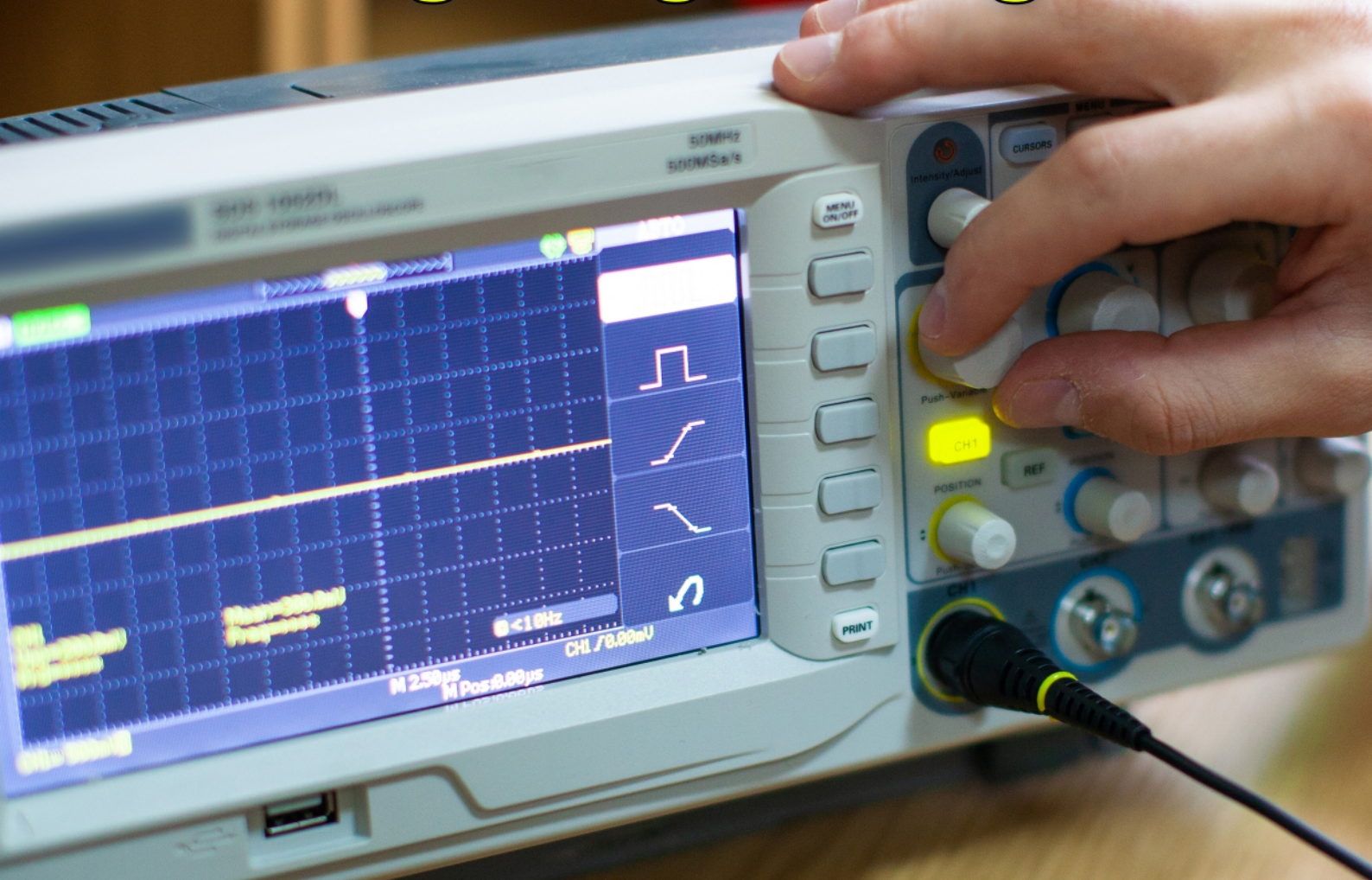


Test & Measurements Analog & Digital Signals



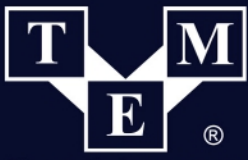
IN QUESTO NUMERO:

LA DIGITALIZZAZIONE DEI SEGNALE ANALOGICI NEI PROCESSI DI MISURAZIONE

FLEA-SCOPE: UN OSCILLOSCOPIO OPEN SOURCE DA 13 DOLLARI

CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI - PUNTATA 23

E MOLTI ALTRI ARTICOLI E PROGETTI!



Electronic Components

EST. 1989

TRANSFER
MULTISORT
ELEKTRONIK

GLOBAL DISTRIBUTOR OF ELECTRONIC COMPONENTS

Panasonic
INDUSTRY

RELÈ DI SICUREZZA
COMPATTI



PER
SAPERNE
DI PIÙ

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 2024?

<i>TOPICS</i>	<i>MAKERS ZONE</i>	<i>DATA DI PUBBLICAZIONE</i>
Wireless/RF	Audio/Video	1 Febbraio
PCB	PCB Design	1 Marzo
Artificial Intelligence	Robotics	1 Aprile
Arduino	Open Source Projects	1 Maggio
Medical	Wearable	1 Giugno
Power/Motor	Car Hacking	1 Luglio
IoT	MEMS&Smart Sensors	1 Settembre
Renewable Energy	Smart Projects	1 Ottobre
Industry 4.0	Remote control	1 Novembre
Test&Measurements	Analog&Digital Signals	1 Dicembre

La rivoluzione del settore T&M nel mondo dell'elettronica tra innovazione e precisione

Cari lettori, benvenuti al numero 49 di Firmware 2.0, ultimo di questo anno, e dedicato all'affascinante mondo del Test & Measurements, con un focus particolare sui segnali analogici e digitali. In questo numero, esploreremo come si sta evolvendo il mercato elettronico delle soluzioni di test e misure, trasformando il modo in cui progettisti, ingegneri e tecnici affrontano le sfide quotidiane. Nell'attuale panorama tecnologico, disporre di una buona strumentazione di test e misura è utile e necessario, **la qualità degli strumenti può infatti fare la differenza** tra un progetto di successo e uno fallimentare. Dagli oscilloscopi ai multimetri, dai generatori di segnale agli analizzatori di spettro, ogni strumento possiede le sue caratteristiche distintive e la sua importanza strategica nel garantire affidabilità, precisione e sicurezza delle applicazioni elettroniche. L'avvento di tecnologie digitali avanzate ha permesso lo sviluppo di strumenti sempre più sofisticati, ne sono un esempio i moderni oscilloscopi digitali che sono in grado di offrire una maggiore larghezza di banda e velocità di campionamento, oltre a funzionalità avanzate come l'analisi del protocollo e la decodifica automatica dei segnali, consentendo agli ingegneri di identificare in modo semplice e rapido problemi complessi nei loro circuiti. Allo stesso tempo, **i multimetri digitali stanno diventando sempre più precisi e versatili**, con funzionalità integrate come la connettività wireless e l'acquisizione automatica dei dati. Tali strumenti permettono di monitorare i parametri critici in tempo reale e di condividere le misure con i team di sviluppo anche a distanza. L'utilizzo sempre più diffuso di software avanzati per l'analisi dei dati raccolti consente di ottenere insight preziosi che possono guidare il processo decisionale e migliorare la qualità del prodotto finale. Le misure dei segnali, siano essi analogici o digitali, rappresentano un altro ambito fondamentale nel settore T&M. La capacità di catturare, analizzare e interpretare correttamente i segnali è alla base di qualsiasi applicazione elettronica, dalla progettazione di circuiti integrati alla manutenzione di impianti industriali. I moderni strumenti di misura offrono una precisione senza precedenti, permettendo di rilevare anche le più piccole variazioni nei segnali e di diagnosticare problemi che altrimenti potrebbero passare inosservati. Inoltre, poiché in questi tempi si parla molto di Intelligenza Artificiale in quasi ogni ambito, vale la pena ricordare che anche nei sistemi di test e misura sta prendendo forma **l'integrazione dell'IA**, attraverso **strumenti sempre più potenti e intuitivi** in grado di auto apprendere e migliorare le prestazioni nel tempo, semplificando così il lavoro quotidiano degli ingegneri, e migliorando allo stesso tempo la qualità e l'affidabilità dei prodotti elettronici. Immaginiamo le potenzialità di un oscilloscopio che rileva un'anomalia e suggerisce anche le possibili cause e le soluzioni basate su un vasto database di conoscenze. Questo e molto altro potrete trovare tra le pagine di Firmware 2.0. Nel ringraziarvi di aver fatto parte anche quest'anno della vastissima community di Elettronica Open Source, **vi auguriamo di trarre il massimo dai nostri articoli e progetti, e vi rimandiamo ad un nuovo anno ricco di contenuti sempre aggiornati e di alta qualità**, insieme a informazioni preziose per aiutarvi a navigare nell'infinito mondo dell'elettronica e delle nuove tecnologie.

Buona lettura!

Giordana Francesca Brescia

La più ampia selezione di componenti elettronici™

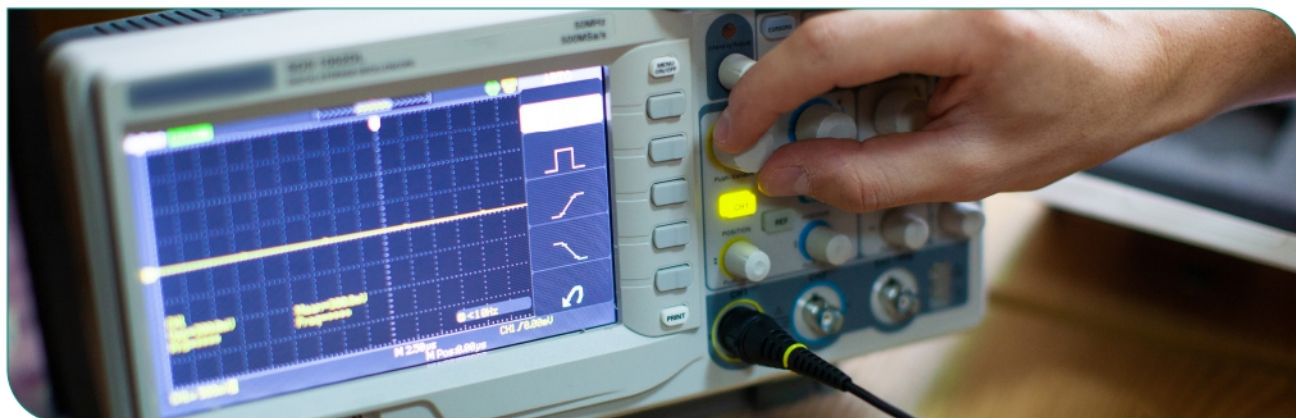
A magazzino e pronti per la spedizione



mouser.it



Test & Measurements Analog & Digital Signals



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 - 147.756

Social Network - 131.841

© Copyright

Tutti i diritti di riproduzione o di traduzione degli articoli pubblicati sono riservati. Manoscritti e disegni sono di proprietà di Contango SL.

E' 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 RIVOLUZIONE DEL SETTORE T&M NEL MONDO DELL'ELETTRONICA TRA INNOVAZIONE E PRECISIONE

3

LA DIGITALIZZAZIONE DEI SEGNALI ANALOGICI NEI PROCESSI DI MISURAZIONE

6

NAND 3D A 112 LAYER: SCOPRIAMO GLI SSD MTE370T E MTE380T DI TRANSCEND

10

ARDUINO OPTA E ARDUINO CLOUD: IL FUTURO DELL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE E DELL'IOT

16

ARDUINO NICLA: SOLUZIONI DI SENSOR FUSION PER SMART CITIES

21

REALIZZIAMO UN TRANSCEIVER SSB CON GNU RADIO

25

GLI EFFETTI DEGLI ELEMENTI PARASSITI SULLA MISURA DELL'IMPEDENZA

32

PROGETTO DI UN MULTIMETRO DIGITALE CON ARDUINO

36

5 DEVELOPMENT BOARD PER PROGETTISTI DI STRUMENTI DI MISURA

44

UN'ALTERNATIVA ALL'ADC: L'ADIC, ANALOG TO DIGITAL INFORMATION CONVERTER

50

FLEA-SCOPE: UN OSCILLOSCOPIO OPEN SOURCE DA 13 DOLLARI

54

OSCILLOSCOPIO ANALOGICO O DIGITALE?

59

UN SISTEMA PER LE MISURAZIONI ELETTRICHE CON MATLAB E ARDUINO

64

DEMODULARE UN SEGNALE QPSK CON PYTHON

70

DEMODULARE UN SEGNALE FM CON PYTHON

78

CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI - PUNTATA 23

82

NUOVE SCHEDE MICROSD AD ALTE PRESTAZIONI PER RASPBERRY PI 5

88

RASPBERRY PI AI HAT+: PIU' POTENZA EDGE AI PER IL RASPBERRY PI 5

89

PARTICLE PRESENTA INNOVAZIONI IOT CON NUOVE ESPANSIONI HARDWARE E SOLUZIONI SOFTWARE

90



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

LA DIGITALIZZAZIONE DEI SEGNALI ANALOGICI NEI PROCESSI DI MISURAZIONE

di Fulvio De Santis

Questo articolo, oltre ad essere una panoramica sulla digitalizzazione dei segnali analogici, può essere considerato come una guida generale per progettisti, ingegneri e tecnici elettronici, una risorsa tecnica di riferimento per comprendere e migliorare la qualità delle misurazioni analogiche.

INTRODUZIONE

La digitalizzazione è il processo di conversione di un segnale elettrico, spesso proveniente da un sensore, in un segnale digitale che un computer può interpretare ed elaborare. La digitalizzazione è la funzione principale di un sistema di acquisizione dati (DAQ). Un sistema DAQ è costituito da sensori, hardware di misurazione DAQ e un computer (o microcontrollore) con software programmabile. Rispetto ai sistemi di misurazione tradizionali, i sistemi DAQ basati su computer sfruttano la potenza di elaborazione, la produttività, la visualizzazione e le capacità di connettività dei computer standard del settore, per fornire una soluzione di misurazione più potente, flessibile e conveniente. La misurazione di un fenomeno fisico, come la temperatura di una stanza, l'intensità di una sorgente luminosa o la forza applicata ad un oggetto, inizia con un sensore. Un sensore, chiamato anche trasduttore, converte un fenomeno fisico in un segnale elettrico misurabile.

A seconda del tipo di sensore, la sua uscita elettrica può essere una tensione, una corrente, una resistenza o un altro attributo elettrico che varia nel tempo. Alcuni sensori potrebbero richiedere componenti e circuiti aggiuntivi per produrre correttamente un segnale che possa essere letto in modo preciso e sicuro da un dispositivo DAQ. L'hardware DAQ funge da interfaccia tra un computer ed i segnali provenienti dal mondo esterno. Funziona principalmente come un dispositivo che traduce i segnali analogici in ingresso in modo che un computer possa interpretarli.

I tre componenti chiave di un dispositivo DAQ utilizzato per misurare un segnale sono:

- Il circuito di condizionamento del segnale
- Il convertitore analogico-digitale (ADC)
- Il bus del computer

Molti dispositivi DAQ includono altre funzioni per automatizzare i sistemi ed i processi di misurazione. Ad esempio, i convertitori digitale-analogico (DAC) emettono

segnali analogici, le linee di I/O digitali immettono ed emettono segnali digitali, ed i contatori/timer misurano e generano impulsi digitali. Un computer con software configurabile controlla il funzionamento del dispositivo DAQ e viene utilizzato per elaborare, visualizzare e memorizzare i dati di misurazione. Diversi tipi di computer vengono utilizzati in diversi tipi di applicazioni. Un desktop può essere utilizzato in un laboratorio per la sua potenza di elaborazione, un notebook può essere utilizzato sul campo per la sua portabilità, oppure un computer industriale può essere utilizzato in uno stabilimento di produzione per la sua robustezza.

HARDWARE DI DIGITALIZZAZIONE

Al livello più alto, quando si utilizza l'hardware di digitalizzazione, l'obiettivo è di configurare una misurazione di un dato segnale, sia nel tempo che nell'ampiezza. Il grado in cui è possibile ottenere ciò, dipende da una moltitudine di fattori e ogni scenario di misurazione è in qualche modo unico nei suoi requisiti. Quando si seleziona un dispositivo di digitalizzazione, è necessario comprendere la natura del segnale analogico che si sta digitalizzando, come descritto nei seguenti casi:

a. Il segnale è continuo o si prevedono discontinuità (ad esempio, cambiamenti di livello non ripetuti, grandi variazioni di frequenza, picchi, e così via). I segnali continui a frequenze moderate (spettro audio e inferiori), in cui il rumore può essere un problema, necessitano di un dispositivo **DAQ** basato su campionamento delta-sigma che implementi il sovra campionamento con filtri anti-aliasing. I segnali non continui o in rapida evoluzione possono richiedere una maggiore larghezza di banda istantanea ed una frequenza di campionamento più rapida di un dispositivo DAQ basato su campionamento SAR o Pipeline per una latenza inferiore.

b. L'ampiezza cambia rapidamente rispetto al tempo o cambia lentamente o addirittura è una tensione conti-

na. I segnali in rapida evoluzione (ad alta frequenza) devono essere campionati ad una velocità sufficiente per evitare l'aliasing secondo il teorema di campionamento di Nyquist. I segnali a variazione lenta (bassa frequenza) potrebbero dover essere campionati lentamente per evitare un set di dati ingestibile.

c. I segnali rumorosi possono trarre vantaggio dal filtraggio e dalla media integrata per attenuare o eliminare completamente l'impatto sul segnale misurato. Una migliore comprensione delle fonti di rumore può anche aiutare a selezionare un dispositivo per ridurre al minimo l'impatto. È fondamentale comprendere il tipo di evento, se presente, che può attivare la digitalizzazione, un impulso digitale, un livello analogico, e così via.

d. La latenza, il tempo tra l'evento di attivazione e il primo campione digitalizzato, deve essere compresa e gestita di conseguenza. La selezione di un dispositivo con intervalli di input appropriati aiuta a massimizzare la risoluzione del segnale. Alcuni dispositivi offrono un intervallo dinamico più ampio per catturare segnali che possono variare in modo significativo nel corso di un periodo di misurazione.

ARCHITETTURE DI UN DISPOSITIVO DI DIGITALIZZAZIONE

Sebbene si possa scegliere tra molte architetture per digitalizzare segnali analogici in codici digitali, alcune sono di gran lunga le più comuni, come **SAR** (Successive-Approximation Register), Delta Sigma ($\Delta\Sigma$) e Pipeline. Ognuna ha vantaggi e svantaggi specifici, ma tutte svolgono fondamentalmente lo stesso compito: caratterizzare un segnale analogico con una rappresentazione digitale. L'architettura ADC che viene selezionata influisce sulla capacità di attivare una misurazione in base ad un evento. La latenza di ogni ADC è una misura del

dispositivi basati su SAR utilizzando un metodo come la ricerca binaria: si cattura e si confronta la tensione di ingresso con riferimenti progressivamente più piccoli fino ad ottenere una misurazione precisa (per approssimazioni successive). Inoltre, l'architettura SAR si presta bene all'inserimento di più ingressi nello stesso circuito ADC, ma a scapito della frequenza di campionamento per canale. Questo processo è chiamato "multiplexing". Quando è necessario sincronizzare strettamente i canali adiacenti, è possibile utilizzare più ADC SAR su un singolo dispositivo DAQ per effettuare misurazioni simultanee.

DELTA SIGMA ($\Delta\Sigma$)

I dispositivi DAQ basati su Delta-Sigma hanno i vantaggi principali di basso rumore e rigetto degli alias con una risoluzione eccezionale, misurazioni precise, a dispetto di una frequenza di campionamento effettiva inferiore, una larghezza di banda inferiore ed una latenza aumentata. Concettualmente, come la modulazione di larghezza di impulso (PWM), il modulatore $\Delta\Sigma$ trasforma la tensione di ingresso che s'intende misurare in un flusso di impulsi tra zero e una tensione di riferimento. Questo flusso di bit binario è sincronizzato ad una velocità molto più elevata (chiamata sovra campionamento) rispetto alla velocità desiderata della misurazione, in modo da poter filtrare e decimare blocchi del flusso di bit in una rappresentazione a risoluzione più elevata del segnale di ingresso originale.

L'approccio al sovra campionamento significa che la frequenza di Nyquist è ben al di sopra della massima frequenza del segnale di ingresso, il che, a sua volta, significa che gli alias di quel segnale sono ancora più elevati. Poiché il sovra campionamento fornisce una generosa quantità di spazio tra il segnale di interesse e la frequenza di Nyquist, il filtraggio diventa un compito più semplice. Applicando un filtro anti-aliasing con una

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!

NAND 3D A 112 LAYER: SCOPRIAMO GLI SSD MTE370T E MTE380T DI TRANSCEND

di **Daniele Valanzuolo**

Transcend Information Inc., leader mondiale nel settore delle memorie e delle soluzioni di storage, ha sempre puntato sull'innovazione tecnologica per mantenere il suo vantaggio competitivo nel settore di riferimento. Una delle tecnologie chiave che ha permesso a Transcend di eccellere nel mercato è la ricerca e sviluppo nelle tecnologie NAND 3D, una soluzione avanzata che migliora significativamente la densità, le prestazioni e la durata delle memorie flash. Questo articolo tecnico esplorerà in dettaglio gli aspetti ingegneristici delle tecnologie NAND 3D a 112 Layer utilizzate da Transcend ed i due modelli di SSD di punta MTE370T e MTE380T che la società commercializza a livello globale.

Nella continua corsa allo sviluppo di soluzioni tecnologiche avanzate per l'archiviazione, le NAND 3D rappresentano una delle innovazioni più significative degli ultimi anni.

“Ma cosa sono esattamente le NAND 3D e perché sono così rivoluzionarie?”

Le memorie flash a tecnologia NAND sono il tipo più comune di memoria flash e vengono utilizzate in una vasta gamma di dispositivi, dagli smartphone ai server di dati. Le NAND 3D sono l'ultima frontiera delle memorie flash, utilizzate principalmente nei Solid State Drive (SSD). La principale differenza tra le NAND tradizionali (planari) e le NAND 3D è ricondotta all'architettura della loro struttura fisica. Nelle NAND planari, le celle di memoria sono disposte in un singolo strato orizzontale sul chip di silicio. Questo approccio ha però dei limiti fisici, poiché man mano che le celle vengono ridotte di dimensione per aumentare la capacità, si avvicinano sempre di più, aumentando la probabilità di interferenze elettriche che possono compromettere l'affidabilità e le prestazioni. **Le NAND 3D superano queste limitazioni disponendo le celle di memoria in strati verticali, uno sopra l'altro, anziché in un singolo strato orizzontale. La struttura tridimensionale permette di aumentare notevolmente la densità di memoria senza ridurre le dimensioni delle singole celle, mantenendo così l'affidabilità e migliorando le prestazioni complessive.** Ad esempio, le soluzioni di Transcend utilizzano NAND 3D a 112 livelli, consentendo una capacità di memoria molto maggiore rispetto alle NAND planari a 96 livelli. Un altro vantaggio delle NAND 3D è la loro efficienza in termini di costi. Sebbene la produzione iniziale delle NAND 3D possa essere più costosa a causa della

complessità del processo, il costo per bit è inferiore grazie alla maggiore densità di memoria ottenibile. Ciò significa che, alla lunga, le NAND 3D offrono un rapporto costo/prestazioni molto vantaggioso, rendendole una scelta preferita per una vasta gamma di applicazioni, dalle unità SSD consumer ai data center aziendali. Le NAND 3D offrono anche prestazioni e affidabilità superiori. Le prestazioni I/O (input/output) sono migliorate, con un throughput più elevato e una latenza ridotta rispetto alle generazioni precedenti di NAND planari. Inoltre, la maggiore resistenza delle celle di memoria, misurata in cicli di Program/Erase (P/E), garantisce una durata di vita più lunga del dispositivo. Le NAND 3D di Transcend, ad esempio, vantano una resistenza di cicli P/E di 3K, rendendole adatte per applicazioni che richiedono una scrittura e riscrittura intensiva dei dati. Transcend integra ulteriori tecnologie avanzate per migliorare l'affidabilità e la durata delle sue NAND 3D. Queste includono il caching SLC (Single-Level Cell), che migliora le prestazioni di scrittura, e il codice di correzione degli errori LDPC (Low-Density Parity-Check), che aumenta l'affidabilità dei dati. Tecnologie come il RAID engine e il wide temperature design assicurano che i dispositivi possano operare in condizioni estreme senza compromettere l'integrità dei dati.

TRANSCEND MTE370T

Introduciamo dunque l'SSD M.2 2230 MTE370T di Transcend, che si distingue dalla concorrenza per l'adozione della tecnologia NAND 3D, rappresentando un notevole passo avanti in termini di efficienza e capacità di storage. Grazie all'impiego della NAND 3D a 112 livelli, questo SSD è in grado di impilare verticalmente i chip di memoria, migliorando drasticamente la densità di archiviazione e offrendo una soluzione ideale per ap-

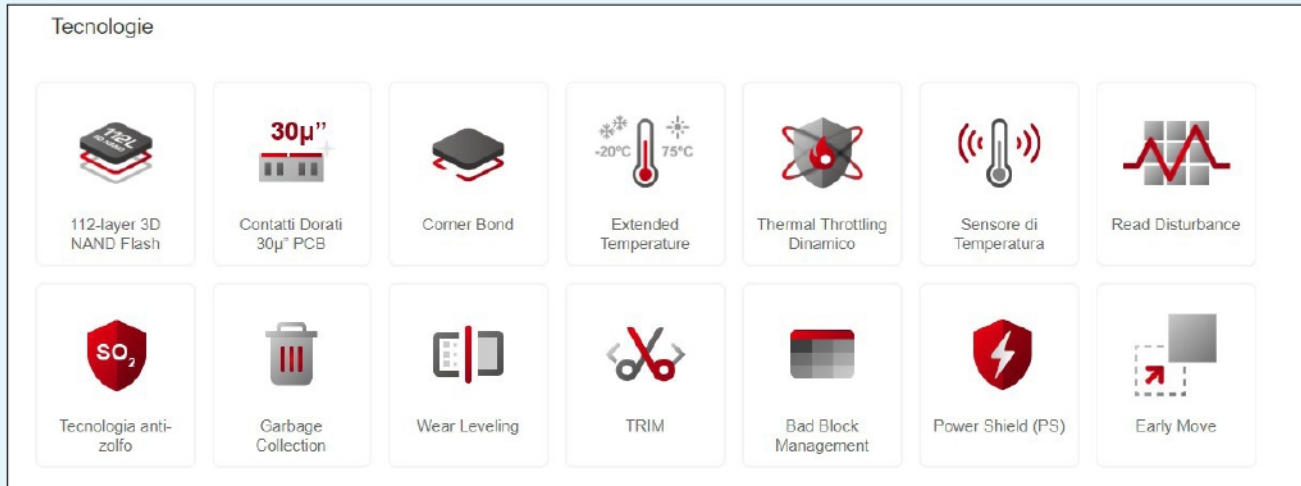


Figura 1: Tecnologie implementate negli SSD MTE370T (Fonte: it.transcend-info.com)

plicazioni mission-critical.

La tecnologia NAND 3D consente all'MTE370T di Transcend di sfruttare al massimo lo spazio disponibile, impilando 112 strati di chip flash in una configurazione compatta ma potente. La struttura tridimensionale permette di ottenere una maggiore capacità di memoria senza compromettere l'affidabilità o le prestazioni. Inoltre, l'interfaccia PCI Express (PCIe) Gen3 x 4 e la compatibilità con le specifiche NVMe Express (NVMe) 1.3 garantiscono velocità di trasferimento eccezionali, rendendo questo SSD una scelta eccellente per chi cerca prestazioni elevate. La robustezza e l'affidabilità dell'MTE370T sono assicurate da diverse tecnologie avanzate. I contatti dorati da 30µ" e la tecnologia Corner Bond rafforzano i componenti interni, assicurando una resistenza meccanica superiore ed una maggiore longevità. Con una valutazione di resistenza di 3K cicli P/E e una temperatura operativa estesa che va da -20 °C a 75 °C, l'MTE370T è progettato per operare in ambienti estremi e condizioni difficili, garantendo la continuità operativa e le prestazioni dei dati.

Error Correcting Code (ECC) integrato contribuiscono a migliorare le prestazioni e la durata dell'SSD. Funzioni come il comando TRIM, NCQ e la crittografia AES opzionale offrono ulteriori livelli di ottimizzazione delle prestazioni e sicurezza dei dati. Inoltre, la conformità agli standard RoHS 2.0 e NVMe Express garantisce che l'MTE370T soddisfi le normative ambientali e di settore più rigorose. Il design compatto dell'MTE370T, con un **form factor M.2 da 30 mm**, lo rende ideale per dispositivi di calcolo mobile e applicazioni dove lo spazio è limitato. La tecnologia Power Shield (PS) protegge l'integrità dei dati in caso di perdite improvvise di corrente, minimizzando il rischio di corruzione dei dati.

TRANSCEND MTE380T E MTE380T-I

Nel campo delle soluzioni di archiviazione, Transcend ha lanciato sul mercato anche due SSD di punta: l'MTE380T e l'MTE380T-I. Entrambi i modelli rappresentano il massimo dell'innovazione tecnologica, combinando le avanzate capacità della NAND 3D con funzionalità di sicurezza di alto livello, ed offrendo pro-

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!

ARDUINO OPTA E ARDUINO CLOUD: IL FUTURO DELL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE E DELL'IOT

di **Fulvio De Santis**

*Vent'anni dopo aver rivoluzionato l'elettronica con il suo approccio open-source, Arduino è molto più di un circuito stampato basato su microcontrollore a 8 bit e di un ambiente di sviluppo software essenziale. Oggi il progetto è in prima linea per i sistemi embedded del futuro, grazie alla sorprendente spinta di un **ecosistema Pro** in crescita. In questo articolo, esploriamo in particolare le potenzialità del micro PLC Arduino Opta e della sua integrazione con Arduino Cloud.*

LA NUOVA FRONTIERA DEI SISTEMI EMBEDDED

Nello sviluppo di sistemi embedded, due tendenze principali stanno guidando le scelte tecniche e gli investimenti a livello globale. La prima è la pervasiva diffusione dell'Intelligenza Artificiale (IA) che, tramite algoritmi di Machine Learning (ML), consente di **acquisire ed elaborare dati sul campo, e prendere decisioni in tempo reale al livello del microchip - sul cosiddetto "edge"** - senza necessità di trasferire dati su server centrali ad alta capacità computazionale. Con prodotti come quelli della famiglia Nicla e le partnership con aziende quali Edge Impulse, Arduino dimostra di poter avere un ruolo di primo piano anche in questi nuovi scenari.

La seconda tendenza è **la crescita esponenziale delle capacità di comunicazione tra dispositivi connessi, nota come Internet of Things (IoT)**, con la nascita di tecnologie e protocolli dedicati all'interazione macchina-macchina, come Thread. Negli ultimi anni, Arduino ha abbracciato il cloud e l'IoT con offerte come **Arduino Cloud**, che offre agli sviluppatori una comoda piattaforma per programmare e aggiornare i dispositivi da remoto, senza necessità di software installati localmente. Non solo: Arduino Cloud permette di creare interfacce interattive per attuare comandi sui dispositivi e visualizzare - con rappresentazioni grafiche chiare e immediate - le informazioni ricevute dal campo, via web browser o mobile grazie alle applicazioni per smartphone **IoT Remote** (disponibili sia per iOS che per Android).

In questo contesto, dopo il successo delle schede a microcontrollore programmabili ad alte prestazioni della linea Pro, **Arduino ha esteso il proprio approccio innovativo anche al mondo dei micro PLC (Con-**

trollori Logici Programmabili): a inizio 2023 è nata Arduino Opta, con un parallelo rafforzamento dell'**offerta Arduino Cloud con l'introduzione di piani e servizi dedicati alle aziende.**

ARDUINO OPTA: IL "COLTELLINO SVIZZERO" DELL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

Con il lancio di Opta, Arduino è sbarcata ufficialmente nel settore PLC per continuare a perseguire la mission di "rendere semplici le tecnologie complesse, perché tutti abbiano gli strumenti per innovare". Arduino Opta è un micro controllore logico programmabile (PLC) con funzionalità IoT industriali (IIoT). Progettato in collaborazione con Finder, leader nella produzione di componenti elettronici ed elettromeccanici, ha l'affidabilità e la potenza di calcolo necessarie a realizzare un elevato numero di **applicazioni di controllo, monitoraggio e manutenzione predittiva in tempo reale**. Grazie al potente microcontrollore STM32H7, può supportare algoritmi di IA e implementare rapidamente processi operativi automatici sulla base delle informazioni ricevute dai sensori sul campo. Permette quindi ai professionisti nelle più varie industry di ampliare i propri progetti di automazione, sfruttando al contempo l'ecosistema Arduino. *La Figura 1 presenta Arduino Opta.*

Si tratta di un dispositivo installabile a barra DIN, dal form factor compatto, che espone 8 ingressi programmabili in tensione e 4 potenti relays da 250V, certificato cULus, FCC, IC, CE ed ENEC.

LA POTENZA DI OPTA RISIEDA NELLA CONNETTIVITÀ

La connettività **Ethernet**, disponibile in tutte le varianti



Figura 1: Il Micro PLC Arduino Opta

Opta a partire da **Opta Lite**, può essere utilizzata per comunicazione TCP/IP e fieldbus utilizzando il protocollo Modbus TCP. Per estendere le opzioni di connettività sono inoltre disponibili due ulteriori varianti: **Opta RS485** che presenta un terminale per comunicazioni via **Modbus RTU** e **Opta WiFi** che, oltre al precedente, offre connettività **wireless Wi-Fi e Bluetooth** per connettività verso la rete o per l'acquisizione dati dai sensori sul campo. A garanzia dell'integrità dei dati e della gestione delle chiavi di crittografia, Opta integra nel proprio hardware un chip dedicato alla gestione della sicurezza.

Queste opzioni permettono di collegare sensori wireless o Modbus standard, e di ottenere dati da essi. Utilizzando ad esempio sensori di temperatura e umidità via Modbus RTU e di vibrazione via BLE, è possibile rilevare anche minime anomalie dei macchinari, per cogliere immediatamente i segnali prima dell'insorgere di un problema vero e proprio, e intervenire in modo preventivo. Non solo: diverse azioni (dall'invio di una notifica all'operatore all'arresto della macchina) possono essere automatizzate anche sulla base delle informazioni raccolte, facendo girare algoritmi di IA direttamente "on the edge".

UN MICRO PLC PROGRAMMABILE (ANCHE) CON IL LINGUAGGIO ARDUINO

Per programmare Opta è possibile utilizzare il linguaggio **Arduino** (basato su C++) tramite l'**Arduino IDE**, beneficiando dell'ampia disponibilità di librerie, della ricchezza di esempi reperibili online e della vastità di programmi sviluppati e condivisi dalla community. Questo approccio open source consente una drastica riduzione dei tempi di sviluppo ed elimina il "vendor lock in", ovvero l'ipoteca sugli sviluppi futuri del proprio progetto legati alla dipendenza da un determinato fornitore di hardware/software proprietario. L'ampia diffusione del linguaggio Arduino permette inoltre di acquisire rapidamente le figure professionali necessarie per lo sviluppo software.

Ma non solo. **Opta supporta anche i 5 tradizionali linguaggi di programmazione PLC definiti dallo standard IEC 61131-3**, ovvero ladder diagram (LD),

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!

ARDUINO NICLA: SOLUZIONI DI SENSOR FUSION PER SMART CITIES

di **Daniele Valanzuolo**

Nelle città moderne, la gestione efficiente degli spazi pubblici è cruciale. Con reti di sensori wireless (WSN) e l'uso di tecnologie IoT avanzate dotate di Machine Learning e AI, è possibile prendere decisioni più rapide e sicure, trasformando ogni smart city in un ecosistema innovativo e connesso. In questo scenario, le schede Arduino Nicla offrono soluzioni compatte, flessibili e scalabili per monitorare parametri ambientali, movimenti e attività umane, rendendo possibili applicazioni di sensor fusion in tempo reale. Queste soluzioni sono, infatti, in grado di raccogliere ed elaborare dati autonomamente o, in alternativa, di interfacciarsi con le schede Arduino Portenta, che possono fungere da gateway. In questo articolo, osserveremo alcune diverse soluzioni di nodi realizzate con le schede della famiglia Arduino Nicla.

INTRODUZIONE

Con l'aumento della popolazione urbana e la crescente pressione sulle infrastrutture, le città necessitano di strumenti in grado di monitorare l'occupazione e l'utilizzo delle aree pubbliche, come parchi, piazze e spazi di ritrovo. I sistemi di monitoraggio basati su reti di sensori permettono di raccogliere dati in tempo reale su una varietà di parametri, tra cui la presenza e l'attività umana, i livelli di rumore e le condizioni ambientali, creando un quadro dettagliato e dinamico dell'utilizzo degli spazi urbani. Inoltre, **grazie ad algoritmi di fusione dei dati acquisiti dai sensori è possibile trasformare informazioni semplici** (come rumore, suoni, temperatura, qualità dell'aria, luce e altro) **in potenti informazioni complesse** (frutto della correlazione tra informazioni semplici e storiche, come ad esempio previsioni meteorologiche, stime e trend delle ondate di calore in aree urbane, individuazione di sovraffollamenti in determinate aree, valutazione del livello di traffico veicolare o pedonale). Oltretutto, grazie all'integrazione con sistemi dotati di Machine Learning è possibile realizzare algoritmi ancor più complessi e adattativi alle evoluzioni della WSN.

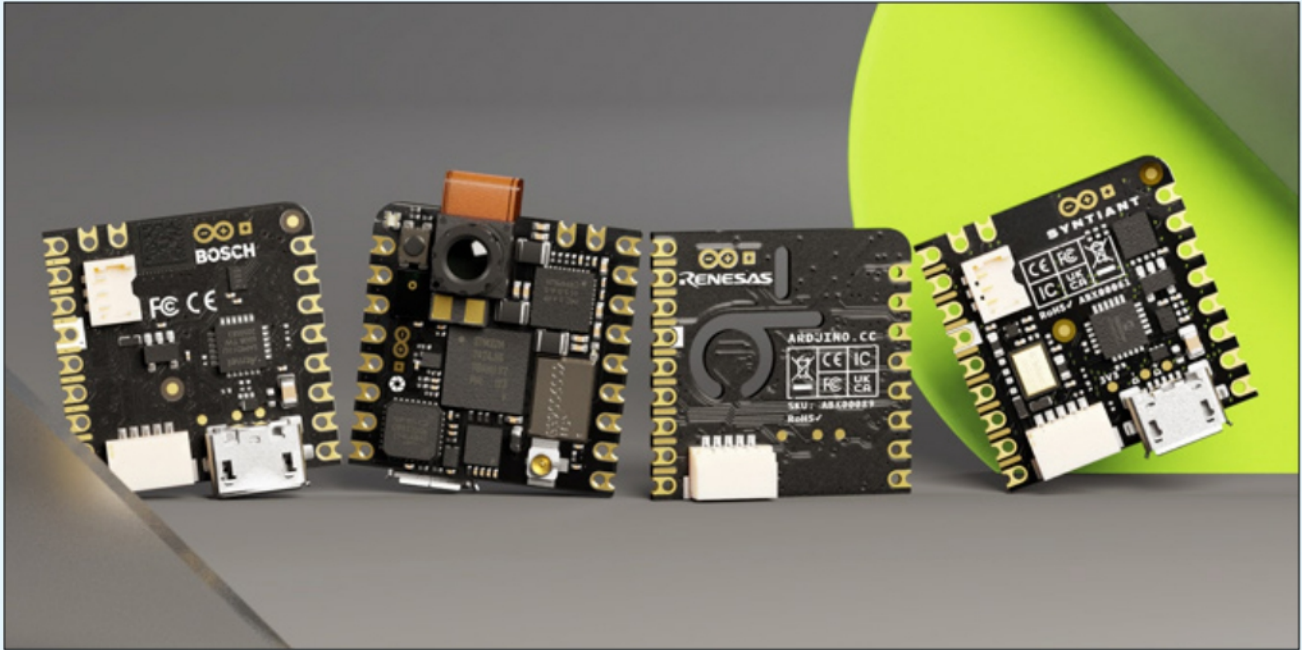
Per progettare una rete di sensori ed un sistema di sensor fusion per applicazioni di **Smart City**, è essenziale definire una rete composta da nodi sensoriali distribuiti (periferici) e nodi di elaborazione centrale per la gestione delle informazioni. In questo sistema, le schede **Arduino Nicla** fungono da nodi sensoriali che raccolgono dati ambientali, di sicurezza e di traffico, mentre le schede Arduino Portenta servono da unità centrali per l'elaborazione avanzata, applicando algoritmi di Intelligenza Artificiale e gestendo l'integrazione dei dati provenienti dai nodi periferici. La rete si basa quindi su una combinazione di diversi tipi di nodi sensoriali e di nodi di elaborazione, ciascuno progettato per una specifica

funzione. Le schede Nicla sono selezionate in base al tipo di dati che ogni nodo deve raccogliere, sfruttando le loro caratteristiche di dimensioni compatte, basso consumo energetico e sensori integrati. I dati vengono quindi trasmessi tramite protocolli di comunicazione a basso consumo a nodi centrali basati su schede Portenta, che raccolgono, elaborano e interpretano le informazioni per prendere decisioni in tempo reale o per fornire dati utili alle autorità cittadine.

NODI DELLA WSN PER SMART CITIES BASATI SU ARDUINO NICLA

All'interno delle smart cities, spesso i nodi della WSN sono posizionati su infrastrutture urbane già esistenti, come i pali della luce. Questo approccio non solo riduce l'impatto dei sistemi ma ne assicura anche la sostenibilità nel lungo periodo, rendendoli adatti per l'implementazione diffusa nelle aree urbane. In questo scenario, la famiglia Arduino Nicla si distingue come piattaforma avanzata per lo sviluppo di progetti basati su sensor fusion e Intelligenza Artificiale. **Le schede Nicla sono state progettate per semplificare l'integrazione dei sensori e l'elaborazione dei dati direttamente sul dispositivo.** La loro caratteristica principale è l'ottimizzazione per applicazioni portatili e alimentate a batteria, grazie ad un design compatto e ad un consumo energetico ridotto.

Le schede Nicla, inoltre, supportano **Machine Learning on the edge**, una caratteristica fondamentale per applicazioni in cui la velocità e l'affidabilità dell'analisi dei dati sono cruciali. Nicla Sense ME, ad esempio, può eseguire modelli di Intelligenza Artificiale per il rilevamento e la classificazione di movimenti e condizioni ambientali in tempo reale, consentendo di prendere decisioni rapide e reattive direttamente sul dispositivo. Nicla Sense Env, con l'integrazione di sensori specifici per la misura del-



la qualità dell'aria, è ideale per monitorare i parametri ambientali di vaste aree urbane o all'interno di contesti industriali. Nicla Vision, con la sua fotocamera integrata, è ideale per applicazioni di visione artificiale come il riconoscimento facciale e l'identificazione degli oggetti, mentre Nicla Voice supporta il riconoscimento vocale always-on, consentendo la creazione di assistenti vocali e sistemi di controllo tramite comandi vocali. Queste capacità di elaborazione locale offrono numerosi vantaggi, come la riduzione della latenza e una maggiore sicurezza, poiché i dati possono essere analizzati senza essere trasmessi a server esterni.

Le dimensioni compatte della famiglia Nicla rappresentano una caratteristica distintiva e fondamentale. Le schede misurano appena 22.86 mm per lato, e questo le rende ideali per applicazioni portatili e per ambienti in cui lo spazio è limitato, come dispositivi indossabili, sensori ambientali compatti e robot miniaturizzati.

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

In una Smart City, monitorare la qualità dell'aria è fondamentale per il benessere dei cittadini e per ridurre l'inquinamento. Utilizzando Nicla Sense Env si possono rilevare inquinanti atmosferici attraverso sensori integrati di gas e di umidità, elaborando dati che riflettono l'Indice di Qualità dell'Aria (AQI). I dati raccolti vengono processati in tempo reale grazie alla fusione di dati ambientali con tecniche di filtraggio avanzate. Per questa applicazione, di sicuro interesse è **Nicla Sense Env**:

- Sensori integrati: HS4001 (relative humidity and temperature sensor) + ZMOD4510A11V (Gas sensor NO2 e calcoli di Air Quality all'aperto).
- Sensori aggiuntivi: Sensori di particelle PM2.5 e PM10.
- Potenzialità: Ideale per monitorare l'inquinamento in zone urbane dense, con connessione LoRa e possibilità di collegarsi a lungo raggio. Nicla

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**

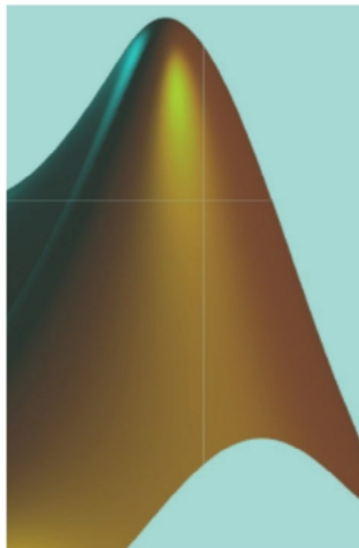


VOGLIO ABBONARMI!



La piattaforma di Elettronica Open Source dedicata ai corsi

SEI UN **PROFESSIONISTA** DELL'**ELETTRONICA**?



CON I CORSI **EOS-ACADEMY** PUOI
MIGLIORARE IL TUO KNOW-HOW E
LE TUE COMPETENZE SULLA
PROGETTAZIONE ELETTRONICA



SCOPRI I CORSI!



FLEA-SCOPE: UN OSCILLOSCOPIO OPEN SOURCE DA 13 DOLLARI

di **Andrea Garrapa**

Flea-Scope è un dispositivo di test in miniatura in grado di fungere da oscilloscopio, analizzatore logico e generatore di forme d'onda, il tutto ad un costo che non supera i 13 dollari. L'idea nasce dal signor Richard Testardi che ha condiviso sul sito [Hackday](#) tutta la documentazione necessaria per chiunque volesse realizzare l'hardware open source, così come lo script per programmare il microcontrollore presente sulla scheda. In questo articolo, andremo a descrivere le caratteristiche della scheda, il modo per costruirla ed utilizzarla.

INTRODUZIONE

Flea-Scope riesce a combinare, su una piccola scheda, un **oscilloscopio**, un analizzatore logico ed un **generatore di forme d'onda** con una spesa di soli 13 dollari. Flea-Scope è in grado di acquisire 18 milioni di campioni al secondo (Msps), ma la cosa forse più interessante è che funziona tramite qualsiasi browser web basato su Chromium in esecuzione su un computer, tablet o telefono, senza installazione di software aggiuntivo. Flea-Scope è basato sul microcontrollore **PIC32MK** e i file **PCB**, la distinta base e le istruzioni di costruzione, possono essere trovati sulla pagina **Hackaday** del progetto. Vengono utilizzati principalmente componenti a montaggio superficiale, e il dispositivo è programmato tramite l'header ICSP a sei pin della scheda. Una volta programmato, è possibile collegarlo tramite USB ad un host e aprire un browser per accedere alla sua GUI. Anche se **Flea-Scope** potrebbe non sostituire una serie di costose apparecchiature di test, in termini di estrema portabilità e di basso prezzo, sembrerebbe impossibile da battere.

FLEA-SCOPE

Flea-Scope è un oscilloscopio USB da 18 milioni di campioni al secondo (Msps) a basso costo (13 dollari in totale) e allo stesso tempo un analizzatore logico a segnali misti con un generatore di forme d'onda integrato, e molto altro ancora. Basato sul MCU PIC32MK, Flea-Scope può essere controllato da qualsiasi browser web basato su Chromium che supporti l'API WebUSB o l'API Web Serial in esecuzione su un computer, tablet o telefono, senza la necessità di ulteriore installazione di software: basta collegarlo e aprire una pagina web e diventa subito operativo.

Caratteristiche tecniche di Flea-Scope:

- 1 ingresso analogico campionato fino a 18 milioni di campioni al secondo (18 Msps) utilizzando

un ADC a 10 bit

- 1 connettore BNC full-size con impedenza di ingresso da 1 MΩ/12 pF
- Dinamica di ingresso da -6 V a +6 V (o da -60 V a +60 V se utilizzata con la sonda dell'oscilloscopio x10)
- Compatibile con la maggior parte delle sonde per oscilloscopi x1 e x10 con connettore BNC full-size
- Modalità di trigger analogico automatico, livello, salita e discesa
- Capacità di trigger/acquisizione ritardata
- Accoppiamento CC
- 9 ingressi digitali dell'analizzatore logico co-campionati insieme all'ingresso analogico
 - Compatibile con livelli logici da 3,3 V o 5 V
 - Modalità di trigger digitale automatica, livello, salita e discesa
- Obiettivo di precisione del 2% per tensioni e tempi
- Il pin "trigger out" consente a più Flea-Scope di funzionare insieme contemporaneamente, come un oscilloscopio multicanale o un analizzatore logico ancora più ampio
- 1 uscita della forma d'onda di prova generata
 - fino a 40 kHz per forme d'onda arbitrarie basate su DAC
 - fino a 4 MHz per onde quadre
- 1 connettore micro-USB; compatibile con isolatore
- Semplice interfaccia utente della pagina Web

Se utilizzato in "modalità di immersione profonda interattiva", Flea-Scope dispone anche di:

- StickOS® BASIC, un ambiente di programmazione interattivo interamente residente nel MCU, con integrato:
 - editor del programma

- compilatore riga per riga
- debugger interattivo, incluso modifica e continua
- profilatore delle prestazioni
- flash file system
- 18 Pin I/O multifunzione completamente programmabili e interattivi, configurabili autonomamente:
 - ingresso digitale/uscita digitale
 - ingresso analogico/uscita analogica (PWM)
 - uscita in frequenza
 - uscita servo (PWM)
 - modalità master I2C
 - modalità principale SPI
 - ingresso/uscita UART
- 2 LED controllati dall'utente e 1 interruttore a pulsante
- Compatibile con breadboard senza saldatura
- Semplice interfaccia utente della pagina Web
- Impostazione personalizzata del nome host (per distinguere più Flea-Scope su USB e tramite l'interfaccia utente)
- Supporto per l'aggiornamento del firmware

COME È FATTO FLEA-SCOPE

In **Figura 1** viene riportata la scheda Flea-Scope ed una rappresentazione a blocchi delle connessioni tra i vari componenti.

Andiamo a descrivere gli elementi presenti.

1. Connettore USB: fornisce alimentazione a 5 V e connettività dati USB alla scheda Flea-Scope.
2. Regolatore da 3,3 V: regola da 5 V a 3,3 V per l'utilizzo con MCU e altri componenti.
3. Convertitore CC-CC: converte 5 V in -5 V per l'utilizzo con un amplificatore operazionale a doppia alimentazione.
4. Connettore BNC: l'ingresso ad alta impedenza accetta $\pm 8\text{ M}\Omega/\pm 8\text{ pF}$ e $1\text{ M}\Omega/2\text{ pF}$.

l'amplificatore operazionale, gli ADC, i comparatori, i DAC, ecc., oltre a StickOS BASIC.

9. Cristallo: fornisce una temporizzazione a 12 MHz per il MCU.
10. Circuito di ripristino passivo: ripristina l'MCU all'accensione o alla pressione di un pulsante.
11. Connettore ICSP: programma MCU al momento della realizzazione della scheda.

MCU PIC32MK

Flea-Scope, per raggiungere il suo scopo, utilizza un'enorme quantità di hardware automatizzato nel microcontrollore (MCU) PIC32 MK-GPK. I singoli convertitori analogico-digitali (ADC) nel MCU eseguono solo fino a 3,75 milioni di campioni al secondo (Msps), quindi Flea-Scope ne utilizza 5 interlacciati insieme per misurare il segnale di ingresso in modo sincronizzato nel tempo, ottenendo così 18 Msps.

Il notevole hardware presente in un MCU PIC32 include:

- un amplificatore operazionale a guadagno unitario per pilotare il segnale di ingresso analogico su un ingresso del comparatore analogico oltre ai cinque ingressi dei cinque convertitori analogico-digitali interlacciati (ciascuno dei quali ha un valore di carico resistivo e capacitivo significativo);
- un convertitore digitale-analogico di controllo (CDAC) per generare il livello di tensione di trigger analogico richiesto per l'azionamento dell'altro ingresso del comparatore analogico;
- un comparatore analogico (CM) utilizzato per rilevare quando il segnale di ingresso analogico è al di sopra o passa al di sopra o al di sotto del livello di tensione di trigger analogico;
- un filtro digitale sull'uscita del comparatore analogico utilizzato per prevenire falsi segnali di trigger da parte del rumore spurio in ingresso.

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

PERCHÉ ABBONARSI A PLATINUM 2.0?

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

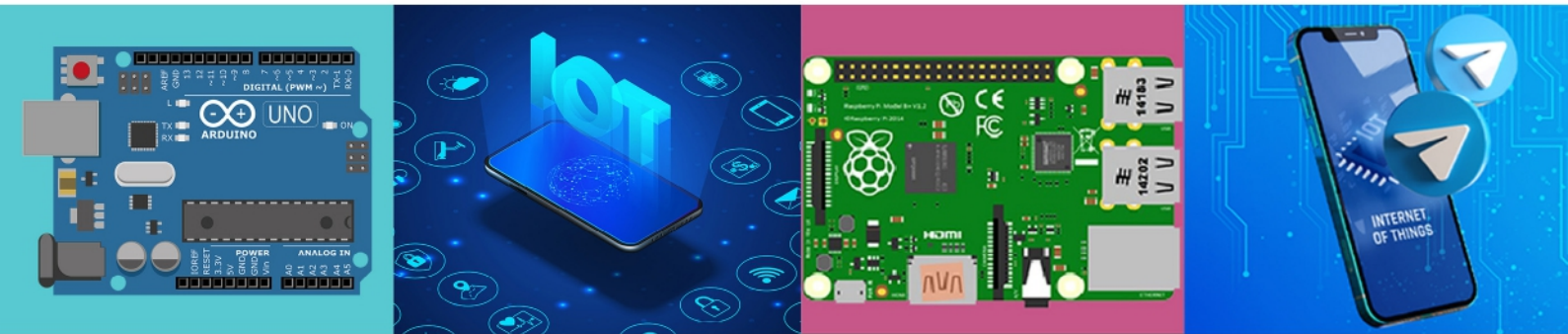


 **VOGLIO ABBONARMI!**



La piattaforma di Elettronica Open Source dedicata ai corsi

SEI UN **MAKER** O UN **HOBBISTA** DELL'**ELETTRONICA**?



CON I CORSI **MAKERS ACADEMY** PUOI
MIGLIORARE LE TUE COMPETENZE
ELETTRONICHE O ACQUISIRLE ANCHE
PARTENDO DA ZERO



SCOPRI I CORSI!



CORSO DI ELETTRONICA PER RAGAZZI – PUNTATA 23

di Fulvio De Santis

Nella **precedente puntata** del corso di elettronica abbiamo concluso la prima parte dell'argomento sugli Amplificatori Operazionali eseguendo alcune esercitazioni teoriche sull'amplificatore invertente e non invertente. Poi, abbiamo descritto sinteticamente gli amplificatori operazionali in cascata di cui è stata fatta un'esercitazione dove abbiamo visto come calcolare la tensione di uscita e l'amplificazione di tensione di un circuito con due stadi amplificatori operazionali in cascata. Più avanti, nel corso, riapriremo e approfondiremo l'argomento sugli amplificatori operazionali esplorando ulteriori caratteristiche e parametri di funzionamento di questi importanti dispositivi elettronici. Con questo articolo, introdurremo un altro importante dispositivo elettronico: il diodo a semiconduttore. Quindi, da qui inizieremo una nuova fase di studio dedicata ad importantissimi protagonisti dello scenario dell'elettronica dei semiconduttori: diodi, transistor, FET, MOSFET.

INTRODUZIONE - STRUTTURA ATOMICA DEL SILICIO

Per comprendere cos'è e come funziona un **diodo a semiconduttore** è necessario analizzarlo dal punto di vista del comportamento fisico. In questa trattazione, si assume che il materiale semiconduttore sia il silicio. Il silicio è il materiale semiconduttore più importante utilizzato per la fabbricazione di dispositivi elettronici. L'atomo di silicio ha 14 elettroni ed ha valenza 4, ovvero nell'ultima orbita dell'atomo ci sono quattro elettroni. Questi elettroni di un atomo di silicio sono utilizzati per legare altri quattro atomi di silicio vicini mediante legami covalenti, ovvero ogni atomo di silicio è associato ad altri quattro atomi di silicio mediante lo stretto legame di quattro coppie di elettroni. In questo modo, il silicio assume una struttura atomica cristallina tridimensionale a forma di tetraedro. Nella **Figura 1**, per semplificare l'analisi viene riportata la struttura cristallina del silicio in due dimensioni.

Nello schema di **Figura 1** l'atomo di silicio è rappresentato da un cerchio con all'interno il valore di carica del nucleo, mentre i quattro piccoli pallini neri rappresentano i quattro elettroni di valenza dell'atomo. Questa struttura atomica è considerata valida idealmente quando il silicio è ad una temperatura di $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (o 0° Kelvin), temperatura per la quale tutti i legami covalenti sono formati e fissati, quindi non ci sono elettroni liberi né lacune, e il semiconduttore si comporta come un isolante. Come accennato sopra, ogni atomo di silicio mette a disposizione i suoi quattro elettroni di valenza per legarsi con quattro atomi vicini formando coppie di elettroni che realizzano il legame covalente. Nella condizione di

atomo neutro, il numero di elettroni (numero atomico) è uguale al numero dei protoni del nucleo dell'atomo; nell'atomo di silicio il numero di elettroni è 14 a cui corrispondono 14 protoni, quindi nello stato neutro l'atomo ha carica pari a 0. E' da ricordare che un atomo che ha una carica diversa da 0 è uno ione, che può essere positivo se il numero di protoni è maggiore del numero di elettroni, mentre è negativo se avviene il contrario. Il numero positivo +4 rappresenta la carica positiva costituita dai protoni, neutralizzata dalla corrispondente carica negativa dei 4 elettroni di valenza, come è indicato nei simboli degli atomi del reticolo cristallino di silicio mostrato in **Figura 1**.

IL RUOLO DELLE LACUNE NELLA CONDUTTIVITÀ DEL SEMICONDUTTORE

Un altro importante aspetto da approfondire è il ruolo delle lacune nella conduttività del semiconduttore, ossia cosa s'intende esattamente per "corrente di lacune". Quando la temperatura a cui è sottoposto il cristallo di silicio inizia a crescere, per esempio a temperatura ambiente, i legami covalenti possono spezzarsi perché l'elettrone riceve energia termica sufficiente per farlo distaccare dal legame covalente. Quindi, l'elettrone è libero di muoversi nel cristallo lasciando al suo posto una posizione vuota: la lacuna. La lacuna, a sua volta, può essere occupata da un altro elettrone liberatosi dal legame covalente di un atomo vicino che, a sua volta, crea una lacuna al posto che era occupato dall'elettrone. Quindi, durante il percorso degli elettroni in una certa direzione, si avrà uno spostamento di lacune nella direzione opposta a quella degli elettroni. Nella **Figura 2** è schematizzato il concetto sopra esposto.

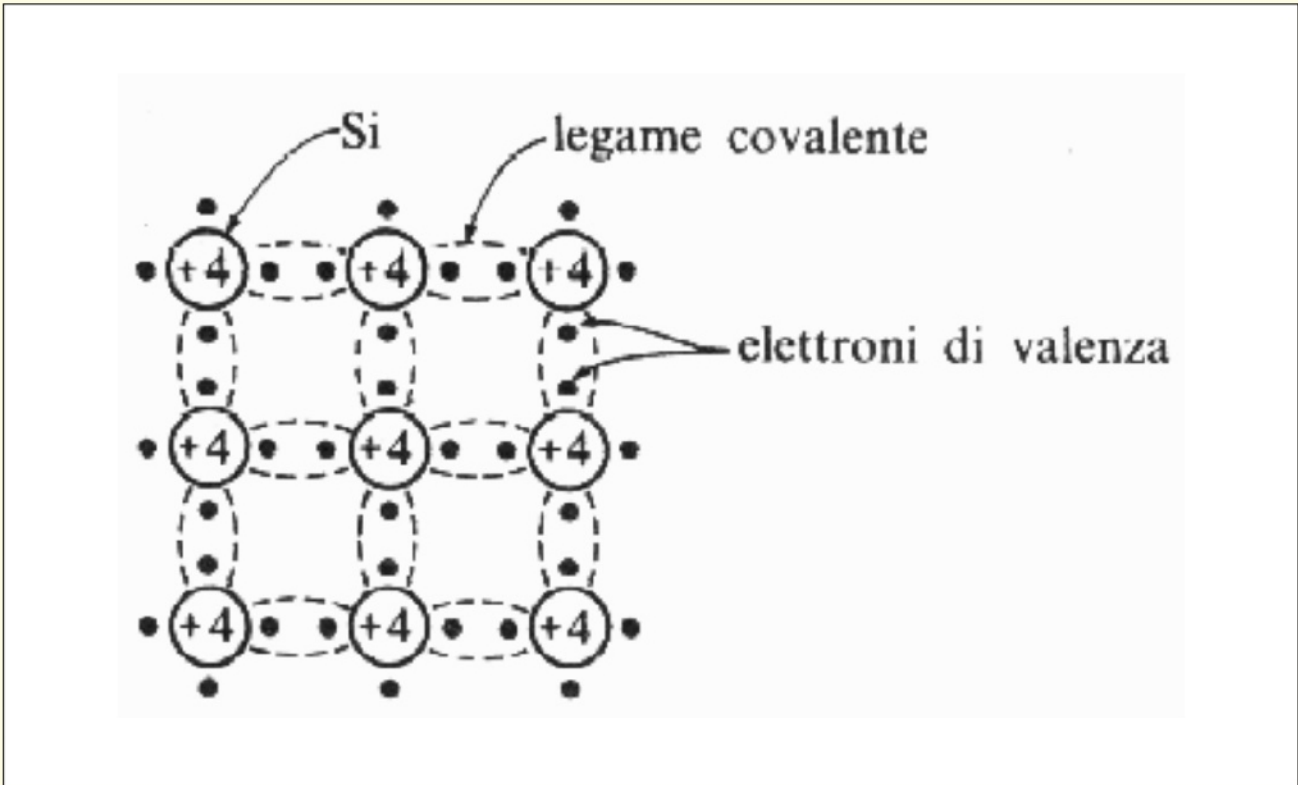
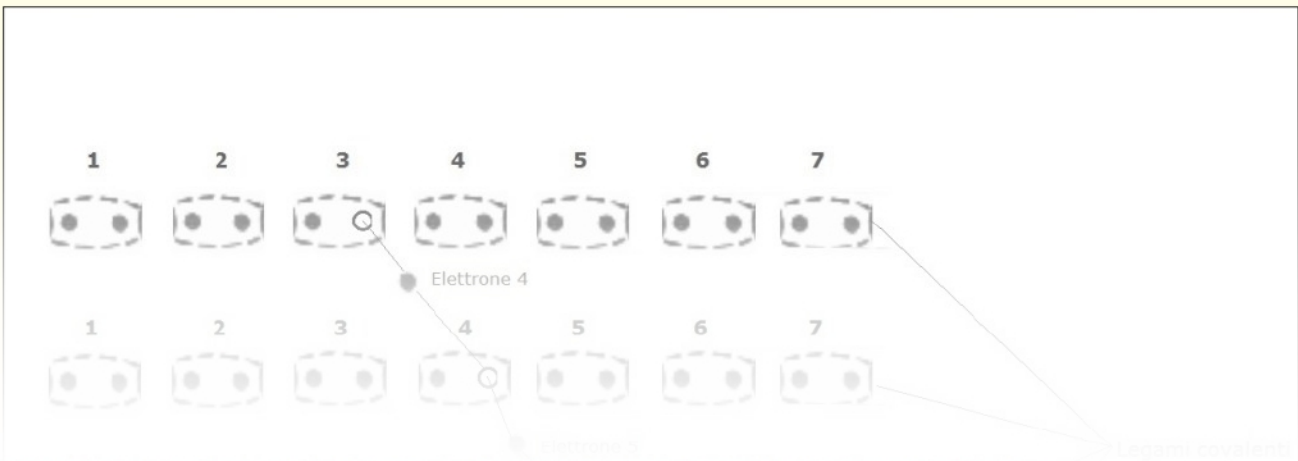


Figura 1: Struttura atomica bidimensionale del cristallo di silicio



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!!

+ 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 %

