

Industry 4.0 Automation Projects



IN QUESTO NUMERO:

IL PUNTO SUGLI FPGA INDUSTRIALI

EDGE COMPUTING E INTELLIGENZA ARTIFICIALE DISTRIBUITA NELLE FABBRICHE CONNESSE

CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI - PUNTATA 32

E MOLTI ALTRI ARTICOLI E PROGETTI!



Abilitiamo l'Edge AI

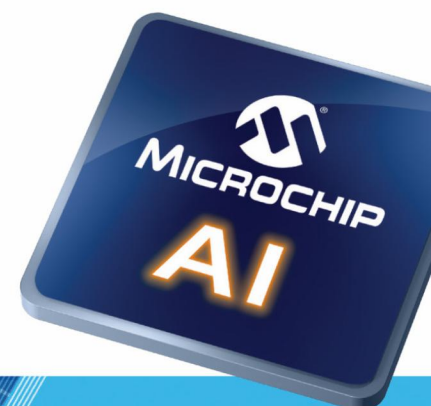
Hardware ottimizzato per modelli di apprendimento automatico

L'intelligenza artificiale (AI) e l'apprendimento automatico (ML) stanno trasformando interi settori industriali consentendo sistemi più intelligenti e autonomi. Tuttavia, l'implementazione dell'Edge AI, dove il processo decisionale in tempo reale è essenziale, richiede soluzioni altamente efficienti e a basso consumo, su misura per gli ambienti embedded. Microchip Technology è all'avanguardia in questa trasformazione con una suite completa di processori, FPGA e strumenti di sviluppo che rendono più facile che mai il portare intelligenza all'edge.

In settori critici come **fabbriche intelligenti, diagnostica medicale, sistemi automotive, attrezzature per l'edilizia, agricoltura** e le **città intelligenti**, portare l'intelligenza artificiale all'edge sta sbloccando informazioni in tempo reale e automatizzando le attività in cui la connettività cloud è limitata o la latenza una caratteristica inaccettabile. Che si tratti di manutenzione predittiva in fabbrica, monitoraggio dei pazienti in una stanza d'ospedale, rilevamento di oggetti in un cantiere o della gestione del traffico, a basso consumo energetico, le soluzioni Microchip consentono agli sviluppatori di implementare l'ML dove è più necessario.

Microchip semplifica il percorso verso l'integrazione dell'Edge AI con la sua **ML Development Suite**, un robusto kit di strumenti che semplifica l'addestramento, la quantizzazione e la distribuzione dei modelli sulle nostre piattaforme di microcontroller e microprocessori. Per l'inferenza edge ad alte prestazioni utilizzando FPGA, il nostro **VectorBlox® Accelerator Software Development Kit** consente un'implementazione rapida ed efficiente di reti neurali su FPGA PolarFire®, offrendo livelli di prestazioni-per-watt leader del settore.

Le nostre soluzioni sono progettate pensando alla scalabilità, alla sicurezza e all'affidabilità a lungo termine, garantendo che i sistemi di Edge AI possano funzionare senza problemi in ambienti esigenti. Con Microchip, gli sviluppatori possono costruire con sicurezza dispositivi edge intelligenti, efficienti, reattivi, e costruiti per il futuro.



microchip.com/EdgeAI

Il nome e logo Microchip e il logo Microchip sono marchi industriali registrati di Microchip Technology Incorporated negli U.S.A. e in altri Stati. Tutti gli altri marchi appartengono ai rispettivi titolari. © 2025 Microchip Technology Inc. Tutti i diritti riservati.
MEC2628A-ITA-09-25

COSA LEGGERAI NEL 2025?***TOPICS******MAKERS ZONE******DATA DI PUBBLICAZIONE***

PCB Design

Power Management

1 Febbraio

Embedded

Microcontrollers

1 Marzo

Automotive

Sensors

1 Aprile

Artificial Intelligence

Edge AI

1 Maggio

Raspberry Pi

Wearable Projects

1 Giugno

Wireless/RF

Retrogaming

1 Luglio

Arduino

Open Source Projects

1 Settembre

IoT

Smart Monitoring

1 Ottobre

Industry 4.0

Automation Projects

1 Novembre

Test&Measurements

Connectors

1 Dicembre

Automazione e intelligenza delle macchine per l'industria del futuro

Cari lettori, negli ultimi anni l'industria è cambiata profondamente, ben oltre la tradizionale automazione. La cosiddetta Industry 4.0, la **quarta rivoluzione industriale**, non si limita semplicemente a sostituire l'uomo con la macchina, ma punta ad un'integrazione intelligente più profonda tra sistemi fisici e digitali, dove sensori, algoritmi e reti di comunicazione lavorano in sinergia per creare fabbriche più efficienti, flessibili e sostenibili nel tempo, fabbriche che di questo cambiamento ne sono il nucleo centrale. In un impianto 4.0 ogni componente, dal macchinario al magazzino, è connesso e dialoga in tempo reale con il resto dell'infrastruttura produttiva. I dati, raccolti grazie a sensori IoT, vengono elaborati da piattaforme cloud e sistemi edge che ne estraggono informazioni utili per ottimizzare processi, ridurre sprechi, prevedere guasti e migliorare la qualità dei prodotti finali, non con il mero obiettivo di aumentare la produttività, ma rendendo il modello industriale capace di adattarsi rapidamente alle esigenze del mercato e di personalizzare i prodotti senza rinunciare all'efficienza tipica della produzione di massa. Uno dei punti cardine di questa evoluzione è l'automazione avanzata che unisce **robotica collaborativa, visione artificiale e Machine Learning**. I cobot, robot pensati per lavorare fianco a fianco con l'uomo, stanno diventando una realtà diffusa anche nelle PMI grazie a costi più accessibili e **interfacce di programmazione semplificate** che possono sfruttare l'integrazione di sistemi di visione 3D e Intelligenza Artificiale per consentire a queste macchine di riconoscere oggetti, adattarsi subito a variabili ambientali e prendere decisioni autonome. Il risultato è una produzione più flessibile ed una riduzione dei tempi di fermo. Sul fronte tecnologico, anche l'elettronica stimola l'evoluzione industriale: dalle schede embedded per il controllo dei processi ai moduli di comunicazione industriale basati su protocolli come OPC-UA, MQTT o Profinet, fino ai sensori intelligenti per la manutenzione predittiva, **ogni innovazione elettronica diventa un tassello fondamentale per costruire l'ecosistema digitale dell'industria del futuro**. E mentre le architetture hardware evolvono verso soluzioni più integrate ed a basso consumo, anche il software si spinge oltre, abbracciando la modellazione digitale con i digital twin, nonché la simulazione dei flussi produttivi e l'analisi in tempo reale dei dati. Sul piano economico, il mercato dell'automazione industriale conferma una crescita: secondo le principali analisi di settore, il **valore globale del comparto** supererà i 400 miliardi di dollari entro il 2030, trainato soprattutto da robotica, sensori intelligenti e sistemi di controllo evoluti. In Italia, un tessuto industriale fortemente orientato alla manifattura ha saputo cogliere questa opportunità con importanti investimenti in soluzioni per l'automazione e la digitalizzazione dei processi produttivi grazie anche agli incentivi del Piano Transizione 5.0. Da quanto detto, si evince che la trasformazione digitale dell'industria non è più un lontano traguardo futuro bensì una realtà in rapida espansione. La mission ora è sfruttarne il potenziale costruendo un **dialogo sempre più stretto tra elettronica, software e ingegneria dei sistemi**, in cui la conoscenza e la capacità di innovare diventano il vero motore dell'automazione. In questo numero di Firmware 2.0 dedichiamo il nostro focus al tema Industry 4.0 - Automation Projects, con una serie di articoli tecnici e approfondimenti pensati per chi vuole comprendere e sperimentare da vicino le tecnologie della nuova industria connessa. **Benvenuti nel futuro della produzione, una fabbrica dove l'intelligenza non è solo nelle macchine, ma in chi le progetta, le costruisce e le fa comunicare.**

Buona lettura!

Giordana Francesca Brescia



Espandi le tue competenze

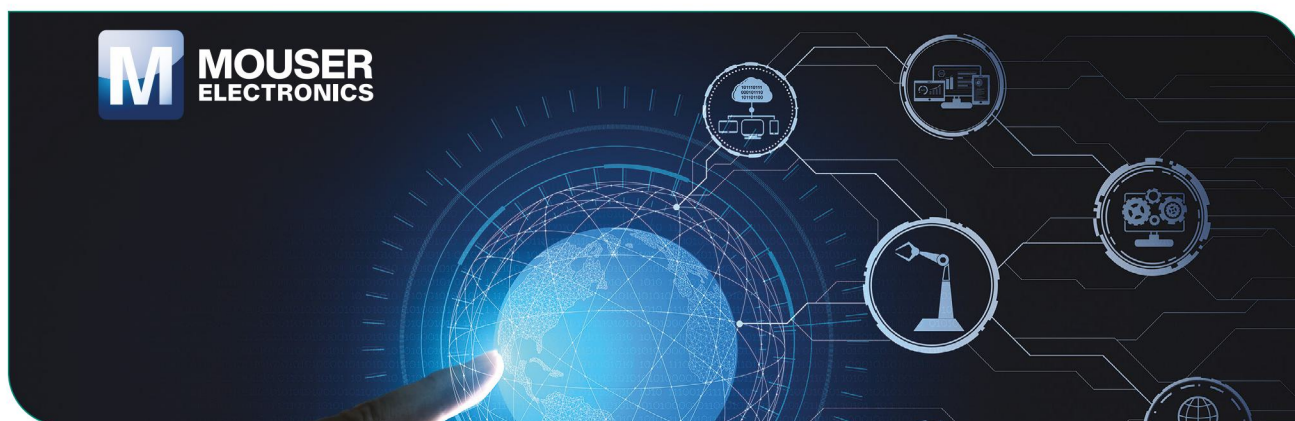
Consigli utili, strumenti e articoli
per i professionisti degli acquisti

resources.mouser.com/libreria-di-risorse-per-gli-acquisti



MOUSER
ELECTRONICS

Industry 4.0 Automation Projects



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 - 148.863
Social Network - 130.572

© 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
AUTOMAZIONE E INTELLIGENZA DELLE MACCHINE PER L'INDUSTRIA DEL FUTURO

3

IL PUNTO SUGLI FPGA INDUSTRIALI

7

EDGE COMPUTING E INTELLIGENZA ARTIFICIALE DISTRIBUITA NELLE FABBRICHE CONNESSE

12

NORMATIVE E STANDARD DI SICUREZZA FUNZIONALE NELL'AUTOMAZIONE 4.0

15

PROGETTO DI UN SISTEMA DOMOTICO INTELLIGENTE BASATO SU ESP32, ALEXA E GOOGLE ASSISTANT

17

HONEYWELL PER L'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE - EFFICIENZA, SICUREZZA E INTELLIGENZA OPERATIVA INTEGRATE

27

QUALCOMM ACQUISISCE ARDUINO - IL BRAND TORINESE VOLA NELL'ERA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE E DELL'EDGE COMPUTING OPEN SOURCE

29

L'IMPATTO DEI ROBOT COLLABORATIVI (COBOT) NELLA FABBRICA INTELLIGENTE

34

IL RUOLO DI ROCKWELL AUTOMATION NELLA FABBRICA SMART

37

UNA BREVE GUIDA AI PROTOCOLLI DI COMUNICAZIONE INDUSTRIALE NELL'ERA DELL'IIOT

38

AUTOMAZIONE INDUSTRIALE CON OMRON: INTELLIGENZA INTEGRATA TRA SENSORI, CONTROLLO E ROBOTICA COLLABORATIVA

40

CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI - PUNTATA 32

41

AUTOMAZIONE DI PROCESSO CON ABB PER L'INDUSTRIA DEL FUTURO

51

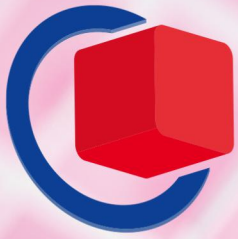
SILICON LABS LANCIA I NUOVI CHIP SUB-GHZ FG23L - PRESTAZIONI ELEVATE E COSTI CONTENUTI PER L'IOT DI NUOVA GENERAZIONE

52

I PRINCIPALI EVENTI DELL'ELETTRONICA IN PROGRAMMA PER IL 2026 - INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ E TECNOLOGIE EMBEDDED IN PRIMO PIANO

54





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

IL PUNTO SUGLI FPGA INDUSTRIALI

di Agostino Rolando

In questo articolo, prendiamo in considerazione i dispositivi FPGA (Field-Programmable Gate Array). L'obiettivo della trattazione è di presentare lo stato dell'arte sui dispositivi FPGA utilizzati in ambito industriale. In particolare, faremo una panoramica dei principali ambiti di utilizzo, analizzeremo le tendenze di impiego attuali e future, mettendo in evidenza la crescita di complessità di questi dispositivi e la vastità delle loro prestazioni nell'arco dell'ultimo trentennio. Ci soffermeremo, inoltre, sulla versatilità delle applicazioni dei dispositivi FPGA e sul continuo incremento degli ambiti di impiego. La nostra attenzione verterà poi sugli ambiti industriali che sono tra i più rappresentativi del mondo degli FPGA, mettendo a confronto le tecnologie tra gli anni '90 e 2010 rispetto a quelle dei recenti cinque anni. Il confronto verrà suddiviso per aspetti chiave, tra cui architettura, prestazioni, programmabilità, applicazioni industriali, tool di sviluppo e costi.

INTRODUZIONE

I dispositivi **FPGA** (**Field-Programmable Gate Array**) sono **circuiti integrati programmabili che offrono una notevole flessibilità e capacità di elaborazione parallela**. Grazie a queste caratteristiche, trovano applicazione in numerosi settori tecnologici. Vedremo nel seguito una panoramica dei principali ambiti di utilizzo. Per quanto riguarda il settore delle telecomunicazioni, gli **FPGA** sono componenti fondamentali nelle infrastrutture di rete, come router e switch, per l'elaborazione ad alta velocità dei dati. Supportano standard avanzati come 5G e 6G, gestendo grandi volumi di traffico con bassa latenza. La loro programmabilità consente aggiornamenti rapidi per adattarsi a nuovi protocolli. Nel settore automotive gli FPGA sono impiegati in *sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS)*, nei veicoli autonomi e nei sistemi di infotainment, ambiti in cui consentono di elaborare in tempo reale i dati provenienti da sensori come radar e telecamere, migliorando la sicurezza e l'efficienza del veicolo. In ambito industriale gli FPGA controllano macchinari e robot per gestire compiti complessi con alta precisione. Sono utilizzati anche in applicazioni che integrano funzioni di controllo standard e di sicurezza in un unico dispositivo, consentendo una riduzione dei costi e degli ingombri.

Inoltre, grazie alla loro affidabilità e resistenza a condizioni ambientali estreme, gli **FPGA** sono utilizzati in applicazioni critiche come sistemi radar, avionica e comunicazioni satellitari. La loro capacità di elaborazione in tempo reale e resistenza alle radiazioni (caratteristica denominata RAD Hardening) è essenziale per missioni spaziali e operazioni militari. Un settore particolarmente promettente è rappresentato dall'**Intelligenza Artificiale**, dove gli FPGA consentono di accelerare algoritmi di Machine Learning con prestazioni elevate e consumi

energetici ridotti; sono particolarmente utilizzati anche in applicazioni che richiedono bassa latenza come l'elaborazione di dati in tempo reale nei data center.

Nel campo del calcolo ad alte prestazioni, vengono impiegati per accelerare simulazioni scientifiche, nella crittografia e in altre applicazioni che richiedono calcolo intensivo. La loro capacità di elaborazione parallela li rende ideali per gestire grandi volumi di dati. I dispositivi trovano impiego in svariate apparecchiature medicali, ad esempio per l'elaborazione di immagini ad alta risoluzione in tempo reale ed in sistemi per la risonanza magnetica e per ultrasuoni. La loro precisione e velocità consentono di migliorare la qualità delle diagnosi. La programmabilità degli **FPGA** è inoltre particolarmente adatta per l'implementazione di algoritmi crittografici personalizzati, che offrono soluzioni sicure per la protezione dei dati e delle comunicazioni.

UN PÒ DI STORIA...

La nascita delle logiche programmabili e la fondazione delle architetture FPGA si può collocare tra gli anni 1980 e 1990. Al 1985 risale il primo dispositivo FPGA commerciale (XC2064) prodotto dall'azienda Xilinx. Nel 1990, Altera, Actel (oggi Microchip) e Lattice Semiconductor entrano nel mercato con dispositivi basati su "antifusibili" e SRAM. La tecnologia si basa su semplici blocchi logici e interconnessioni programmabili di base. La capacità è limitata e va dal centinaio al migliaio di gate. In questo periodo i disegni circuitali di schematica impiegano dispositivi FPGA per realizzare la cosiddetta "glue logic", a rimpiazzare le funzioni che prima si implementavano con una moltitudine di componenti logici a bassa/media scala di integrazione in tecnologia TTL/CMOS. Le applicazioni principali sono nei sistemi militari/aerospaziali e nelle telecomunicazioni. Sono molto

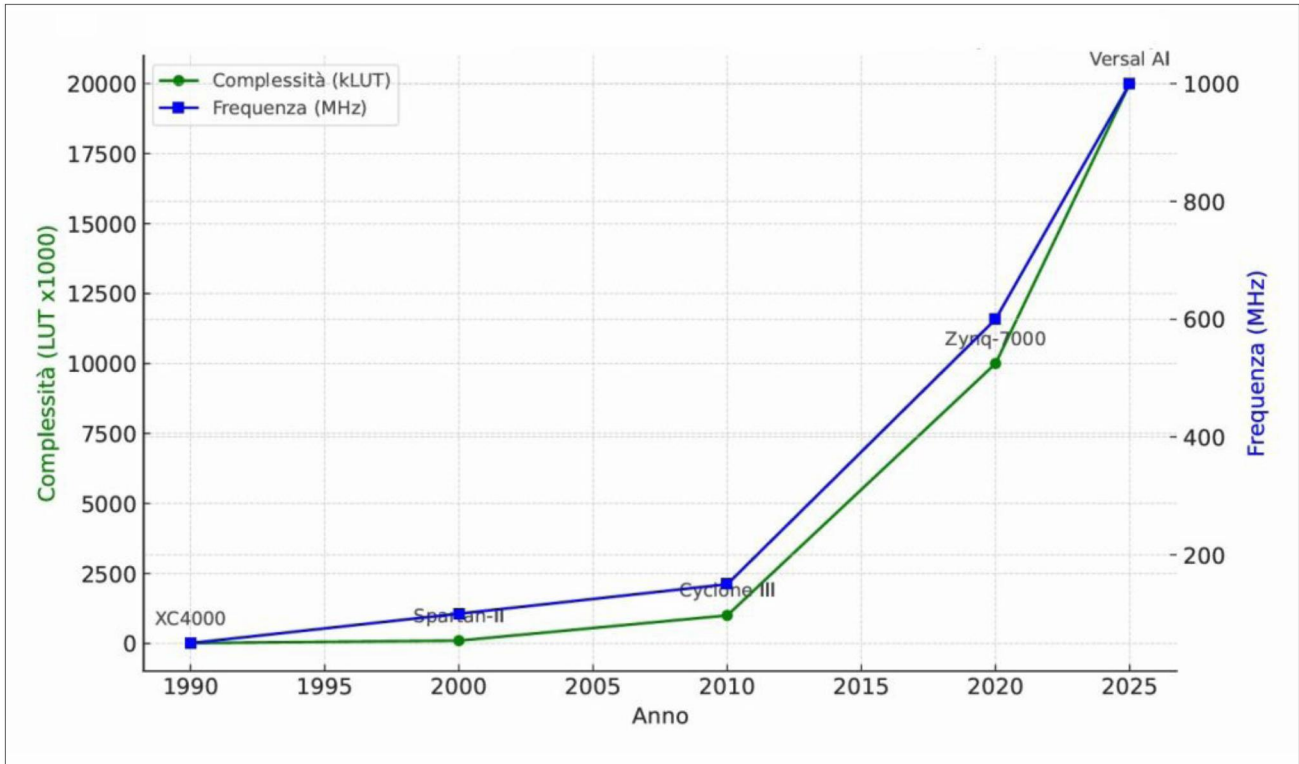


Figura 1: Evoluzione della complessità e prestazioni degli FPGA (1990-2025)

rari gli impieghi nei settori di nicchia di mercato, a causa degli alti costi e delle limitate performance; in questa fase di sviluppo, infatti, i consumi sono ancora elevati, le frequenze di clock limitate ed i tool di sviluppo per il progettista sono poco efficienti.

Nel successivo periodo, che possiamo identificare tra gli anni 2000 e 2010, si assiste ad un crescendo nella complessità dei dispositivi FPGA, di pari passo allo scalamento delle funzionalità, e si intraprende allo stesso tempo un percorso di integrazione sul chip di interi sistemi. Negli anni 2000, Xilinx presenta la famiglia Virtex e Altera la Stratix, con esse si introducono moltiplicatori embedded, blocchi di RAM e blocchi funzionali

ampliano, spaziando dal networking per le telecomunicazioni, all'automotive per sistemi di assistenza alla guida, all'elettronica di consumo per il processing video, fino ai dispositivi IoT di tipo edge. In questo periodo vengono raffinati tools software per la sintesi di alto livello (ad esempio Vivado di Xilinx).

Dal 2020 ad oggi si assiste allo sviluppo di FPGA come elementi-base del calcolo adattivo per applicazioni di IA in ambito cloud. La recente fase storica è caratterizzata da un'imponente accelerazione tecnologica e da una notevole eterogeneità dei campi di applicazione; le tappe significative sono le seguenti: nei primi anni 2020, le famiglie Versal di Xilinx e Agilex di Intel mettono insieme

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!

EDGE COMPUTING E INTELLIGENZA ARTIFICIALE DISTRIBUITA NELLE FABBRICHE CONNESSE

di **Giordana Francesca Brescia**

Le fabbriche connesse hanno un impatto sulla produzione industriale grazie all'integrazione di tecnologie digitali avanzate che permettono di ottimizzare processi, ridurre i tempi di inattività e incrementare l'efficienza complessiva. L'Edge Computing e l'Intelligenza Artificiale distribuita vengono considerati i punti centrali di questa evoluzione, dal momento che consentono un'elaborazione locale dei dati, e permettono di garantire tempi di risposta più rapidi oltre ad un controllo più sicuro delle infrastrutture produttive. L'adozione combinata di edge devices e AI accelera la convergenza tra automazione, analisi predittiva e resilienza operativa.

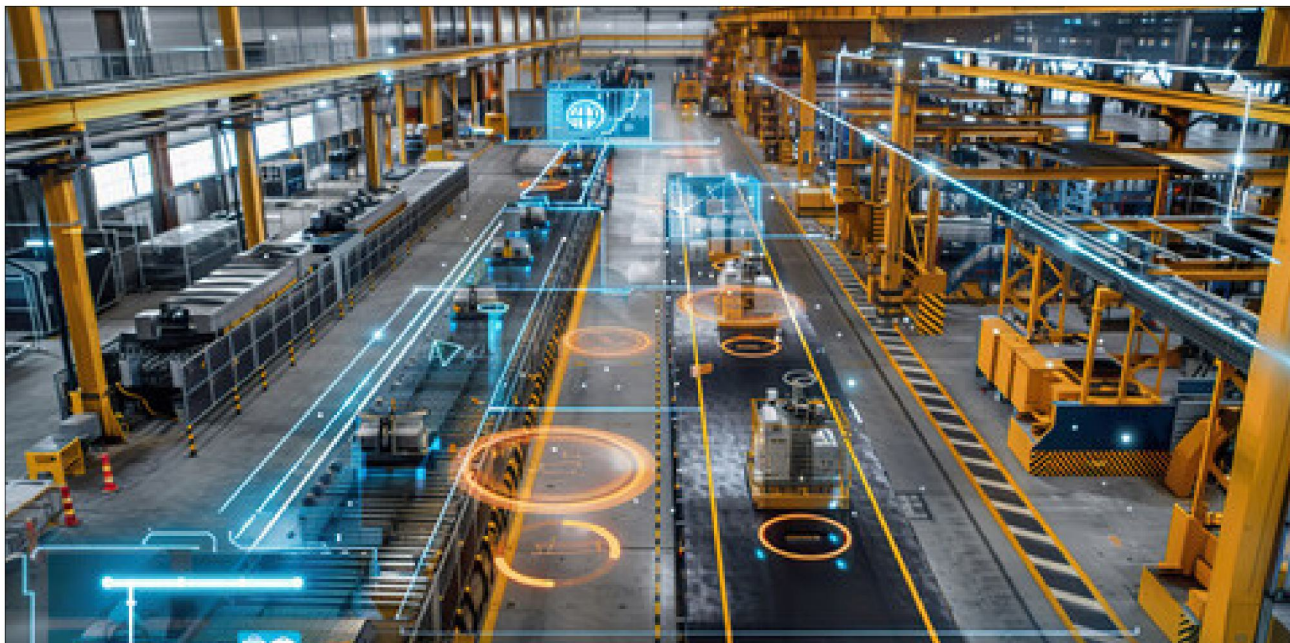
L'Edge Computing in ambito industriale si caratterizza per la capacità di elaborare informazioni direttamente vicino alla sorgente che le genera, con il risultato di una riduzione del flusso di dati verso sistemi cloud centralizzati, ed un miglioramento dell'efficienza delle applicazioni mission-critical. L'elaborazione distribuita permette quindi di abbattere la latenza, requisito essenziale in scenari dove un ritardo di pochi millisecondi può comportare perdite importanti o problemi di sicurezza. Nelle fabbriche connesse, macchine utensili, robot collaborativi e sistemi di visione artificiale richiedono decisioni in tempo reale che non possono dipendere da infrastrutture di rete esterne o da centri dati remoti. L'approccio edge consente di trattare immediatamente le informazioni provenienti da **sensori** e attuatori, pur mantenendo al minimo la dipendenza dal cloud e garantendo continuità operativa anche in caso di interruzioni della connettività.

Il ruolo dell'Intelligenza Artificiale distribuita si inserisce in questo contesto come elemento basilare per rendere l'elaborazione locale veloce e intelligente, grazie ad algoritmi di Machine Learning e Deep Learning che vengono implementati direttamente su microcontrollori AI-ready e FPGA con acceleratori integrati, e che consentono di identificare anomalie, prevedere guasti e ottimizzare la manutenzione delle macchine senza necessità di inviare grandi volumi di dati verso il cloud. La vicinanza dell'elaborazione ai sistemi di produzione permette di creare modelli adattivi che si aggiornano in base alle condizioni operative reali, il tutto favorendo un approccio data-driven che migliora progressivamente

l'efficienza e la qualità della produzione. I microcontrollori AI-ready vengono considerati un elemento essenziale in questa architettura; progettati per integrare capacità di calcolo dedicate agli algoritmi di apprendimento automatico, permettono di eseguire inferenze direttamente a bordo macchina, inoltre, la riduzione dei consumi energetici e la possibilità di operare in spazi limitati li rendono ideali per l'integrazione in sensori intelligenti e dispositivi al margine della rete.

“In scenari industriali complessi, la capacità di eseguire modelli di riconoscimento in tempo reale direttamente su un microcontrollore evita colli di bottiglia nella trasmissione dati e contribuisce a mantenere costante la produttività delle linee di produzione.”

Parallelamente, l'utilizzo di **FPGA** con acceleratori integrati offre una notevole flessibilità per applicazioni che richiedono elevata capacità di calcolo e adattabilità. Gli FPGA consentono, infatti, di implementare pipeline di elaborazione ottimizzate per specifici algoritmi di Intelligenza Artificiale e garantire al contempo sia alte prestazioni sia una minore latenza. Va considerato anche che **la possibilità di riconfigurare dinamicamente la logica interna permette di aggiornare i modelli AI o di adeguare l'hardware a nuove esigenze senza sostituire i dispositivi**. In un contesto produttivo in continua evoluzione, la riconfigurabilità offre quel vantaggio competitivo che consente alle imprese di mantenere la flessibilità e ridurre i tempi di adattamento alle nuove



esigenze di mercato.

La sinergia tra microcontrollori AI-ready e FPGA con acceleratori integrati è il punto di partenza per generare un'efficiente architettura industriale ibrida dove dispositivi a basso consumo energetico si affiancano a piattaforme altamente performanti per coprire l'intero spettro di esigenze. Nei sistemi di visione artificiale per il controllo qualità, ad esempio, **un FPGA può gestire l'elaborazione intensiva delle immagini ad alta risoluzione, mentre microcontrollori AI-ready integrati nei sensori si occupano del pre-processing e del filtraggio dei dati.** La distribuzione del carico computazionale

riduce di molto i tempi di elaborazione complessivi e consente di ottenere decisioni rapide e accurate che, a loro volta, migliorano l'affidabilità delle linee produttive. E c'è di più. L'integrazione dell'Edge Computing con l'Intelligenza Artificiale distribuita non si limita alla gestione delle macchine, ma si estende all'intero ecosistema industriale connesso. Le reti di fabbriche intelligenti possono coordinare in tempo reale flussi di materiali, monitorare condizioni ambientali e ottimizzare il consumo energetico con l'obiettivo di ridurre i costi operativi e l'impatto ambientale. La disponibilità di dati elaborati localmente aiuta inoltre a condividere solo le informazioni

**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 PER RAGAZZI – PUNTATA 32

di Fulvio De Santis

Nella **precedente puntata** sulla polarizzazione del transistor, abbiamo analizzato, calcolato e simulato un circuito di polarizzazione alimentato da due tensioni di alimentazione. Inoltre, abbiamo analizzato graficamente, calcolato e simulato un semplice circuito a singola alimentazione del tipo con due resistori di polarizzazione. In questa puntata, proseguiremo l'argomento sulla polarizzazione del transistor in zona attiva descrivendo altri tipi di circuiti di polarizzazione a singola alimentazione.

CIRCUITO DI POLARIZZAZIONE DEL TRANSISTOR A SINGOLA ALIMENTAZIONE CON DUE RESISTORI

In questa parte della puntata analizzeremo ancora un circuito di polarizzazione del **transistor** a singola alimentazione con due resistori, ma a differenza del circuito con due resistori che abbiamo trattato nella puntata **“Corso di Elettronica per ragazzi - Puntata 31”**, in questo circuito, uno dei due resistori è collegato fra il collettore e la base, come mostrato in **Figura 1**.

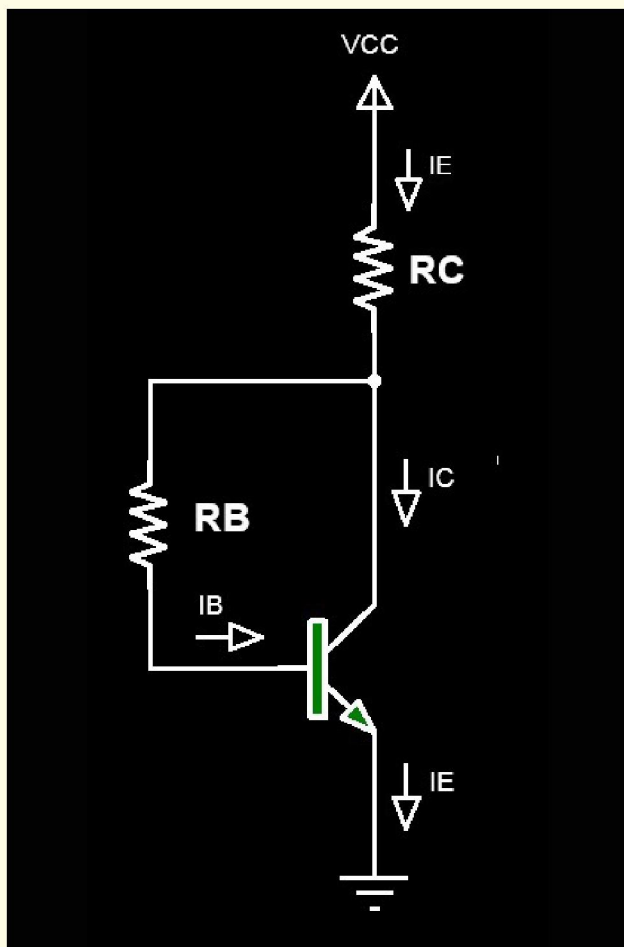


Figura 1: Circuito di polarizzazione con RB fra collettore e base

Questo circuito è costituito da un transistor NPN e due resistori, ed è alimentato da una sola sorgente di alimentazione. Il circuito configurato ad emettitore comune è alternativo al precedente sopra citato, ma, come vedremo, è più efficace per quanto riguarda la stabilizzazione del punto di funzionamento a riposo del transistor. Analizziamo il circuito. Appliciamo la Legge di Kirchhoff delle tensioni (LKV) alla maglia VCC-RC-RB-BE:

$$VCC - RC \cdot IE - RB \cdot IB - VBE = 0$$

Considerando che $IB = IC/\beta$ e che $IC = \alpha \cdot IE$, si ha $IB = IE/(\beta + 1)$, che andiamo a sostituire nella precedente relazione:

$$VCC - RC \cdot IE - RB \cdot IE/(\beta + 1) - VBE = 0$$

Ora, ricaviamo la IE, poiché ci interessa stabilire quanto è sensibile dal parametro β la corrente che fluisce nel transistor:

Isoliamo a destra i termini contenenti la IE ed a sinistra quelli che non la contengono:

$$VCC - VBE = RC \cdot IE + RB \cdot IE/(\beta + 1)$$

Mettiamo in evidenza IE:

$$VCC - VBE = IE \cdot (RC + RB/(\beta + 1))$$

Infine, calcoliamo la corrente IE con la seguente **Formula 1**:

$$IE = \frac{VCC - VBE}{RC + RB/(\beta + 1)}$$

Figura 4: Formula della corrente IE

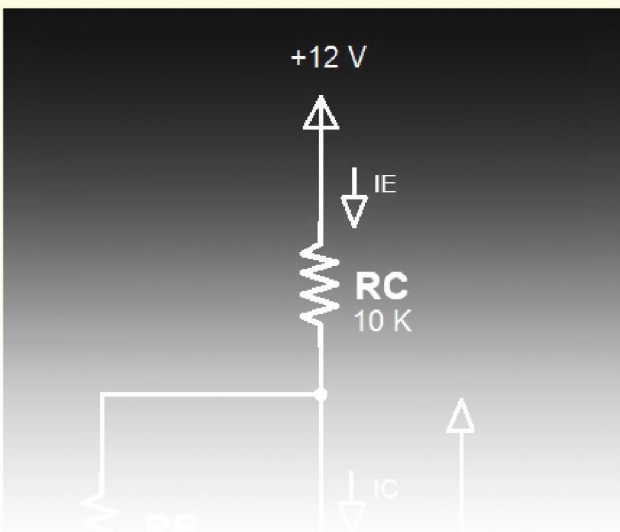
Dalla formula di I_E , per rendere la I_E ininfluente da β , il termine $R_B/(\beta+1)$ al denominatore dovrebbe essere di valore talmente basso, o una R_C molto alta, tale da ottenere $R_C \gg R_B/(\beta+1)$. Analizziamo quanto affermato con la seguente esercitazione.

ESERCITAZIONE TEORICA 1

Considerando ancora il circuito di **Figura 1**, si richiede che il transistor funzioni in zona attiva e si supponga che sia: il guadagno in corrente continua del transistor $\beta=100$, la tensione base-emettitore $V_{BE}=0,7$ V, la tensione di alimentazione $+12$ V e la resistenza $R_C=10$ K Ω . In riferimento alla formula della corrente di emettitore I_E sopra mostrata, per rispettare la disuguaglianza $R_C \gg R_B/(\beta+1)$ che comporterebbe l'ininfluenza di β sulla corrente I_E , ipotizziamo che la resistenza R_B sia pari a 10 K Ω . Si ricava la seguente relazione:

$$R_B/(\beta+1)=10000/(101)\approx 100 \Omega$$

La **Figura 2** riporta lo schema del circuito con i valori dei resistori R_C e R_B .



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

Quindi, il termine $R_B/(\beta+1)$ si può considerare trascurabile rispetto a R_C , essendo R_C 100 volte più grande, ne consegue che il parametro β non compare nella formula della I_E (**Formula 2**):

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C}$$

Che per $V_{CC} \gg V_{BE}$ si riduce così:

$$I_E = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Formula 2: Calcolo della I_E per $V_{CC} \gg V_{BE}$

Quindi, per $V_{CC} \gg V_{BE}$, la I_E è indipendente anche dalla V_{BE} .

Purtroppo non è così semplice la soluzione di imporre $R_C \gg R_B/(\beta+1)$, in quanto il transistor utilizzato come amplificatore di tensione deve funzionare in zona attiva, come richiesto sopra, ovvero deve garantire una sufficiente dinamica del segnale di uscita all'interno della zona attiva. Una resistenza di base R_B troppo bassa rischia di ridurre l'escursione del segnale sul collettore, in quanto è determinata dalla differenza di potenziale $V_C - V_B$, ma essendo fissata a 0,7 V la V_B , in realtà la dinamica dipende da V_C , come si evince dalla relazione seguente:

$$V_{CB} = R_B \cdot I_B = R_B \cdot I_E / (\beta + 1)$$

Ora, dato che la tensione V_{BE} (e quindi V_B , essendo a massa l'emettitore) del transistor è pari a 0,7 V, la corrente di base I_B è data dalla seguente relazione (Formula 3):

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

+ 145.000

REGISTERED USERS

7.414

 AVERAGE DAILY PAGEVIEWS (FEB2020)

830.610

 2020 ANNUAL VISITORS

THE BIGGEST EMBEDDED COMMUNITY IN ITALY

SOCIAL CONNECTIONS

 + 83.000

 + 23.000

CATEGORIES

PROFESSIONALS

53 %

ACADEMICS/STUDENTS

25 %

MAKERS/HOBBYISTS

22 %

