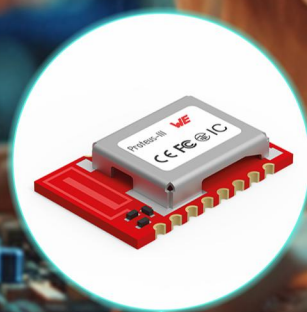
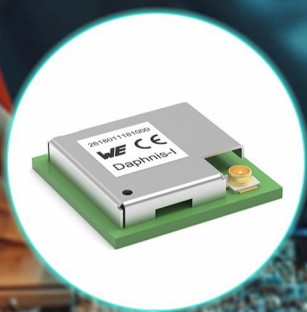


IoT Smart Monitoring

DigiKey



WÜRTH
ELEKTRONIK



IN QUESTO NUMERO:

GUIDA ALLA PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA IOT DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

UN ECONOMICO SISTEMA DI VIDEOSORVEGLIANZA CON L'ESP32-CAM

CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI - PUNTATA 31

E MOLTI ALTRI ARTICOLI E PROGETTI!

SEMICONDUTTORI DA FORNITORI AFFIDABILI

LAVORIAMO CON
PRODUTTORI E DISTRIBUTORI,
CHE CONOSCIAMO BENE.



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

Ci trovi su:      

tme.eu

YOU NEED IT, WE HAVE IT!

■ ■ ■ tme.com ■

COSA LEGGERAI NEL 2025?

<i>TOPICS</i>	<i>MAKERS ZONE</i>	<i>DATA DI PUBBLICAZIONE</i>
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

IoT, dati e intelligenza: l'elettronica diventa smart

Cari lettori,
il nuovo numero di Firmware 2.0 nasce in un momento in cui l'Internet of Things (IoT) non è più soltanto un tema di ricerca o una promessa tecnologica, ma diventa elemento concreto per la trasformazione digitale che sta cambiando interi settori industriali e la nostra vita quotidiana. Con oltre 15 miliardi di dispositivi connessi stimati a livello globale, l'IoT si sta affermando come una piattaforma abilitante per nuovi servizi ed un alleato nella transizione ecologica. Al centro di questa evoluzione c'è lo smart monitoring che si traduce nella capacità di raccogliere, trasmettere ed elaborare dati in tempo reale provenienti da sensori distribuiti sul campo. Che si tratti di impianti di produzione, sistemi di gestione energetica, infrastrutture urbane o applicazioni consumer, il monitoraggio intelligente diventa la base per ridurre i costi operativi, anticipare i guasti e migliorare la sostenibilità dei processi nel tempo. **Non è un caso che il settore dell'IoT per l'industria e la smart city sia tra i più dinamici e promettenti**, spingendo aziende e progettisti ad investire in soluzioni sempre più affidabili e sicure.

Nel contesto elettronico il monitoraggio intelligente spazia dalla scelta dei microcontrollori a basso consumo energetico al design di moduli di connettività compatibili con più protocolli (Wi-Fi, BLE, LoRaWAN, 5G, etc.) fino all'implementazione di algoritmi di edge computing in grado di analizzare i dati localmente e ridurre la dipendenza dal cloud. L'hardware si fonde così con l'Intelligenza Artificiale per dare vita a dispositivi capaci di rilevare parametri, interpretare comportamenti e anticipare anomalie. In questo numero, troverete approfondimenti sulle tecnologie emergenti, progetti pratici e case study sullo smart monitoring con soluzioni applicative, e alcune delle novità più rilevanti nel settore elettronico. Prosegue inoltre il nostro Corso di Elettronica per ragazzi, un appuntamento mensile che ci sta particolarmente a cuore: formare le nuove generazioni significa stimolare curiosità e creatività, elementi fondamentali per affrontare le sfide tecnologiche del domani. L'IoT e lo smart monitoring ci mostrano che **il futuro dell'elettronica non è fatto solo di componenti, ma di connessioni intelligenti e di una nuova cultura nell'utilizzo dei dati**. Firmware 2.0 vuole essere il luogo dove questa trasformazione trova spazio, idee e concretezza.

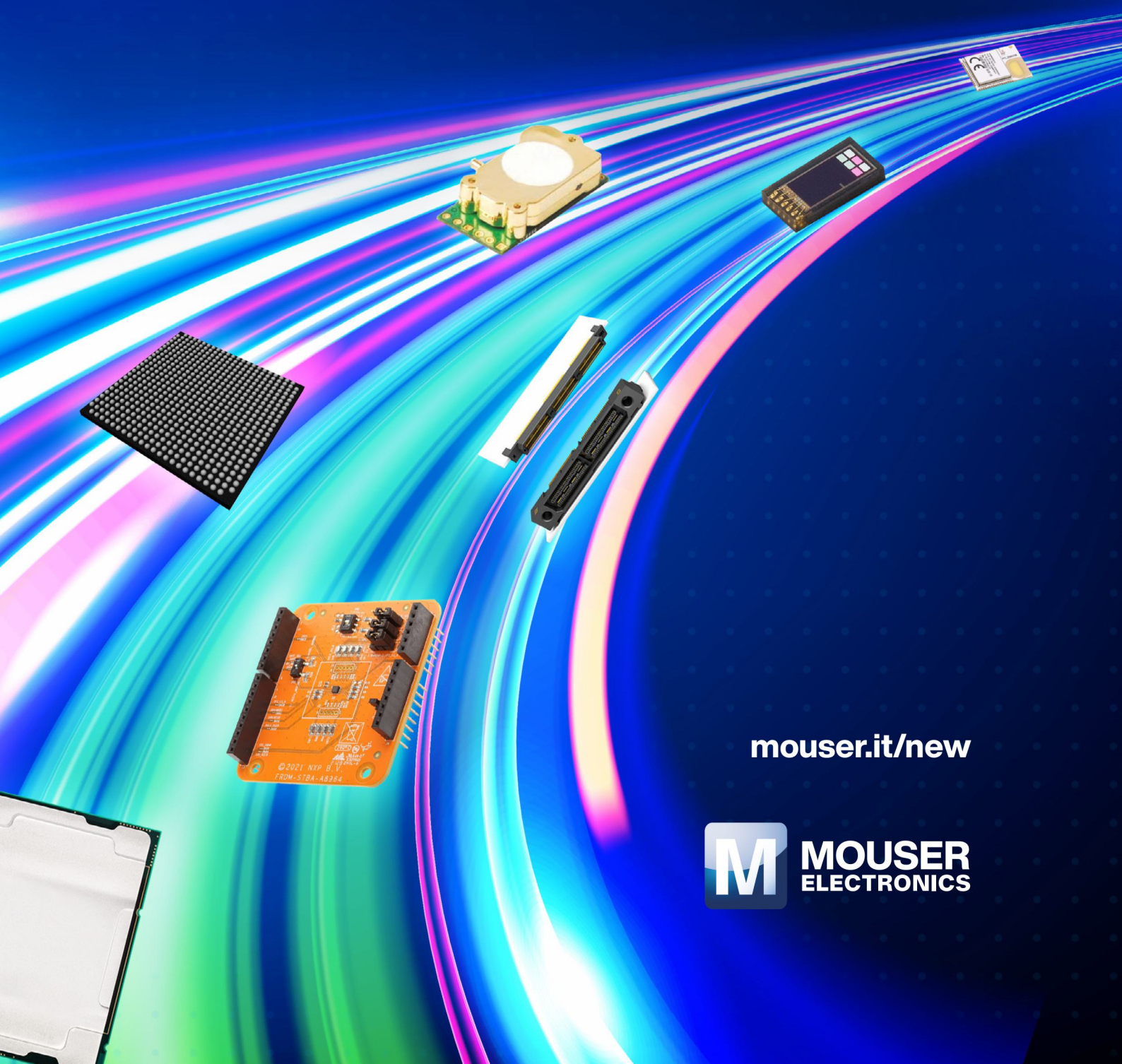
Buona lettura!

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)



IoT Smart Monitoring



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 - 148.737
Social Network - 130.593

© 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

IOT, DATI E INTELLIGENZA: L'ELETTRONICA DIVENTA SMART **3**

GUIDA ALLA PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA IOT DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA **6**

UN ECONOMICO SISTEMA DI VIDEOSORVEGLIANZA CON L'ESP32-CAM **21**

PROTOCOLLI E STANDARD EMERGENTI PER IL MONITORAGGIO IOT: DA MQTT-SN AL MATTER **27**

ESP32-S3-WROOM-1U, I MODULI ESPRESSIF DISTRIBUITI DA TME PER L'EVOLUZIONE DELL'IOT E DELL'AIOT **30**

ARCHITETTURA EDGE AI PER LO SMART MONITORING. QUALI I VANTAGGI RISPETTO AL CLOUD? **33**

AIOT: INTELLIGENZA ARTIFICIALE E INTERNET OF THINGS INSIEME PER UN FUTURO CONNESSO E INTELLIGENTE **36**

ASPETTI TECNICI DELL'EDGE COMPUTING **38**

IL MERCATO DELLE SOLUZIONI IOT PER IL MONITORAGGIO SMART: DAI GIGANTI TECNOLOGICI ALLE STARTUP INNOVATIVE **42**

GRAFENE ULTRAVELOCE PER CHIP E BATTERIE DI NUOVA GENERAZIONE **46**

ANALISI TECNICA DEL TESTING NELLE PIATTAFORME IOT OPEN SOURCE **47**

GUIDA ALLE ARCHITETTURE IOT OPEN SOURCE: TECNOLOGIE, PROTOCOLLI E PIATTAFORME A CONFRONTO **49**

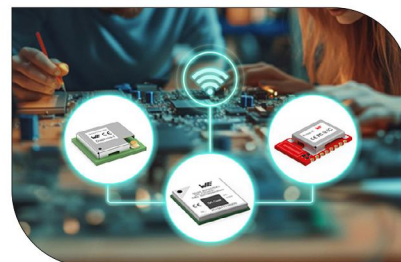
RASPBERRY PI 5: DISPONIBILE IL NUOVO SSD NVME M.2 2230 DA 1 TB AD ALTE PRESTAZIONI **51**

OPENAI E BROADCOM: IN ARRIVO IL PRIMO CHIP AI PROPRIETARIO PER RIDURRE LA DIPENDENZA DA NVIDIA **52**

CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI - PUNTATA 31 **54**

IL CHIP NEUROMORFICO DI SEMIQA PER L'EDGE AI **65**

NVIDIA E ANALOG DEVICES INSIEME PER L'INTELLIGENZA FISICA NEI ROBOT UMANOIDI **66**



GUIDA ALLA PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA IOT DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

di Fulvio De Santis

In questo articolo, viene proposta una guida in cui descriveremo passo-passo come realizzare il progetto di un sistema IoT di monitoraggio della qualità dell'aria. Nel progetto si prevede di utilizzare il microcontrollore ESP32, il sensore Nova PM SDS011, il sensore MQ-7 e il sensore DHT11. Viene inoltre previsto l'impiego di un display OLED per visualizzare i valori di qualità dell'aria PM2.5 e PM10. Il sistema di monitoraggio consente di misurare la concentrazione di PM2.5, PM10 e monossido di carbonio (CO), la temperatura e l'umidità ambientale. I valori dei suddetti parametri saranno utilizzati per calcolare il massimo valore dell'indice di qualità dell'aria (AQI). I sei parametri saranno pubblicati sul cloud mediante la piattaforma Adafruit IO, che consentirà il monitoraggio della qualità dell'aria da qualsiasi parte del mondo.

INTRODUZIONE

Il monitoraggio della qualità dell'aria consiste nell'attività di misurazione del livello di inquinamento dell'aria, quindi, considerando che viviamo grazie al fatto che respiriamo aria, è molto importante conoscere i rischi che corriamo se l'aria non è sicura. Si consideri che l'Italia, rispetto agli altri paesi europei, ha il più elevato tasso di mortalità relativamente all'inquinamento dell'aria. Ciò è da addebitare essenzialmente ad un'elevata circolazione di automobili e alle elevate emissioni gassose dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento ambientale.

IL PARTICOLATO PM2.5 E PM10

La maggior parte delle cause di mortalità da **inquinamento dell'aria** è causata dalla notevole presenza di polveri sottili: il particolato (in inglese: **Particulate Matter-PM**). Il particolato consiste in piccolissime particelle solide e liquide, classificabili in PM10 (da 2,5 a 10 micrometri) e in PM2.5 (inferiori a 2,5 micrometri). Il particolato è rilevabile grazie all'impiego di avanzati specifici sensori utilizzati nelle centraline di monitoraggio dell'inquinamento dell'aria, generalmente installate nelle città e nelle zone considerate di maggior rischio per la salute. I sensori nei sistemi di monitoraggio sono in grado di misurare in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ la concentrazione di particolato. La **Figura 1** riporta una tabella con gli indicatori europei della qualità dell'aria CAQI (Common Air Quality Index) per fasce di colori ed i corrispondenti valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ delle concentrazioni di Ozono (O₃), di biossido di azoto (NO₂) e di particolato PM2.5 e PM10. Bassi valori

del CAQI indicano buona qualità dell'aria, ossia, basso rischio per la salute.

IL MONOSSIDO DI CARBONIO

Il monossido di carbonio è un gas incolore e inodore che si forma quando il carbonio non brucia completamente. La maggior parte dell'inquinamento da monossido di carbonio proviene dai veicoli, ma è causato anche dalla combustione industriale, dalle stufe a legna e dagli incendi boschivi. Livelli elevati di monossido di carbonio si verificano spesso con il freddo, poiché le basse temperature rendono la combustione meno completa e mantengono il gas più vicino al suolo.

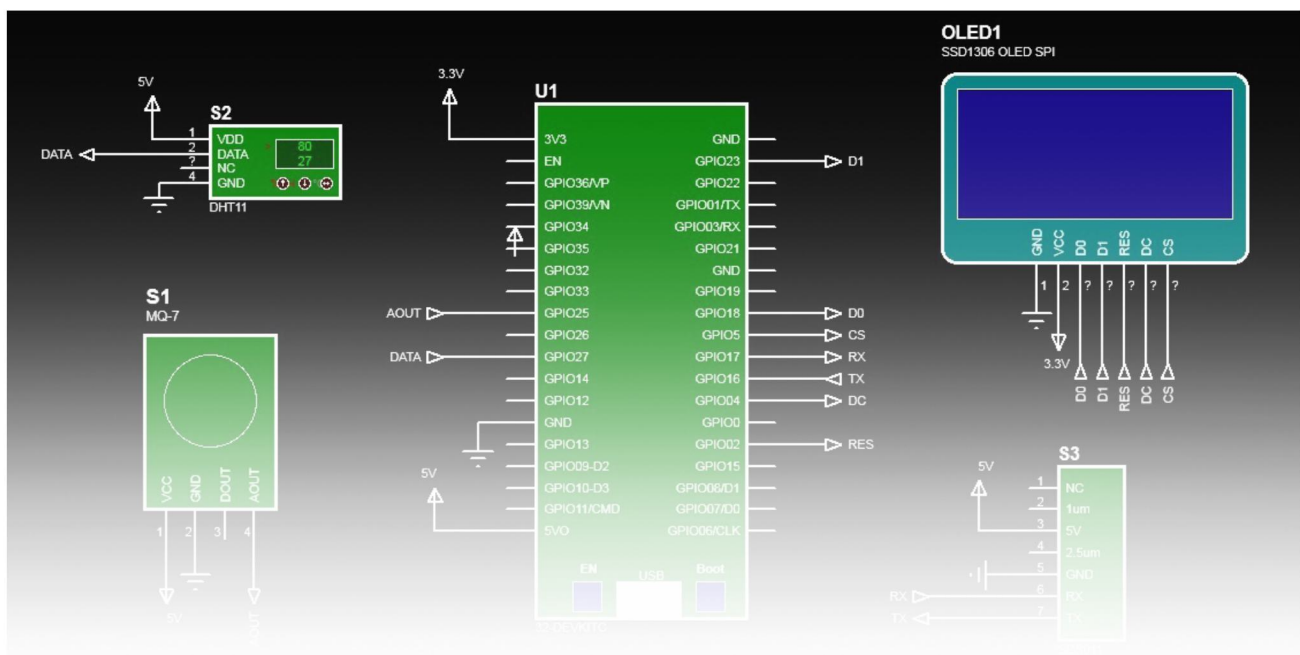
Poiché il monossido di carbonio riduce la quantità di ossigeno che raggiunge gli organi del corpo, può causare sintomi simili all'influenza e dolore toracico nelle persone con malattie cardiovascolari. Sebbene tutti siano suscettibili all'avvelenamento da monossido di carbonio, i neonati, i neonati, gli anziani e le persone con malattie cardiache croniche, anemia o problemi respiratori, sono i più a rischio. Livelli elevati di monossido di carbonio possono provocare vertigini, visione offuscata e confusione; livelli molto elevati possono causare la morte.

IL PROGETTO

Considerando quanto esposto nell'introduzione, la necessità di monitorare la **qualità dell'aria** in tempo reale è evidentemente molto importante per la salvaguardia della nostra salute, ed è per questo che teniamo partico-

Qualitative name	Index or sub-index	Pollutant (hourly) density in $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		NO ₂	PM ₁₀	O ₃	PM _{2.5} (optional)
Very low	0–25	0–50	0–25	0–60	0–15
Low	25–50	50–100	25–50	60–120	15–30
Medium	50–75	100–200	50–90	120–180	30–55
High	75–100	200–400	90–180	180–240	55–110
Very high	>100	>400	>180	>240	>110

Figura 1: Indicatori europei della qualità dell'aria (CAQI)



**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!

UN ECONOMICO SISTEMA DI VIDEOSORVEGLIANZA CON L'ESP32-CAM

di Andrea Garrapa

*In questo progetto, grazie ad una scheda ESP32-CAM e ad un supporto rotante e inclinabile, per mezzo di due servomotori SG90, andremo a realizzare un'applicazione a basso costo per la videosorveglianza. Mediante un **web server** sarà possibile eseguire lo streaming video in tempo reale e visualizzare sul proprio smartphone ciò che viene inquadrato dalla fotocamera della scheda ESP32-CAM. All'interno del web server saranno presenti quattro pulsanti che comanderanno i servomotori in modo da far ruotare e inclinare la fotocamera e quindi modificare la scena inquadrata.*

INTRODUZIONE

Per questo progetto, è necessaria una scheda di sviluppo **ESP32-CAM** con accesso a due GPIO per controllare i due servomotori. Nel caso specifico abbiamo utilizzato i seguenti componenti:

- ESP32-CAM AI-Thinker
- Adattatore USB Seriale FTDI (opzionale ma consigliato)
- Staffa girevole e inclinabile
- 2 servomotori SG90
- Basetta sperimentale (opzionale)
- Cavi di collegamento
- IDE Arduino

COS'È UN SERVOMOTORE?

Un **servomeccanismo** è un meccanismo alimentato che produce movimento o forza ad un livello di energia superiore al livello di ingresso e viene impiegata la retroazione per rendere automatico il controllo. Un servomeccanismo consiste principalmente di tre componenti di base:

1. Un dispositivo controllato
2. Un sensore di uscita
3. Un sistema di feedback

Un servomeccanismo è un sistema di controllo automatico a circuito chiuso, invece di controllare un dispositivo applicando un segnale di ingresso variabile, il dispositivo è controllato da un segnale di feedback generato confrontando il segnale di uscita e il segnale di ingresso. In **Figura 1**, nell'immagine in alto, viene riportato lo schema a blocchi di un generico servomeccanismo.

Quando il segnale di ingresso (**segnale di comando**) viene applicato al sistema, esso viene confrontato con il **segnale di uscita** prodotto dal **sensore** di uscita. Il se-

gnale di uscita del comparatore (**segnale di controllo**) funge da segnale di ingresso del dispositivo controllato. Il segnale di controllo sarà diverso da zero finché esisterà una differenza logica tra il segnale di comando e il segnale di uscita. Dopo che il dispositivo ha raggiunto l'uscita desiderata, non ci sarà più alcuna differenza logica tra il segnale di comando e il segnale di uscita. Quindi, il segnale di controllo, non sarà sufficiente per azionare ulteriormente il dispositivo e per produrre ulteriore segnale di uscita, almeno fino a quando il successivo segnale di comando non sarà applicato al sistema.

Il compito principale di un servomeccanismo è mantenere l'uscita di un sistema al valore desiderato in presenza di disturbi.

SERVOMOTORE

Un **servomotore** è un motore combinato con un dispositivo di rilevamento della posizione. I servomotori sono estremamente utili nella **robotica**. I motori sono piccoli e sono estremamente potenti per le loro dimensioni. In **Figura 1**, nell'immagine bassa, viene raffigurato lo schema a blocchi di un generico servomotore. L'albero del **motore DC** è accoppiato, grazie ad un **riduttore**, ad un altro albero chiamato **albero di uscita**. Il riduttore viene utilizzato per ridurre l'alto numero di giri sull'albero del motore DC ad un basso numero di giri sull'albero di uscita. La manopola di regolazione della tensione di un **potenziometro** è disposta con l'albero di uscita in modo tale che durante la rotazione dell'albero, anche la manopola ruoti e crei un potenziale elettrico variabile secondo il principio del potenziometro. Il potenziale elettrico aumenta con il movimento angolare della manopola del potenziometro insieme all'albero del sistema. Questo potenziale elettrico o tensione viene portato all'amplificatore di feedback del rilevatore di errore insieme al se-

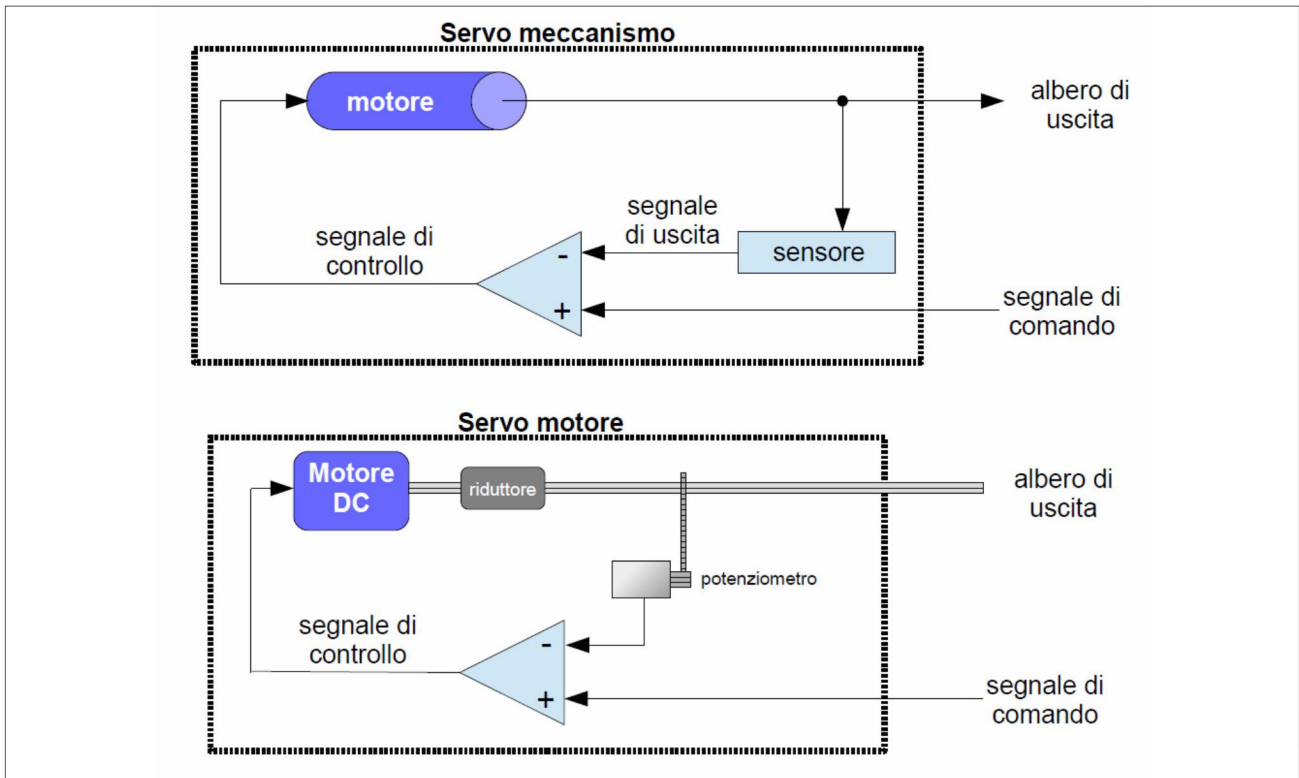


Figura 1: Schema a blocchi di un generico servomeccanismo (in alto) e di un generico servomotore (in basso)

gnale di riferimento di ingresso, ovvero la tensione del segnale di ingresso. All'aumentare dell'angolo di rotazione dell'albero, la tensione del potenziometro aumenta fino a raggiungere un valore pari alla tensione di comando in ingresso al sistema. Poiché in questa posizione dell'albero non c'è differenza tra la tensione del segnale proveniente dal potenziometro e la tensione di ingresso (**segnale di comando**) al sistema, la tensione di uscita dell'amplificatore (**segnale di controllo**) diviene zero. Il motore si troverà in questa posizione di riposo fino a quando non verrà dato un altro comando al sistema per l'ulteriore movimento dell'albero nella direzione desiderata. Quindi, possiamo concludere che l'albero del servo

controllato inviando una serie di impulsi attraverso la linea del segnale.

La frequenza del segnale di controllo dovrebbe essere 50 Hz o dovrebbe verificarsi un impulso ogni 20 ms.

La larghezza dell'impulso determina la posizione angolare del servo e questi tipo di servo possono solitamente ruotare di 180 gradi.

Uno dei modelli di servo più popolari tra i **makers** è il **Micro Servo SG90**. In **Tabella 1** vengono riportati i principali parametri tecnici del servomotore **SG90**.

Coppia di stallo	1,2 kg-cm @4,8V, 1,6kg-cm @6V
------------------	-------------------------------

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!!

ESP32-S3-WROOM-1U, I MODULI ESPRESSIF DISTRIBUITI DA TME PER L'EVOLUZIONE DELL'IOT E DELL'AIOT

di **Giordana Francesca Brescia**

Nell'ambito delle tecnologie wireless dedicate all'Internet of Things, Espressif Systems rimane uno dei marchi più apprezzati per affidabilità e innovazione. I suoi moduli, distribuiti da TME, trovano applicazione in progetti avanzati che spaziano dalla domotica all'automazione industriale, fino alle più complesse soluzioni AIoT (Artificial Intelligence of Things). Il modello ESP32-S3-WROOM-1U, in particolare, unisce potenza di calcolo, efficienza energetica e versatilità nelle interfacce di comunicazione, ed è ideale per lo sviluppo di sistemi connessi di nuova generazione.

ESPRESSIF SYSTEMS: INNOVAZIONE NEI SISTEMI SOC PER LA CONNETTIVITÀ WIRELESS

Fondata nel 2008 a Shanghai, **Espressif Systems** si è affermata rapidamente come una delle realtà di riferimento nel settore dei semiconduttori fabless. L'azienda ha costruito la propria reputazione grazie alla progettazione di **circuiti integrati System-on-Chip** e **moduli di comunicazione wireless** basati sugli **standard Wi-Fi e Bluetooth**. La filosofia di sviluppo si è sempre orientata verso la creazione di soluzioni accessibili, performanti e dotate di una documentazione tecnica completa, caratteristiche che hanno favorito l'adozione dei prodotti sia in ambito amatoriale sia nei contesti professionali. Le famiglie **ESP8266** ed **ESP32** sono state un punto di svolta per l'elettronica embedded, poiché integrano in un singolo chip **microcontrollore, memoria e sezione radio**, un'architettura che semplifica la progettazione dei dispositivi connessi e riduce i costi di produzione aprendo nuove opportunità per l'Internet delle Cose. La disponibilità di un ecosistema di sviluppo solido con kit, librerie e programmatori, ha ulteriormente consolidato la diffusione delle soluzioni Espressif. **TME**, distributore globale di componenti elettronici, include a catalogo un'ampia gamma di prodotti Espressif, tra cui programmatori, schede di valutazione e moduli avanzati come l'**ESP32-S3-WROOM-1U**, oggi considerato uno dei più versatili per le applicazioni **IoT** e **AIoT**.

CARATTERISTICHE TECNICHE DEL MODULO ESP32-S3-WROOM-1U

Il modulo ESP32-S3-WROOM-1U si basa sul potente

SoC ESP32-S3, progettato per offrire prestazioni elevate e una grande flessibilità di integrazione. Al suo interno è presente un processore dual-core Xtensa® LX7 a 32 bit, capace di operare fino a 240 MHz. La presenza di una **Floating Point Unit (FPU)** a precisione singola consente di gestire calcoli complessi in modo efficiente, caratteristica fondamentale nelle applicazioni che richiedono elaborazioni rapide, come quelle legate all'Intelligenza Artificiale e al Machine Learning embedded. Dal punto di vista della memoria, il chip integra 384 kB di ROM e 512 kB di SRAM, mentre la dotazione di memoria esterna varia **da 4 a 16 MB di Flash** e **da 2 a 8 MB di PSRAM**, a seconda della versione. Questa configurazione permette di sviluppare applicazioni complesse senza la necessità di componenti aggiuntivi. Il modulo supporta una vasta gamma di interfacce di comunicazione, tra cui **SPI, UART e I2C**, affiancate da protocolli avanzati come I2S per l'audio digitale, USB 2.0 OTG per il collegamento diretto a dispositivi esterni e interfacce parallele compatibili con fotocamere e display LCD. È inoltre possibile collegare memorie SD tramite SDIO, rendendo il sistema particolarmente adatto alla gestione di grandi quantità di dati.

Dal lato dei segnali di ingresso/uscita, l'ESP32-S3-WROOM-1U mette a disposizione 36 linee GPIO configurabili, convertitori ADC, sensori di temperatura e tocco capacitivo, generatori PWM e contatori hardware. Completano la dotazione i watchdog timer, fondamentali per garantire l'affidabilità in applicazioni mission-critical. **La compatibilità con Wi-Fi 2.4 GHz (802.11 b/g/n) e Bluetooth 5 Low Energy rende il modulo adatto sia a scenari di connettività tradizionali sia a quelli che ri-**



chiedono bassi consumi energetici. Per favorire inoltre la stabilità del segnale e minimizzare le interferenze, la struttura è schermata e non prevede un'antenna integrata: al suo posto è disponibile un connettore coassiale U.FL/MHF I/AMC che permette di collegare antenne esterne ottimizzate per ogni contesto applicativo.

VANTAGGI PER LE APPLICAZIONI IOTE AIOT

L'adozione dei moduli ESP32-S3-WROOM-1U si rivela particolarmente vantaggiosa nelle applicazioni legate all'Internet delle Cose, dove sono richieste comunicazioni stabili, consumi ridotti e capacità di elaborazione locale. Grazie al supporto per algoritmi di Intelligenza Artificiale direttamente a bordo del microcontrollore, questi moduli si collocano anche nel settore emergente dell'AIoT, l'**Artificial Intelligence of Things**. Le potenzialità del dispositivo emergono chiaramente in scenari come la domotica avanzata, dove è possibile gestire sensori ambientali, attuatori e sistemi di sicurezza sfrut-

tare Intelligenza Artificiale e connettività wireless in un unico modulo compatto. Il consumo energetico contenuto e l'ampio range di alimentazione, compreso **tra 3,0 e 3,6 V**, lo rendono adatto all'integrazione in apparecchi mobili alimentati a batteria. L'intervallo di temperatura operativa **da -40 °C a +85 °C** ne amplia ulteriormente le possibilità d'uso, garantendo affidabilità anche in condizioni ambientali difficili.

SICUREZZA DEI DATI NEI MODULI ESPRESSIF E CONFRONTO CON ALTERNATIVE DI MERCATO

La protezione delle informazioni digitali è un aspetto fondamentale nelle moderne architetture embedded. I moduli basati su ESP32-S3 integrano un insieme avanzato di meccanismi di sicurezza progettati per salvaguardare l'identità del dispositivo, l'integrità del firmware e la riservatezza delle comunicazioni. Il processo di **Secure Boot** verifica le firme digitali del software all'av-

**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 31

di Fulvio De Santis

Nella **precedente puntata** del Corso di Elettronica per ragazzi abbiamo iniziato lo studio del transistor a giunzione bipolare (BJT) e abbiamo trattato la polarizzazione del transistor con due tensioni di alimentazione mediante esercitazioni teoriche in cui abbiamo calcolato le correnti e le tensioni di un transistor NPN e PNP in un circuito di esempio. Abbiamo poi introdotto la stabilizzazione termica del transistor. In questa puntata, proseguiamo lo studio del transistor in corrente continua. Completeremo quindi l'analisi dei circuiti con transistor alimentati con due tensioni di alimentazione mediante l'uso del modello equivalente del transistor, valido per grandi segnali applicati in ingresso. Successivamente, descriveremo il funzionamento del transistor in zona attiva alimentato da una sola tensione di alimentazione, dove, anche in questo caso, adotteremo il modello equivalente. Inoltre, analizzeremo il significato delle caratteristiche del transistor attraverso rappresentazioni grafiche. La puntata terminerà con un'esercitazione teorica in cui analizzeremo e calcoleremo un semplice circuito di polarizzazione a singola alimentazione con un transistor NPN con una simulazione mediante il software Proteus Professional.

POLARIZZAZIONE DEL TRANSISTOR CON DUE TENSIONI DI ALIMENTAZIONE

Nella puntata precedente “**Corso di Elettronica per ragazzi - Puntata 30**” abbiamo studiato un circuito con un transistor polarizzato in zona attiva alimentato da due tensioni di alimentazione. Quindi, ora ripresenteremo lo stesso circuito analizzandone il funzionamento sostituendo il transistor con il suo modello equivalente per grandi segnali.

IL MODELLO EQUIVALENTE DEL TRANSISTOR

Quando un transistor in un circuito è sottoposto all'applicazione di grandi segnali (che possono essere in corrente alternata e in corrente continua), ossia che può funzionare in tutto il suo range operativo, dall'interdizione fino alla saturazione, il transistor può essere rappresentato da un modello, o circuito, equivalente. La **Figura 1** mostra i transistor NPN e PNP con il rispettivo modello equivalente.

Ricordiamo che il verso delle correnti indicate in **Figura 1** è il verso convenzionale delle correnti nei transistor, che è opposto al verso fisico reale di circolazione di queste correnti.

Il circuito equivalente è costituito da un diodo, che rappresenta la giunzione base-emettitore, e da un generatore di corrente controllato in corrente, corrispondente alla corrente di collettore $I_C = \beta \cdot I_B$, dove il parametro β è il guadagno di corrente in continua del transistor e I_B è

la corrente che fluisce nella base del transistor. Quindi, in questo caso, il circuito equivalente del transistor può essere complessivamente considerato un generatore di corrente controllato in corrente dalla corrente I_B .

Osservando la **Figura 1**, nel diodo scorre solo la corrente I_B , ai suoi terminali è presente la tensione base-emettitore V_{BE} , mentre nel terminale di emettitore la corrente I_E sarà data dalla somma $I_B + I_C$.

ESERCITAZIONE 1

Passiamo ora ad eseguire un'esercitazione teorica in cui vedremo come calcolare il circuito con un transistor PNP polarizzato con due tensioni di alimentazione che abbiamo discusso nella precedente puntata (**Figura 2**), in cui il transistor sarà sostituito dal suo circuito equivalente.

Con riferimento all'esercitazione della precedente puntata, ricordiamo che la tensione fra emettitore e massa è $V_E = 1,7 \text{ V}$ e fra base e massa è $V_B = 1 \text{ V}$; premesso ciò, vogliamo calcolare il valore dei parametri α e β e della tensione fra il collettore e massa V_C , considerando irrilevanti le correnti di dispersione del transistor. Quindi, innanzitutto, ridisegniamo lo schema di **Figura 2** sostituendo il transistor con il suo modello equivalente, come mostrato in **Figura 3**.

Eseguiamo l'analisi nodale al nodo “E” indicato in **Figura 3** applicando la legge di Kirchhoff delle correnti (LKC) per giungere al calcolo di β :

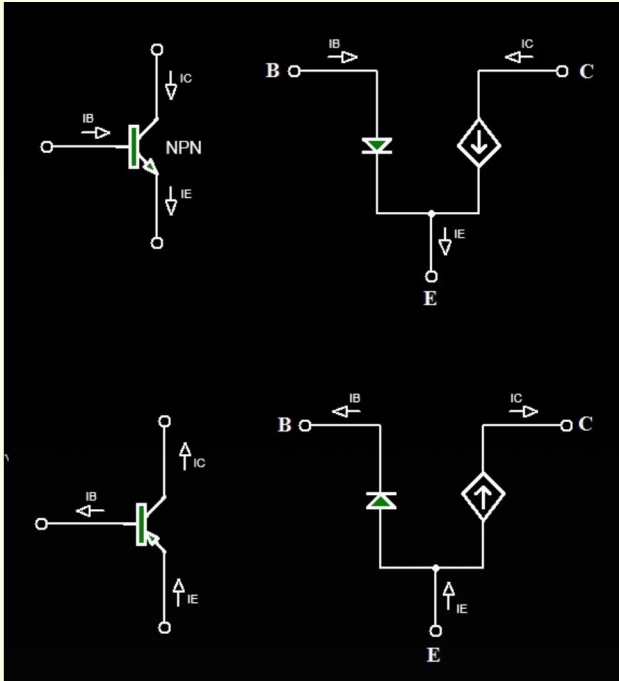


Figura 1: Circuito equivalente dei transistor NPN e PNP

$$I_E - I_C - I_B = 0$$

Dato che $I_C = \beta \cdot I_B$

$$I_E - I_B(\beta + 1) = 0$$

Dove $I_B = V_B / R_B$, quindi:

$$I_E = V_B / R_B \cdot (\beta + 1)$$

dato che $I_E = V_{RE} / R_E$, si ha:

$$V_{RE} = V_B / R_B \cdot (\beta + 1) \cdot R_E$$

Per ricavare V_{RE} applichiamo la legge di Kirchhoff delle tensioni (LKV) alla maglia VEE-VRE-VE:

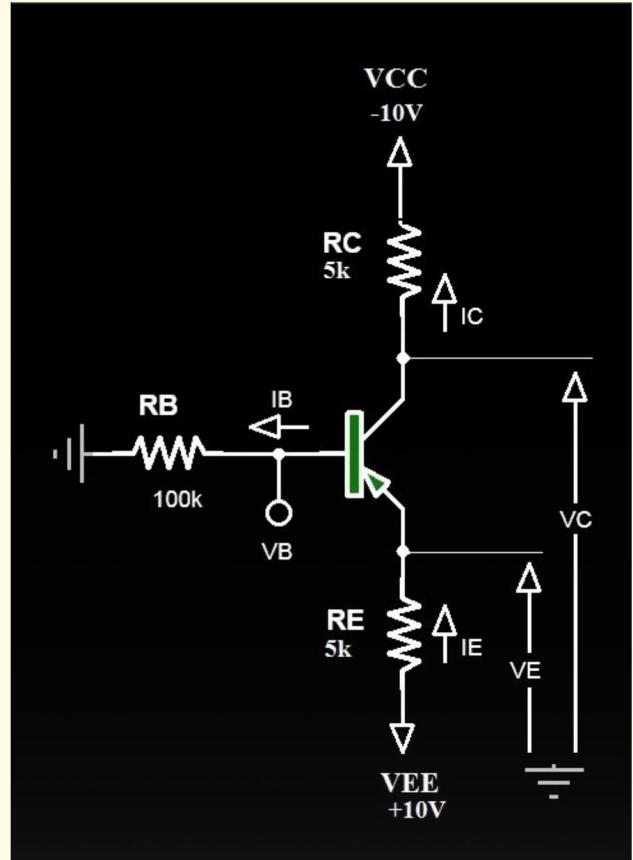


Figura 2: Circuito con un transistor PNP polarizzato con due tensioni di alimentazione

$$I = 165$$

Trovato β , automaticamente calcoliamo α :

$$\alpha = \beta / (\beta + 1) = 165 / 166 = 0,993$$

Una volta noto β , possiamo ricavare la corrente I_C :

$$I_C = \beta \cdot I_B = \beta \cdot V_B / R_B = 165 \cdot (1 / 100000) = 0,00165 \text{ A (1,65 mA)}$$

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

+ 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 %

