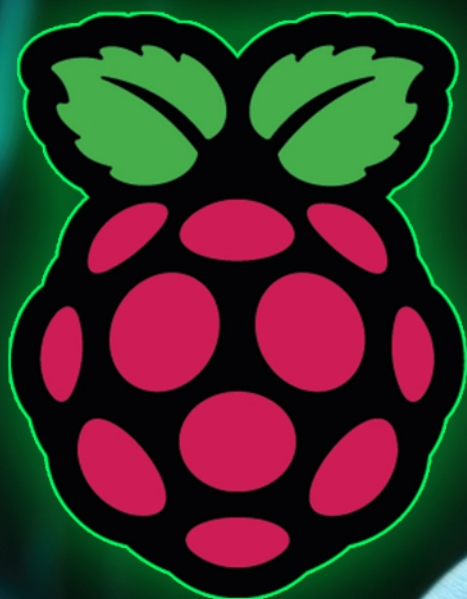


# Raspberry Pi Wearable Projects



IN QUESTO NUMERO:

LE MIGLIORI SCHEDE ELETTRONICHE PER PROGETTI WEARABLE

RICEVITORE RADIO SDR CON IL RASPBERRY PI PICO

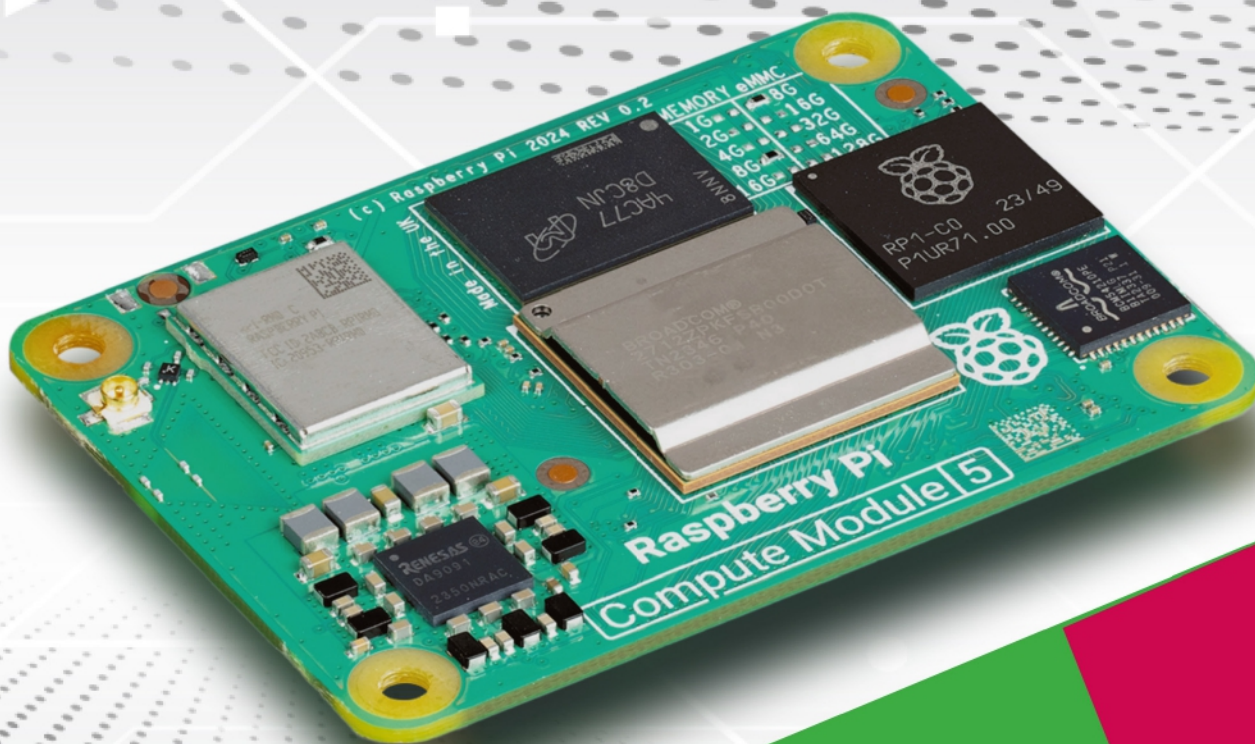
CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI - PUNTATA 28

E MOLTI ALTRI ARTICOLI E PROGETTI!



**Raspberry Pi**  
Approved Reseller

**MODULI SOM CM5 INTEGRATI E COMPATTI DI RASPBERRY PI**



**TME Italia S.r.l.**  
Grassobbio (BG), [tme@tme-italia.it](mailto:tme@tme-italia.it)

Ci trovi su:

[tme.eu](https://tme.eu)

**YOU NEED IT, WE HAVE IT!**

■ ■ ■ [tme.com](https://tme.com) ■ ■ ■

***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&amp;Measurements

Connectors

1 Dicembre

## La potenza del Raspberry Pi per la tecnologia indossabile

**C**ari lettori, nell'infinito ecosistema embedded, i dispositivi indossabili sono uno dei segmenti più vivaci e in continua evoluzione. Smartwatch, fitness tracker, abbigliamento intelligente, dispositivi medici portatili sono tutti esempi di come il computing personale stia diventando sempre più intimo, discreto e interconnesso. Questo numero di Firmware 2.0 è dedicato ad un'accoppiata particolarmente promettente: il mondo dei wearable e le possibilità offerte dal Raspberry Pi per realizzare soluzioni innovative, prototipi funzionali e persino prodotti finiti. Progettare un dispositivo indossabile comporta sfide tecniche multidisciplinari: **miniaturizzazione, gestione termica, ergonomia, connettività, affidabilità e, soprattutto, efficienza energetica**. L'energy harvesting, ovvero la capacità di raccogliere energia dall'ambiente tramite fonti come il movimento, la luce o il calore, è oggi un'interessantissima area di ricerca e sviluppo, finalizzata ad estendere l'autonomia o eliminare del tutto la necessità di ricarica. Accanto a questi aspetti tecnici, si affianca il tema della sicurezza e della protezione dei dati sensibili, particolarmente rilevante nei dispositivi wearable a scopo medico, sportivo o industriale. In questo contesto, il Raspberry Pi, anche nelle sue varianti più compatte come il Pi Zero W o il Pi Pico, si propone come una piattaforma agile e versatile. Grazie al supporto per Linux, alle connessioni Wi-Fi/Bluetooth, alla ricca gamma di GPIO e al vasto ecosistema di librerie, il **Raspberry Pi consente a progettisti, makers e startup di realizzare sistemi indossabili intelligenti a basso costo in grado di ridurre drasticamente anche il time-to-market**. Che si tratti di un sistema di monitoraggio biometrico, di un controller gestuale integrato in un guanto, o di un assistente vocale da polso, il Raspberry Pi può fornire la potenza di calcolo necessaria con una facilità di programmazione senza pari. Inoltre, grazie al supporto di framework come TensorFlow Lite, oggi è persino possibile integrare funzionalità di Machine Learning direttamente on-device per **ottenere wearable predittivi e adattivi**. In queste pagine troverete approfondimenti tecnici, analisi e prospettive di sviluppo sui sistemi indossabili, ma anche tutorial passo-passo, e una nuova imperdibile puntata del Corso di Elettronica per ragazzi. Presentando progetti e idee semplici ma potenti che nascono dalla fusione tra hardware accessibile e ingegno creativo, noi di Elettronica Open Source ci impegniamo costantemente nel dimostrare che la creatività, quando supportata da piattaforme aperte e da una community globale, può davvero abbattere le barriere tra idea e prodotto finito.

Buona lettura e...buon making!

*Giordana Francesca Brescia*

# La prossima scoperta è alle porte

Esplorate milioni di componenti per il vostro prossimo progetto



Archivi segreti,  
Città del Vaticano

[mouser.it](http://mouser.it)



**MOUSER**  
ELECTRONICS

# Raspberry Pi Wearable 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 - 148.392  
Social Network - 131.924

## © 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

LA POTENZA DEL RASPBERRY PI PER LA TECNOLOGIA INDOSSABILE **3**

LOGICANALYZER: ANALIZZATORE LOGICO BASATO SU RASPBERRY PI PICO **6**

LE MIGLIORI SCHEDE ELETTRONICHE PER PROGETTI WEARABLE **11**

ACCESSORI INDISPENSABILI PER ESPANDERE LE FUNZIONALITÀ DEL TUO MICROCOMPUTER RASPBERRY PI **15**

LA MINIATURIZZAZIONE DEI DISPOSITIVI WEARABLE **19**

RICEVITORE RADIO SDR CON IL RASPBERRY PI PICO - PARTE 1 **22**

RICEVITORE RADIO SDR CON IL RASPBERRY PI PICO - PARTE 2 **26**

YOGA E TECNOLOGIA - CREIAMO UN GENERATORE DI SUONI RILASSANTI CON RASPBERRY PI **30**

IL RUOLO DEL RASPBERRY PI NELL'EVOLUZIONE DELL'ELETTRONICA INDOSSABILE **36**

IL POTENZIALE DELL'ENERGY HARVESTING NELLA PROGETTAZIONE DEI SISTEMI WEARABLE **38**

SPECCHIO INTERATTIVO DELLE EMOZIONI CON RASPBERRY PI **40**

FOTOCAMERA TIME LAPSE INDOSSABILE CON RASPBERRY PI ZERO **44**

COME FUNZIONA LA SENSORISTICA WEARABLE E QUALI SONO LE SUE APPLICAZIONI REALI **50**

PROSPETTIVE DI SVILUPPO DEL SETTORE WEARABLE **53**

CREA IL TUO ASSISTENTE VOCALE DA POLSO CON RASPBERRY PI E CHATGPT **55**

CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI - PUNTATA 28 **58**

PROGETTO DI UN DISPOSITIVO INDOSSABILE ANTICOLLISIONE **64**



# LE MIGLIORI SCHEDE ELETTRONICHE PER PROGETTI WEARABLE

di **Giordana Francesca Brescia**

*Fitness tracker, smartwatch, occhiali intelligenti e dispositivi per il monitoraggio medico, sono solo alcune delle applicazioni del settore wearable. Al centro di ogni progetto inerente questa categoria si trova una scheda elettronica, elemento fondamentale che determina potenza, consumi, connettività e compattezza del dispositivo. Diverse piattaforme offrono caratteristiche pensate appositamente per la portabilità, l'autonomia e la facilità di integrazione con sensori e attuatori.*

Le schede di sviluppo per il settore **wearable** hanno guadagnato rapidamente popolarità grazie alla capacità di offrire servizi utili in formato compatto, mentre la richiesta di soluzioni innovative continua ad aumentare. Per sviluppatori, makers e hobbisti, scegliere la scheda giusta rappresenta il primo passo verso un progetto efficace e funzionale. Comprendere le differenze tra le principali alternative disponibili sul mercato permette di orientarsi meglio e sviluppare dispositivi indossabili più performanti. Analizzare a fondo le esigenze del progetto è essenziale per selezionare una base hardware che possa garantire risultati all'altezza delle aspettative, sia in fase di prototipazione sia nella realizzazione di prodotti finali.

## COMPATTEZZA E BASSO CONSUMO ENERGETICO

Uno dei criteri principali nella scelta di una scheda elettronica per applicazioni wearable è la capacità di operare con consumi ridotti. L'alimentazione, spesso basata su batterie ricaricabili di piccole dimensioni, impone un'attenta gestione dell'energia. Le migliori soluzioni sono progettate per funzionare a lungo anche in modalità standby, sfruttando modalità di sleep avanzate e regolatori di tensione ad alta efficienza energetica che non rappresenta oggi solo un vantaggio tecnico ma anche un requisito fondamentale per la sostenibilità e la praticità nell'uso quotidiano. A contare sono anche le dimensioni compatte, dal momento che un dispositivo indossabile deve essere comodo da portare e poco invasivo, perciò l'hardware deve occupare il minor spazio possibile senza sacrificare le funzionalità. Alcune schede integrano componenti wireless, sensori e interfacce I/O direttamente sulla board, con un design semplificato e una riduzione della necessità di moduli esterni. L'integrazione migliora l'affidabilità del sistema, consentendo anche di ridurre i costi e il tempo necessari per la

produzione.

## MICROCONTROLLORI OTTIMIZZATI PER I WEARABLE

Molti dei progetti più popolari si basano su microcontrollori a basso consumo come gli **ESP32**, i chip nRF52 ed i microprocessori ARM Cortex-M. L'ESP32, ad esempio, offre una combinazione vincente di Wi-Fi e Bluetooth integrati, potenza di calcolo e basso assorbimento energetico. Le varianti miniaturizzate, come **ESP32-C3** o **ESP32-S2**, sono particolarmente indicate per applicazioni in cui lo spazio rappresenta una risorsa limitata. Tali microcontrollori sono apprezzati anche per la versatilità nei linguaggi di programmazione e nella compatibilità con ambienti di sviluppo aperti. I chip della serie nRF52, prodotti da **Nordic Semiconductor**, sono ampiamente utilizzati nei wearable **Bluetooth Low Energy** (BLE). Grazie al supporto nativo BLE 5.0, i consumi restano estremamente ridotti mantenendo una connessione stabile e veloce con smartphone e altri dispositivi mobili. La compatibilità con stack software avanzati e il supporto alla sicurezza crittografica rendono questi microcontrollori una scelta di riferimento nel settore medico e fitness, al punto che progetti che richiedono sincronizzazione in tempo reale o comunicazioni sicure trovano in queste soluzioni un equilibrio perfetto tra prestazioni e consumi.

## SEMPLICITÀ E FUNZIONALITÀ DELLE SCHEDE CON SENSORI INTEGRATI

Molti sviluppatori orientati al settore dei dispositivi indossabili preferiscono schede elettroniche che integrano già sensori ambientali e biometrici, poiché queste soluzioni semplificano notevolmente la fase di prototipazione e riducono i tempi di sviluppo. Tra le board più apprezzate rientrano **Arduino Nicla Sense ME**, **Seeed Studio XIAO BLE Sense** e **Adafruit Feather**

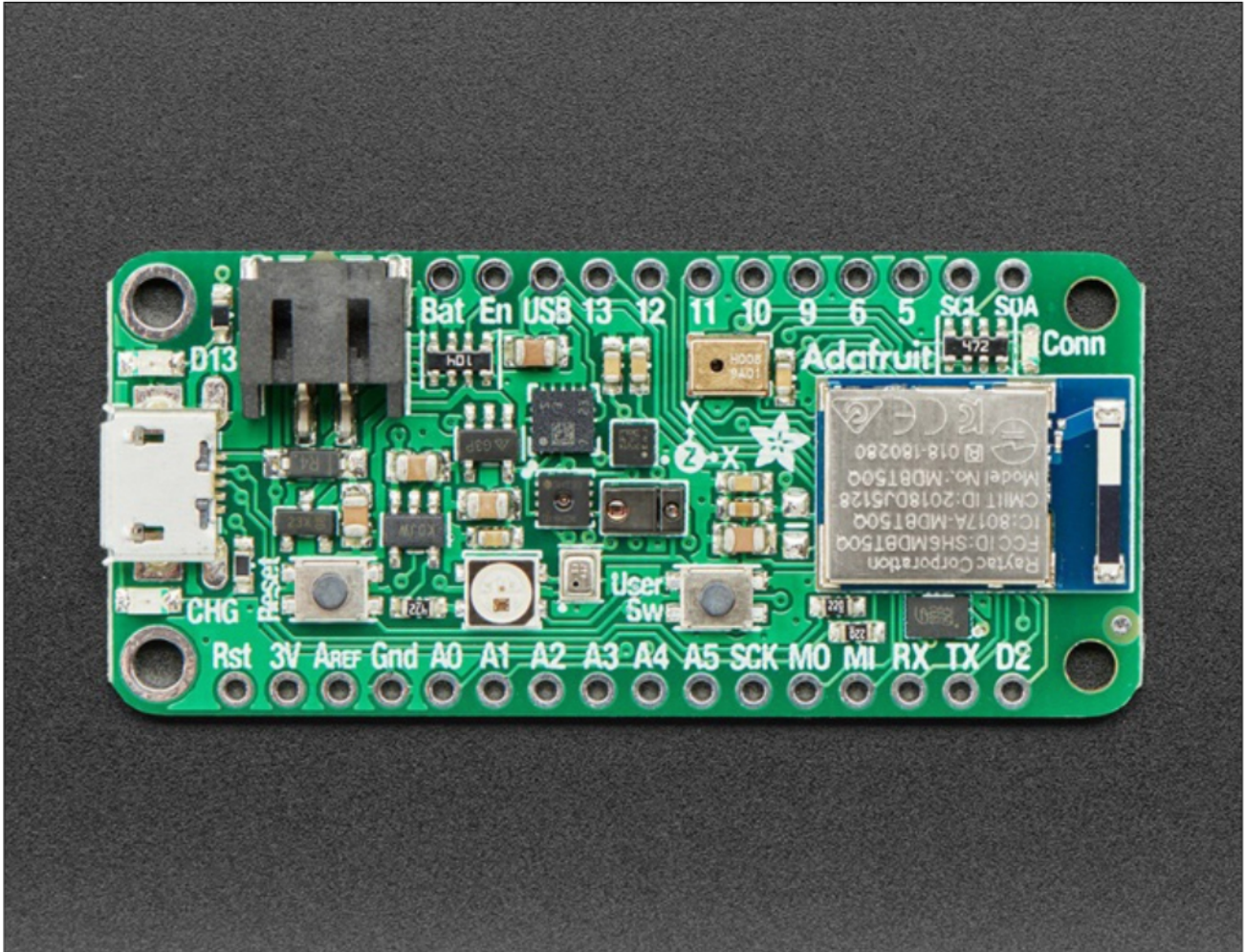


Figura 1: Adafruit Feather nRF52840 Sense (Fonte: Overview | Adafruit Feather nRF52840 Sense | Adafruit Learning System)

**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!**

# ACCESSORI INDISPENSABILI PER ESPANDERE LE FUNZIONALITÀ DEL TUO MICROCOMPUTER RASPBERRY PI

di **Giordana Francesca Brescia**

*Il Raspberry Pi è uno dei microcomputer più versatili e apprezzati al mondo, scelto da studenti, makers, ingegneri e hobbisti per la sua flessibilità, il basso costo e l'ampia compatibilità con una moltitudine di progetti. Dalla domotica all'automazione industriale, passando per l'apprendimento della programmazione e la realizzazione di media center, questo dispositivo può essere personalizzato e potenziato in molti modi. Il segreto? Scegliere gli accessori giusti.*

## INTRODUZIONE

I Raspberry Pi, con la sua straordinaria versatilità e il costo contenuto, è diventato uno strumento fondamentale per hobbisti, educatori, sviluppatori e makers di tutto il mondo. Sebbene il microcomputer sia perfettamente funzionante già nella sua configurazione base, il vero potenziale del Raspberry Pi si svela quando viene arricchito con una serie di accessori mirati che ne espandono le funzionalità, migliorano le prestazioni e lo rendono adatto ad una vasta gamma di progetti, dai media center alle stazioni meteo, dai server domestici ai robot autonomi. In questo articolo esploreremo una selezione di accessori indispensabili per ottenere il massimo dal tuo Raspberry Pi, che tu sia alle prime armi o stia cercando di ottimizzare un sistema già esistente. Dalle soluzioni di alimentazione affidabili ai moduli di connettività, passando per case protettivi, sistemi di raffreddamento e dispositivi di input/output, vedremo come ogni componente può fare la differenza in termini di efficienza, stabilità e possibilità creative. Moduli come sensori, display, fotocamere e interfacce GPIO permettono al Raspberry Pi di interagire con il mondo fisico, trasformandolo in una base ideale per domotica, automazione industriale o prototipazione elettronica, mentre accessori come tastiere compatte, schede microSD ad alte prestazioni, hub USB e adattatori di rete semplificano l'uso quotidiano e migliorano l'esperienza complessiva dell'utente. Conoscere e selezionare gli accessori più adatti al proprio obiettivo progettuale è essenziale per ottenere risultati professionali e sfruttare al massimo le capacità offerte dal Raspberry Pi.

## L'IMPORTANZA DEGLI ACCESSORI NELLA PROGETTAZIONE CON RASPBERRY PI

Quando si lavora con un Raspberry Pi, la scelta degli

accessori giusti può determinare il successo o il fallimento di un progetto. Questo microcomputer, pur essendo compatto e potente, ha bisogno di componenti aggiuntivi per esprimere appieno le sue potenzialità. Gli accessori non sono semplici "extra", ma elementi chiave che ne estendono le capacità, aumentano l'affidabilità e facilitano l'integrazione in contesti pratici e reali. Il Raspberry Pi, soprattutto nelle versioni più recenti come la 4 e la 5, può raggiungere temperature elevate durante un utilizzo intenso, per evitare problemi di thermal throttling, ovvero la riduzione automatica delle prestazioni al fine di contenere il calore, è fondamentale dotarsi di un dissipatore termico in alluminio o di un sistema di raffreddamento attivo equipaggiato con ventola. I dissipatori di calore prolungano la vita del dispositivo e garantiscono stabilità anche in condizioni ambientali difficili o critiche. Alcuni modelli venduti da TME Electronic Components sono dotati di pad termici adesivi che migliorano il contatto con la CPU e rendono l'installazione più semplice e veloce.

Tra gli accessori di maggior rilievo vi sono anche le card microSD, che rappresentano il cuore di un progetto in quanto ospitano il sistema operativo ed i dati dell'utente. È opportuno considerare che una scheda lenta può rallentare sensibilmente le prestazioni generali del **Raspberry Pi**. È pertanto consigliabile optare per microSD ad alte prestazioni con classe di velocità A1 o superiore, preferibilmente UHS-I, per assicurare avvio rapido e caricamento fluido delle applicazioni.

Nel catalogo della TME si trovano schede microSD di brand affidabili, con diverse capacità (da 16 GB a oltre 128 GB) e adatte a ogni tipo di progetto, anche per applicazioni industriali.

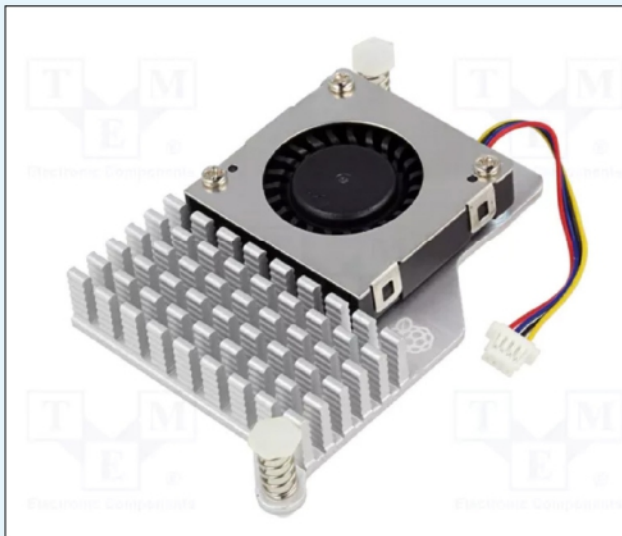


Figura 1: Dissipatore di calore attivo (Fonte: RASPBERRY PI ACTIVE COOLER RASPBERRY PI - Accessori: dissipatore di calore attivo | d'alluminio; alluminio; SC1148 | TME - Componenti elettronici Italia)

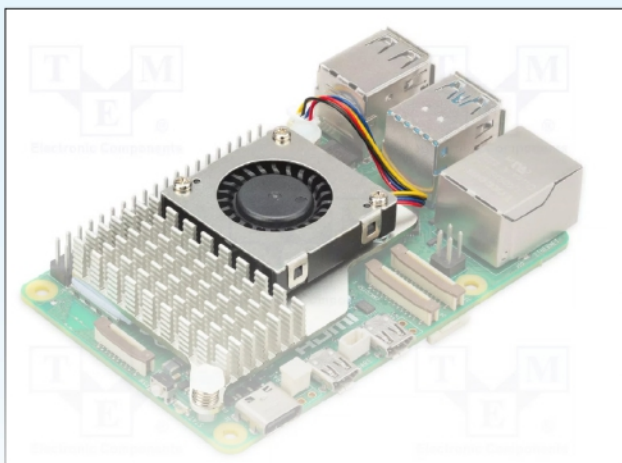


Figura 2: Dissipatore di calore attivo (Fonte: RASPBERRY PI ACTIVE COOLER RASPBERRY PI - Accessori: dissipatore di calore attivo | d'alluminio; alluminio; SC1148 | TME - Componenti elettronici Italia)

tibili, progettati appositamente per soddisfare le specifiche di ciascun modello del single board computer, assicurando efficienza e sicurezza. Per chi invece desidera un'interfaccia grafica diretta, esistono display LCD e touchscreen perfettamente integrabili con il Pi. Sono ideali per progetti come console portatili, sistemi HMI, pannelli di controllo o semplicemente per evitare l'uso di monitor esterni ingombranti. TME offre schermi di varie dimensioni, dai 3.5 ai 10 pollici, compatibili sia tramite GPIO che HDMI, alcuni anche con funzionalità touch capacitive per un'esperienza utente avanzata.

Anche un buon cablaggio è essenziale per connettere il Raspberry Pi a dispositivi esterni come sensori, moduli di espansione, monitor o tastiere. Tra gli accessori più utili si trovano:

- Cavi HDMI (standard o micro-HDMI, a seconda del modello)
- Adattatori USB a seriale
- Cavi jumper per GPIO
- Adattatori da USB-C a USB-A

TME propone un'ampia scelta di cavi di qualità industriale in grado di assicurare connessioni stabili e durevoli. Inoltre, uno degli accessori più richiesti nell'ecosistema Raspberry Pi è la telecamera, un dispositivo ideale per progetti di videosorveglianza, visione artificiale o time-lapse, che può essere collegata tramite l'interfaccia CSI (Camera Serial Interface). Esistono moduli standard, a infrarossi (NoIR) e con risoluzioni fino a 12MP. TME distribuisce moduli camera compatibili sia ufficiali che di terze parti, pronti all'uso e facili da integrare con software come raspistill, **OpenCV** o MotionEye.

Un altro aspetto da considerare per la corretta gestione del nostro mini computer è la possibilità di proteggerlo. Un contenitore adeguato protegge la scheda da polvere e urti, oltre a offrire porte di connessione specifiche. I case comuni

**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!**

# RICEVITORE RADIO SDR CON IL RASPBERRY PI PICO – PARTE 1

di **Andrea Garrapa**

*Il Pi Pico Rx è un ricevitore SDR open source capace di coprire le bande relative alle onde lunghe, medie e corte, dando la possibilità di ricevere segnali dalla metà del globo. Si tratta di un ricevitore SDR minimale costruito attorno al Raspberry Pi Pico. Pur non essendo un'idea completamente nuova, le caratteristiche introdotte da Pi Pico Rx non si trovano in altri design simili. Andremo a descrivere il funzionamento generale e il design hardware in questo articolo, lasciando la descrizione della parte software per un prossimo intervento.*

## INTRODUZIONE

Realizzare un ricevitore radio definito dal software (SDR) è un processo relativamente semplice, se si hanno un adeguato front-end radio ed i giusti convertitori analogico-digitali. Due flussi di dati separati vengono generati utilizzando due clock con uno sfasamento di 90° tra loro, e questi vengono poi passati all'elaborazione software del segnale per la demodulazione.

Il ricevitore SDR, **Pi Pico Rx**, presenta un'architettura standard optando per un front-end radio realizzato con un Quadrature Sampling Detector, un solo ADC integrato nell'**RP2040** e l'elaborazione del segnale eseguita dalla CPU di quest'ultimo.

Le caratteristiche più importanti del ricevitore SDR, Pi Pico Rx, sono:

- copertura radio da 0 a 30 MHz
- larghezza di banda di 250 kHz
- ricezione delle modulazioni CW/SSB/FM/AM
- display OLED
- cuffie/altoparlante
- alimentato da 3 batterie AAA
- consumo di corrente inferiore a 50 mA

## FUNZIONAMENTO GENERALE

La **Figura 1** riporta lo schema a blocchi del ricevitore SDR, Pi Pico Rx.

Il segnale proveniente dall'antenna viene dato in ingresso ad un filtro passa-banda (BPF). A seguire, invece di un tradizionale mixer, il progetto sfrutta un **Quadrature Sampling Detector (QSD)**, ovvero un rilevatore di campionamento in quadratura, implementato con il popolare circuito rilevatore **Taylor**. Utilizzato in molti progetti di radio HF SDR, questo semplice circuito consente di implementare un mixer di alta qualità utilizzando un eco-

nomico commutatore analogico (multiplexer).

I segnali di controllo del multiplexer si devono comportare come un oscillatore in quadratura. Per fare ciò, è stata utilizzata la **funzionalità PIO** dell'**RP2040**. Ciò ha eliminato la necessità di utilizzare un oscillatore programmabile esterno. Senza dover overclockare il dispositivo, supporta frequenze fino a circa 30 MHz, coprendo comodamente le bande delle onde corte, medie e lunghe.

L'uscita IQ dal QSD viene amplificata utilizzando un **amplificatore operativo ad alta velocità e basso rumore**. I canali I e Q vengono campionati dall'**ADC integrato** che fornisce 250 kHz di larghezza di banda. Il **processore ARM Cortex M0 dual-core** implementa gli algoritmi di elaborazione del segnale digitale (DSP), demodulando AM, FM, SSB e CW per produrre un'uscita audio.

L'uscita audio viene fornita utilizzando un **segnale PWM** seguito da un filtro passa-basso. Per mezzo di un resistore di limitazione della corrente è possibile adattare il pin IO in modo da pilotare direttamente un paio di cuffie o persino un piccolo altoparlante senza bisogno di un amplificatore audio.

Un prototipo assemblato alla buona, dimostra che è possibile costruire un ricevitore HF SDR utilizzando un Pi Pico, un commutatore analogico, un amplificatore operativo e una manciata di componenti discreti.

## CAMPIONAMENTO ROUND-ROBIN

Una delle sfide affrontate nel progetto del ricevitore, è stata il campionamento dei segnali I e Q utilizzando un ADC in grado di campionare solo un canale alla volta. Il convertitore può essere configurato in modalità round-robin in modo da campionare i segnali I e Q in

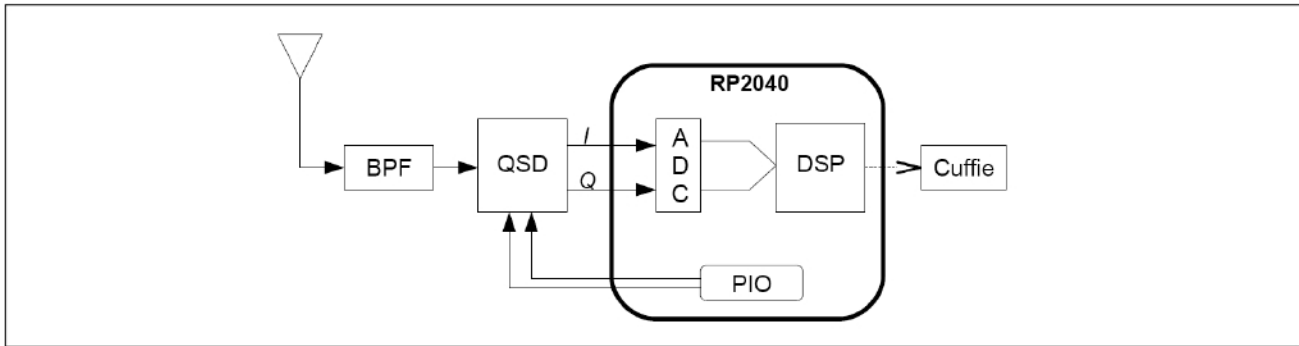


Figura 1: Schema a blocchi del ricevitore SDR, Pi Pico Rx

maniera alternata. Le preoccupazioni riguardanti questo approccio erano che si potesse creare uno squilibrio di fase tra i canali I e Q.

Normalmente, un segnale complesso con larghezza di banda  $W$  può essere campionato a frequenza  $W$ , questo perché ogni campione complesso sarà in realtà come due campioni reali, quindi non si infrange il criterio di Nyquist. Nel caso di questo progetto, campionando a frequenza  $2W$  è possibile evitare lo squilibrio di fase tra I e Q. Per recuperare il segnale complesso con una larghezza di banda di 250 kHz basterà quindi campionare I e Q alternativamente a 500 kS/s.

Prima però occorre filtrare i dati I e Q con un passa-basso che lasci passare 250 kHz di larghezza di banda da -125 kHz a 125 kHz. Il rilevatore QSD stesso forma un filtro passa-basso, quindi questo può essere facilmente ottenuto selezionando valori di condensatore adatti nell'amplificatore operazionale. L'ADC è configurato per campionare I e Q alternativamente (a partire da I). Nel software, i valori "mancanti" possono essere sostituiti da zeri.

Ciò si traduce in un segnale complesso con una fre-

quenza di campionamento di 500 kS/s. Per recuperare il segnale complesso con una larghezza di banda di 250 kHz basterà quindi campionare I e Q alternativamente a 500 kS/s.

Il programma PIO è notevolmente semplice:

```
.program nco
set pins, 0
set pins, 1 ; Drive pin low
set pins, 3 ; Drive pin high
set pins, 2 ; Drive pin low
```

La frequenza dell'NCO (oscillatore controllato numericamente) può essere programmata utilizzando il divisore di clock PIO. Questo ha una parte intera a 16 bit e una parte frazionaria a 8 bit. Con un clock di ingresso di 125 MHz, l'NCO può essere programmato da poche centinaia di Hz a poco più di 30 MHz. Perfetto per un ricevitore di onde corte, medie e lunghe.

A basse frequenze, si può ottenere una buona risoluzione, ma ad alte frequenze, la dimensione del passo può essere superiore a 100 kHz. Tuttavia, con una larghezza di banda di 250 kHz, è ancora sufficiente per fornire una copertura continua dell'intera gamma di frequenze.

Per saperne di più sul software di questo ricevitore, visitate il sito <https://www.electronicshobby.org>

**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!**

# RICEVITORE RADIO SDR CON IL RASPBERRY PI PICO – PARTE 2

di **Andrea Garrapa**

*Il Pi Pico Rx è un ricevitore SDR open source, realizzato attorno al Raspberry Pi Pico, e capace di coprire le bande relative alle onde lunghe, medie e corte. Nell'articolo "Ricevitore radio SDR con il Raspberry Pi Pico - Parte 1" abbiamo descritto il suo funzionamento generale e il design hardware. In questo articolo, termineremo il discorso parlando del firmware che permette al dispositivo di operare.*

## INTRODUZIONE

**P**rima di descrivere il design del software che gestisce il ricevitore, andiamo a ricordare quelle che sono le sue caratteristiche chiave:

- copertura radio da 0 a 30 MHz
- larghezza di banda di 250 kHz
- ricezione delle modulazioni CW/SSB/FM/AM
- display OLED
- cuffie/altoparlante
- alimentato da 3 batterie AAA
- consumo di corrente inferiore a 50 mA

## DESIGN SOFTWARE

Il **Raspberry Pi Pico** contiene un processore dual-core. Il primo core gestisce l'interfaccia utente, pilotando il display, l'encoder rotativo, i pulsanti e l'interfaccia flash. Il secondo core è dedicato all'implementazione delle funzioni **DSP**. I core comunicano tramite strutture di controllo e stato, queste strutture sono protette da mutex. I dati di controllo e stato vengono passati periodicamente tra i due core.

## INTERFACCIA ADC

L'interfaccia ADC è configurata in modalità round-robin. Due canali DMA sono utilizzati per trasferire blocchi da 4000 campioni dall'ADC alla memoria. La scelta di 4000 campioni è arbitraria, blocchi più lunghi danno un margine extra quando il tempo di esecuzione, nel caso peggiore, è significativamente più lungo della media (a scapito di memoria extra). I canali DMA sono configurati in modalità ping-pong utilizzando il concatenamento DMA. Quando un canale DMA è completato, l'altro canale DMA si avvia automaticamente. Il concatenamento DMA consente agli ADC di essere letti in modo autonomo, senza caricare la CPU.

## ELABORAZIONE IN TEMPO REALE

Quando ogni trasferimento DMA viene completato, viene chiamata la funzione `process_block`. La funzione `process_block` prende un blocco di campioni I/Q e resti-

tuisce un blocco di campioni audio. Ad una frequenza di campionamento ( $f_s$ ) di 500 kS/s, con un blocco di 4000 campioni ( $N_{\text{camp}}$ ), si ottiene una deadline in tempo reale ( $T_b$ ) di 8 ms per elaborare ogni blocco:

$$T_b = N_{\text{camp}} / f_s = 4000 / 500 \cdot 10^3 = 8 \text{ ms}$$

Alla frequenza della CPU ( $f_{\text{cl}}$ ) di 125 MHz, significa avere esattamente 1 milione di cicli di clock per ogni blocco:

$$N_{\text{cicli}} = T_b / (1/f_{\text{cl}}) = 8 \cdot 10^{-3} / 8 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^6$$

Elaborato un blocco, un timer misura il tempo di inattività (`idle_time`) fino al completamento del blocco successivo. L'utilizzo della CPU può essere calcolato come  $(8 \text{ ms} - \text{idle\_time})/8 \text{ ms}$ ; è utile monitorare l'utilizzo della CPU durante lo sviluppo in modo da poter valutare l'impatto di ogni modifica. La funzione `process_block` è **l'unica parte del software che è temporalmente critica** e questa parte del software utilizza l'aritmetica a virgola fissa ed è eseguita dalla RAM per massimizzare le prestazioni. Le altre parti del software non sono particolarmente critiche, quindi vengono eseguite dalla memoria Flash e le operazioni a virgola mobile sono utilizzate liberamente.

## RIMOZIONE DC

La prima operazione da fare è rimuovere la componente in continua. Ciò si ottiene facendo la media dei campioni in ogni blocco, il valore medio rappresenta il livello DC e questo valore viene quindi sottratto dal blocco successivo, che risulta essere leggermente più veloce rispetto all'utilizzo di un filtro di blocco DC. A questo punto, nella catena DSP, il processo di rimozione DC non è così critico. Il ricevitore utilizza una frequenza intermedia (IF) bassa, quindi il segnale desiderato è sempre distanziato alcuni kHz dalla componente DC. Una volta traslato in frequenza il segnale, qualsiasi componente continua rimanente è al di fuori della banda passante e viene rimossa dai filtri di decimazione.

## TRASLAZIONE IN FREQUENZA

Prima che i campioni possano essere traslati in frequenza, occorre **convertirli in un formato complesso**. L'ADC round-robin alterna tra campioni I e Q, quindi i campioni pari saranno I e quelli dispari saranno Q. I campioni "mancanti", necessari per formare un campione complesso, devono essere sostituiti da zeri.

Poiché l'RP2040 può eseguire una moltiplicazione in un ciclo di clock, risulta più veloce moltiplicare il campione per 1 o 0. Questo potrebbe non essere vero su altre piattaforme. Una volta che il segnale è in formato complesso, è possibile traslare la frequenza del segnale desiderato al centro dello spettro usando una moltiplicazione complessa per un tono a frequenza fissa.

Ci sono due componenti per l'offset di frequenza: la prima relativa alla compensazione della risoluzione di frequenza limitata dell'oscillatore in quadratura (la differenza tra la frequenza desiderata e quella ottenuta). L'altra componente è l'offset dovuto alla bassa frequenza intermedia deliberatamente introdotta per allontanare il segnale desiderato dalla componente continua. Tende ad esserci molta interferenza vicino alla componente continua causata ad esempio da leakage dall'oscillatore locale e altri disturbi. L'applicazione di un offset di frequenza consente di filtrare questa interferenza.

Occorre creare un tono complesso per "cancellare" l'offset di frequenza. Non potendo calcolare i valori di seno e coseno abbastanza velocemente per il funzionamento in tempo reale, viene usata una **tabella di lookup** con 2048 valori che rappresentano un ciclo completo. Parte della memoria viene risparmiata utilizzando **la stessa tabella per i valori di seno e coseno**: il coseno viene calcolato dalla tabella del seno applicando uno sfasamento  $\pi/2$  all'indice. I valori vengono ridimensionati per

elevata. L'errore di arrotondamento causato dal troncamento dei 21 bit meno significativi causa un jitter di fase a breve termine, ma questo tende ad essere compensato nei cicli successivi, dando una frequenza media molto precisa a lungo termine.

Il tono può quindi essere applicato al segnale usando una moltiplicazione complessa che determina la traslazione del segnale desiderato al centro dello spettro. Il risultato della moltiplicazione ha ora 15 bit di parte frazionaria extra che devono essere rimossi. Il troncamento causa circa 1 LSB e 1/2 di polarizzazione negativa. Ciò può risultare problematico in seguito nell'elaborazione del segnale (in particolare per i segnali CW in cui viene spostata deliberatamente la componente continua nell'intervallo udibile). Un approccio efficiente è stimare la polarizzazione introdotta in ogni fase dell'elaborazione, la polarizzazione totale può quindi essere compensata in seguito in una sola volta; rimuovendo la polarizzazione dopo la decimazione si riduce notevolmente il numero di cicli necessari.

## DECIMAZIONE

A questo punto, **il segnale presenta ancora una frequenza di campionamento di 500 kS/s**, che è molto più di quanto serva. Infatti, il segnale con la maggiore larghezza di banda che il progetto deve cercare di gestire è il segnale modulato FM, con una larghezza di banda di 9 kHz. All'interno della elaborazione software è arrivato il momento di ridurre la frequenza di campionamento di un fattore elevato, il che ridurrà il carico computazionale nelle fasi successive dello stesso fattore.

La decimazione viene ottenuta utilizzando una combinazione di filtri CIC (Cascaded Integrator-Comb) e half-band, con risultato un segnale con spettro ristretto. Il CIC è un filtro molto efficiente, ma non ha transizioni

**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 28

di Fulvio De Santis

*Nella precedente puntata abbiamo trattato l'argomento sul regolatore di tensione basato sui diodi a giunzione. In questo articolo, completeremo lo studio dei diodi parlando dell'utilizzo del diodo come raddrizzatore.*

## INTRODUZIONE - CORRENTE CONTINUA E ALTERNATA

**N**elle due precedenti puntate (**Puntate 26 e 27**) del corso abbiamo fatto un'ampia analisi con esercitazioni e simulazioni del regolatore di tensione realizzato con normali diodi a giunzione e con diodi zener. Nella **Puntata 26** è stato studiato il regolatore di tensione con il diodo zener. Abbiamo anche progettato un semplice circuito regolatore e descritto tutti i principali parametri del diodo, compresa una dettagliata analisi nella zona di polarizzazione inversa, o di breakdown. Nella **Puntata 27** abbiamo visto come sia possibile realizzare un regolatore di tensione utilizzando normali diodi in serie. In pratica, questo tipo di regolatore sfrutta la caduta di tensione fissa del diodo a giunzione polarizzato direttamente, in genere 0,7 V, per ricavare una tensione fissa in uscita di un certo determinato valore stabilito dal numero di diodi posti in serie. E' stata anche eseguita una simulazione per la verifica funzionale del progetto del regolatore di tensione, che ha confermato il normale utilizzo dei diodi come elementi regolatori di tensione.

In questa puntata completeremo lo studio dei diodi parlando dell'importante utilizzo del diodo come raddrizzatore. Prima di affrontare questo argomento, è utile ricordare il significato di corrente continua e alternata. Riepilogando quanto è stato studiato nella **Puntata 16** del corso di elettronica per ragazzi, nell'introduzione abbiamo detto che l'energia elettrica è formata da un flusso di cariche elettriche (*corrente elettrica*) e una differenza di potenziale (*tensione*). La potenza elettrica misurabile in Watt è il prodotto della corrente per la tensione. Se in un conduttore le cariche elettriche scorrono sempre nella stessa direzione, si afferma che il conduttore è percorso da una corrente continua. Se le cariche elettriche scorrono alternativamente in una direzione e in quella opposta, si afferma che il conduttore è percorso da una corrente alternata. La corrente continua e la corrente alternata possono essere rappresentate rispettivamente da una linea orizzontale e da una sinusoide

in un piano cartesiano, dove il simbolo "A" rappresenta l'ampiezza della corrente, "T" il periodo della sinusoide, ovvero il tempo di ripetizione della sinusoide, "t" il tempo, come mostrato in **Figura 1**.

Osservando la **Figura 1** notiamo che la corrente continua rappresentata dalle due linee orizzontali può essere positiva o negativa, ma la sua ampiezza resta costante nel tempo. La corrente alternata rappresentata dalla sinusoide, alterna nel tempo l'andamento dell'ampiezza da valori positivi a negativi. Quando la corrente continua scorre in un resistore, sappiamo che ai capi di questo resistore si disporrà una differenza di potenziale, ossia una tensione continua. Se la corrente che scorre nel resistore è alternata, si avrà ai capi del resistore una tensione alternata. Il concetto di corrente e tensione continua e di corrente e tensione alternata riguarda anche il generatore elettrico. Abbiamo già avuto a che fare con il generatore elettrico in varie puntate del corso, ma si è sempre trattato del generatore di tensione in corrente continua che abbiamo utilizzato nell'analisi teorica dei circuiti, in esempi e progetti, e nelle esercitazioni. Questa volta, utilizzeremo il generatore di tensione in corrente alternata nei circuiti che tratteremo per studiare il funzionamento del raddrizzatore a diodi.

## IL DIODO RADDRIZZATORE

Sfruttando la caratteristica del diodo che conduce corrente solo in una direzione dall'anodo al catodo quando è polarizzato direttamente, è possibile realizzare un'applicazione denominata raddrizzatore. Chiariamo subito con un semplice circuito raddrizzatore di esempio riportato in **Figura 2**.

Il circuito raddrizzatore di **Figura 2** è costituito dal generatore di tensione alternata sinusoidale  $v_s$  e dal diodo D1 con in serie il resistore R1 in parallelo al condensatore C1; per il momento, non consideriamo collegato il condensatore dato che vedremo più avanti che il parallelo R1//C1 realizza un filtro RC necessario per trasformare la forma d'onda pulsante costituita dalla sequenza

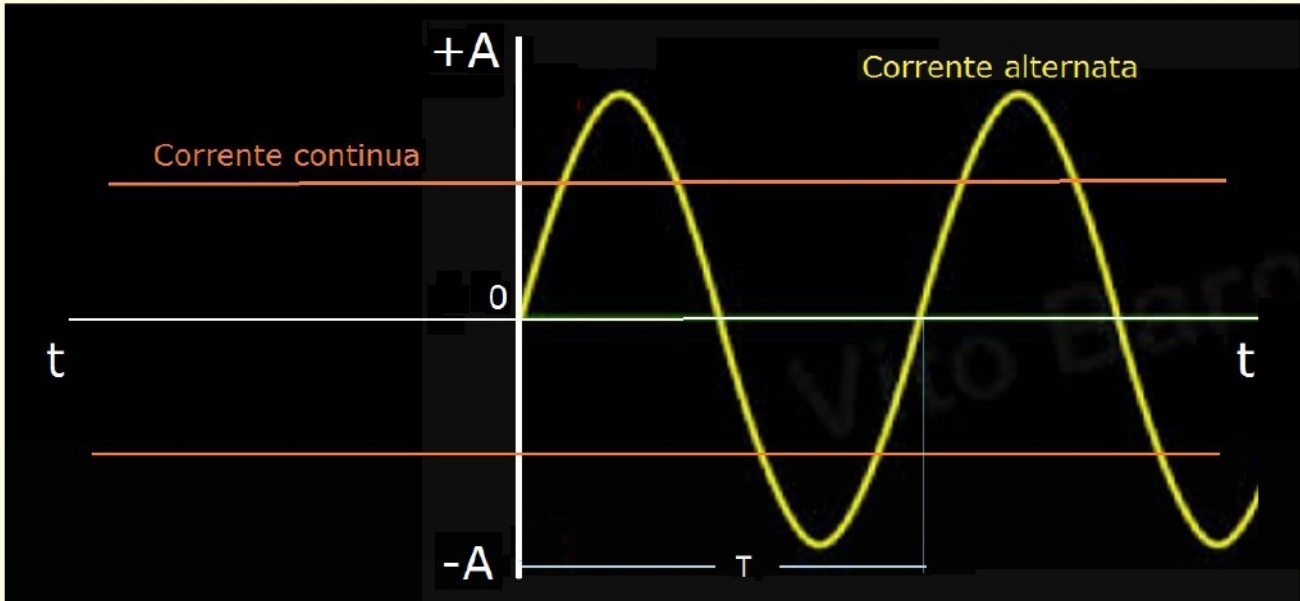


Figura 1: Corrente continua e corrente alternata

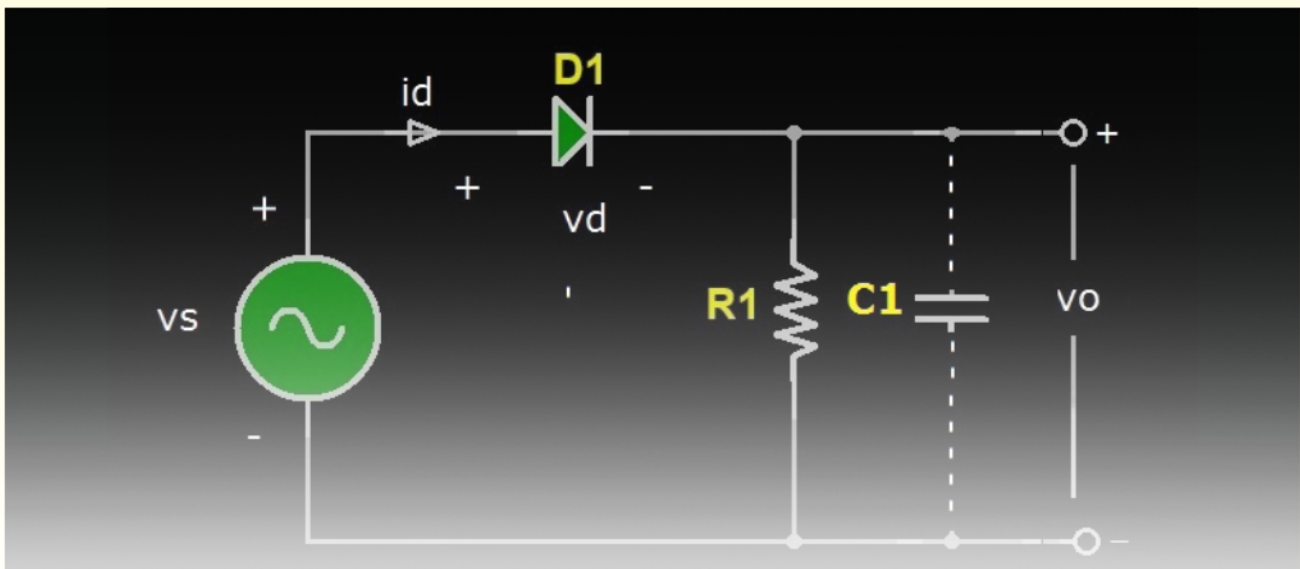


Figura 2: Esempio di raddrizzatore

**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 %**

