ultimi anni, l'Edge Machine Learning, cioè l'**Intelligenza Artificiale** che funziona direttamente sui dispositivi, ha creato nuove possibilità applicative per sensori e sistemi alimentati a batteria. Parliamo di oggetti piccoli, spesso installati in luoghi difficili da raggiungere, che devono lavorare a lungo senza essere ricaricati. L'energia diventa una risorsa preziosa in questi contesti, da gestire con grande attenzione. Rendere intelligente un dispositivo non significa solo aggiungere algoritmi avanzati, ma progettare soluzioni capaci di consumare poco e durare nel tempo. Uno dei primi aspetti da considerare è la scelta del modello di Intelligenza Artificiale. Non tutti i modelli sono adatti a funzionare su dispositivi a batteria, ad esempio, quelli più complessi pensati per computer potenti rischiano di consumare energia in pochi minuti. Per questo si preferiscono modelli leggeri, progettati per svolgere compiti specifici con il minor numero possibile di calcoli. Ridurre le dimensioni del modello e semplificarne la struttura consente di ottenere buoni risultati senza sovraccaricare il dispositivo. In pratica, si cerca un equilibrio tra precisione delle previsioni e durata della batteria, evitando soluzioni eccessivamente pesanti.

Un altro punto fondamentale per risparmiare energia è il modo in cui il dispositivo viene tenuto attivo. Nella maggior parte dei casi, un sensore non ha bisogno di lavorare continuamente, può "dormire" per lunghi periodi e attivarsi solo quando succede qualcosa di rilevante, per permettere, attraverso cicli di attività e riposo, una drastica riduzione dei consumi. L'Intelligenza Artificiale entra in gioco proprio in questi momenti, analizzando i dati solo quando i sensori rilevano un cambiamento significativo. In tal modo, il sistema evita sprechi e concentra le risorse nei momenti davvero importanti.

Altrettanto decisiva è la gestione intelligente dei dati. Elaborare tutte le informazioni raccolte dai **sensori** richiede molta energia, così come trasmetterle verso sistemi esterni, per questo molti dispositivi analizzano i dati direttamente sul posto, scartando quelli inutili e conservando solo le informazioni essenziali. Filtrare i segnali, ridurne la quantità o semplificarne la rappresentazione consente di alleggerire il carico dell'Intelligenza Artificiale. Il risultato è un sistema più veloce, più efficiente e meno dipendente da connessioni continue con server remoti. Anche i sensori svolgono un ruolo

QUELLO CHE HAI LETTO E' UN ESTRATTO, L'ARTICOLO COMPLETO E' RISERVATO AGLI ABBONATI AD ELETTRONICA OPEN SOURCE.

PERCHE' ABBONARSI A PLATINUM 2.0?

**UN ANNO DI FIRMWARE 2.0
TUTTI GLI ARTICOLI TECNICI RISERVATI
CONTEST E PROMOZIONI RISERVATI**



VOGLIO ABBONARMI!

ABBONATI A

Firmware 2.0

PER AVERE **TUTTA L'ELETTRONICA A PORTATA DI CLICK** E RESTARE SEMPRE AGGIORNATO SULL'ELETTRONICA EMBEDDED, I MICROCONTROLLORI E L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA



 Elettronica Open Source

+ 150.000

REGISTERED USERS

+ 80.000 AVERAGE MONTHLY PAGEVIEWS

+ 500.000 2025 ANNUAL VISITORS

THE BIGGEST
**EMBEDDED
COMMUNITY**
IN ITALY

SOCIAL CONNECTIONS

 + 85.000

 + 30.000

CATEGORIES

PROFESSIONALS

53 %

ACADEMICS/STUDENTS

25 %

MAKERS/HOBBYISTS

22 %



Electronica Open Source