











# WIRELESS/RF

IN QUESTO NUMERO:

- UTILIZZO DI ANTENNE ARRAY NELLA RETE 5G
  - I MISSILI GUIDATI
  - IL RADAR NELLE APPLICAZIONI METEOROLOGICHE
  - GUIDA ALLE MODULAZIONI
  - OPAMP E SEGNALI VIDEO
- E MOLTO ALTRO!

## FOCUS DEL MESE

QUESTO MESE:

<b>IOT</b>	<b>IOT</b>	GEN/FEB	 1 Febbraio
<b>CAR HACKING - OBD</b>	<b>AUTOMOTIVE</b>	MARZO	 1 Marzo
<b>BLOCKCHAIN</b>	<b>AI</b>	APRILE	 1 Aprile
<b>AUDIO/VIDEO</b>	<b>WIRELESS/RF</b>	MAGGIO	 1 Maggio
<b>MAKERS SENSOR BOARDS</b>	<b>SENSORS</b>	GIUGNO	 1 Giugno
<b>ROBOTICS</b>	<b>POWER/MOTOR</b>	LUGLIO	 1 Luglio
<b>SMART PROJECTS</b>	<b>INDUSTRY 4.0</b>	AGO/SET	 1 Settembre
<b>MAKERS LABORATORY</b>	<b>TEST &amp; MEASUREMENTS</b>	OTTOBRE	 1 Ottobre
<b>WEARABLE</b>	<b>LED LIGHTING OPTOELECTRONICS</b>	NOVEMBRE	 1 Novembre
<b>MAKERS BOARDS</b>	<b>EMBEDDED DESIGN</b>	DICEMBRE	 1 Dicembre
<b>MAKERS ZONE</b>			

## COSA LEGGERAI NEL 2020?

# WIRELESS/RF



## Founder&Editor

Emanuele Bonanni

## CFO

Lidia Balica

## Editorial Assistant

Maria Pisani

## Maker in Chief

Giordana Francesca Brescia

## Marketing

Sara Ercolani

## Advertising

Cristian Balica  
cristian@contangosl.com

## Graphic Designer

Marilde Mirra

## Circulation

Users - 133.245

Social Network - 123.157

## © 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.

Autorizzazione alla pubblicazione del Tribunale MI n. 20 del 16/01/2006

## EDITORIALE

VERSO UN FUTURO  
SEMPRE PIU' SMART

3

UTILIZZO DI ANTENNE  
ARRAY NELLA RETE 5G

4

LINEE GUIDA PER LA  
PROGETTAZIONE DI  
UN'ANTENNA PER  
TAG NFC

11

CONSIDERAZIONI  
DI DESIGN PER  
UN'ANTENNA NFC

19

PCB ART - GUIDA  
DEFINITIVA ALLA  
SCELTA DELL'ANTENNA

27

MICROCONTROLLORI  
LOW POWER: COME  
SCEGLIERE

35

LE FPGA IN VIRGOLA  
MOBILE NELLE  
APPLICAZIONI RADAR

40

IL RADAR NELLE  
APPLICAZIONI  
METEOROLOGICHE

49

L'APPLICAZIONE DELLE  
FIBRE OTTICHE NEI  
SISTEMI DI CONTROLLO  
DEGLI AEREI

53

I MISSILI GUIDATI

58

LE COMUNICAZIONI  
RADIO DI NUOVA  
GENERAZIONE:  
IL SOFTWARE DEFINED  
RADIO

62

DIGITAL SIGNAL  
PROCESSOR:  
LA TECNOLOGIA  
DIGITALE APPLICATA  
ALL'ANALISI DEI SEGNALI

67

OPAMP E SEGNALI  
VIDEO: ECCO COME  
SCEGLIERE IL GIUSTO  
OPERAZIONALE

77

OPAMP E SEGNALI  
VIDEO: PROGETTO E  
DIMENSIONAMENTO

85

INTRODUZIONE ALLO  
STANDARD VIDEO  
HEVC/H.265

94

GUIDA ALLE  
MODULAZIONI:  
LE MODULAZIONI  
ANALOGICHE

101

GUIDA ALLE  
MODULAZIONI PARTE  
II: LE MODULAZIONI  
NUMERICHE

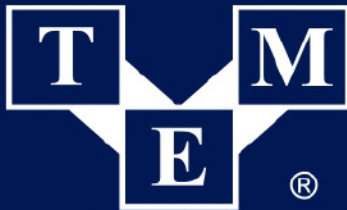
110

GUIDA ALLE  
MODULAZIONI PARTE  
III: LE MODULAZIONI  
IMPULSIVE

118

ALLA SCOPERTA DEI  
MODULI XBEE3

127



Electronic Components

tme.eu

BOSSARD



DROMET FASTENER SYSTEMS

OBO BETTERMANN



FIX & FASTEN



MITSUBISHI CHEMICAL ADVANCED MATERIALS

TOPMET



antalis Just ask Antalis

igus

HellermannTyton



RST ROZTOCZE

3M Science. Applied to Life.



SCOPRI L'AMPIA OFFERTA DI ELEMENTI MECCANICI!

ASSENZA DI PRODOTTO IN MAGAZZINO? SCOPRI L'OFFERTA DELLA TME!



- + Bulloni + Viti di raccordo + Viti + Dadi + Rivetti + Inserti filettati + Rondelle +
- + Manopole e pomelli + Equipaggiamento per funi + Elementi di sicurezza +
- + Rivetti in plastica per auto + Distanziali in metallo + Distanziali in plastica +
- + Guide e agganci per PCB + Volantini ed indicatori + Equipaggiamento idraulico +
- + Leve + Cerniere + Serrature e dispositivi di fissaggio + Tappi e clip + Piedini e rotelle + Profili e agganci +
- + Ammortizzatori + Cuscinetti + Profili per diodi LED + Maniglie + Trasmissione del moto + Magneti +
- + Giunti + Sistemi avanzamento e conduzione lineare + Guarnizioni tecniche + Isolatori di supporto +
- + Materiali ingegneristici + Morsetti e tenditori + Fascette di fissaggio e collari + Paraspigoli +



Electronic Components

TME Italia S.r.l.

Via Zanica 19K, 24050 Grassobbio (BG)

tel. +39 035 03 93 111

fax +39 035 03 93 112

tme@tme-italia.it

- facebook.com/TME.eu
- youtube.com/TMElectronicComponent
- linkedin.com/company/1350565
- instagram.com/tme.eu
- twitter.com/tme\_eu

www.tme.eu

## VERSO UN FUTURO SEMPRE PIÙ SMART

**L**e tecnologie di comunicazione wireless sono potenti mezzi di trasmissione di dati ed informazioni tra differenti device. Molte tecnologie di comunicazione, nonché componenti elettronici che le supportano, sono oggi diffuse in modo capillare, estendendosi anche all'elettronica di consumo. **Nell'era del connected world in cui tutto è più smart, gli oggetti e persino il modo in cui svolgiamo le nostre attività, il sistema di comunicazione wireless è diventato essenziale per consentire all'utente di comunicare da remoto in numerosi ambiti, automazione industriale, automotive, domotica, medicale, smart car ed agricoltura industriale.**

Nel tempo le comunicazioni wireless hanno acquisito una importanza strategica, tuttora la ricerca nel settore delle telecomunicazioni è più che mai attiva, mentre i progettisti elettronici devono far fronte a requisiti sempre più stringenti, al fine di **ottimizzare le tecniche di acquisizione ed elaborazione dei segnali**. L'infrastruttura di rete mobile 5G ha tutti i requisiti per poter diventare la rete wireless del futuro, infatti, grazie alle sue specifiche, trova potenziali applicazioni in differenti settori e fette di mercato. Il nuovo standard di quinta generazione gestisce una maggiore larghezza di banda, livelli elevati di data rate ed è caratterizzato da una maggiore affidabilità e minori tempi di latenza, ma la vera rivoluzione del 5G va ben oltre il data speed, la sua potenzialità risiede nel numero di dispositivi interconnessi che potranno agganciarsi alla rete.

La rete wireless di quinta generazione 5G è, quindi, pronta per il lancio sul mercato? Sembrerebbe di sì. Il 5G si configura come soluzione ideale anche per l'Industrial Internet of Things e l'Industry 4.0, fornendo di fatto una soluzione altamente scalabile ed in grado di soddisfare con efficienza l'ampia gamma di dispositivi ed i relativi requisiti di servizio. La tecnologia wireless ha raggiunto anche le comunicazioni in ambito automotive, conseguenza della richiesta sempre maggiore di servizi da equipaggiare sugli autoveicoli, sistemi di navigazione satellitare GPS, telefonia satellitare e cellulare, informazioni sul traffico, controllo remoto e broadcasting audio e TV. Le sfide progettuali sono orientate all'ottimizzazione del numero e della tipologia di antenne che dovranno rispondere alle specifiche tecniche funzionali in termini di frequenza operativa dal momento che i servizi wireless implementati a bordo richiedono bande diverse di frequenze.

Le antenne multibanda e multifunzionali operano per diversi servizi in differenti range di frequenza operativa, con una **migliore trasmissione ed elaborazione del segnale**. Il corretto design di un'antenna deve rispondere anche a severi requisiti prestazionali e dimensionali, con peso ridotto e design estremamente compatto, soprattutto per antenne progettate da integrare su un PCB. Applicazioni per smart car, come Vehicle to Vehicle, Vehicle to Network e Vehicle to Infrastructure, inaugureranno l'era delle auto connesse in un contesto di smart city, introducendo una nuova idea di comunicazione interveicolare in grado di gestire dati inerenti la rilevazione del traffico ed il controllo della mobilità, sfruttando le potenzialità di reti di sensori connessi al network. **Le comunicazioni wireless porteranno molte attività e scenari a livelli superiori, semplificandoli e rendendoli più smart ed efficienti, il fattore chiave sarà la ricerca di soluzioni customizzate che soddisfino precisi requisiti funzionali, economici ed estetici.**



# UTILIZZO DI ANTENNE ARRAY NELLA RETE 5G

di Stefano Lovati

La rete mobile di quinta generazione (5G) promette di rivoluzionare l'intero settore delle comunicazioni wireless, con importanti innovazioni in grado di guidare l'espansione economica attraverso nuovi prodotti e servizi in settori quali elettronica di consumo, IoT, automotive, entertainment e sanità. Una delle tecnologie richieste per l'implementazione della rete 5G è rappresentata dalle antenne array, fondamentali per ottenere le prestazioni e la capacità richieste dalla nuova infrastruttura di rete.

## INTRODUZIONE

L'infrastruttura di rete di quinta generazione, indicata anche come **5G NR** (acronimo di **New Radio**), rappresenta un approccio totalmente nuovo al sistema di comunicazione mobile. La tecnologia 5G, nel corso dei suoi diversi rilasci previsti dalle roadmap stabilite dagli operatori, sarà in grado di supportare differenti tipi di forme d'onda (tra cui le **onde millimetriche**, o mmWave), diverse modalità e schemi di accesso alla rete e la condivisione di più servizi grazie alla disponibilità di una

**maggiore ampiezza di banda**. I servizi attualmente già installati continueranno ad essere supportati, garantendo la compatibilità in avanti con i requisiti di rete futuri. Rispetto alle tecnologie mobili delle generazioni precedenti, la rete 5G richiederà una **catena di elaborazione del segnale molto più complessa e la capacità di gestire velocità di trasferimento dati superiori**.

## LE NUOVE FUNZIONALITÀ

È importante sottolineare come la rete 5G non si limiti ad

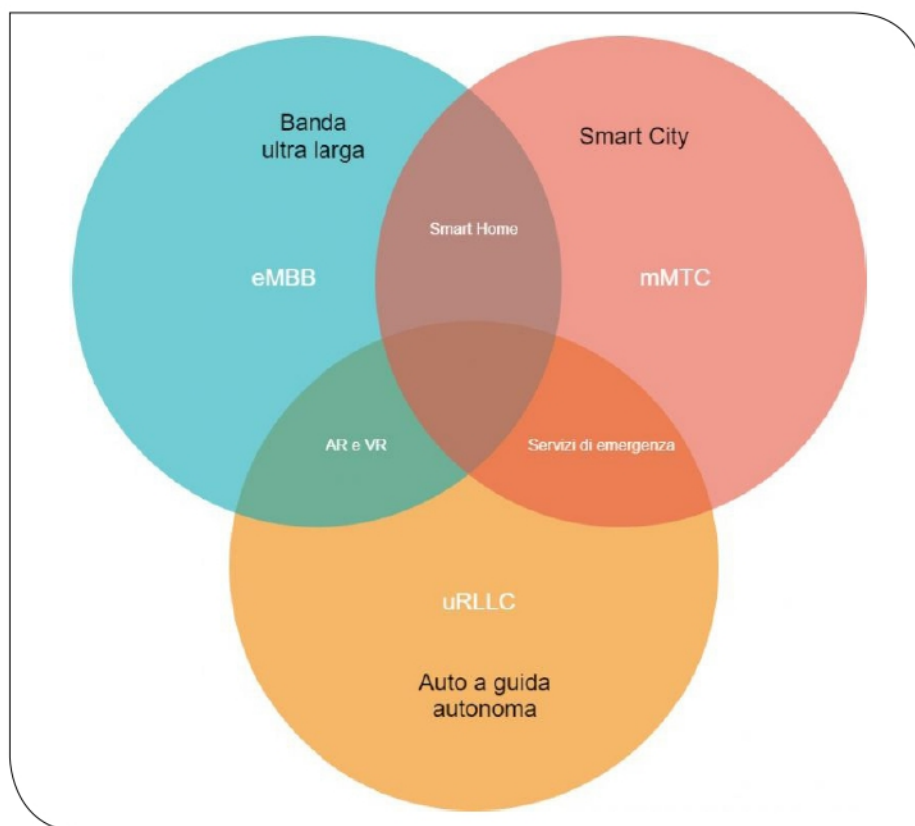


Figura 1: i tre principali use case della tecnologia 5G

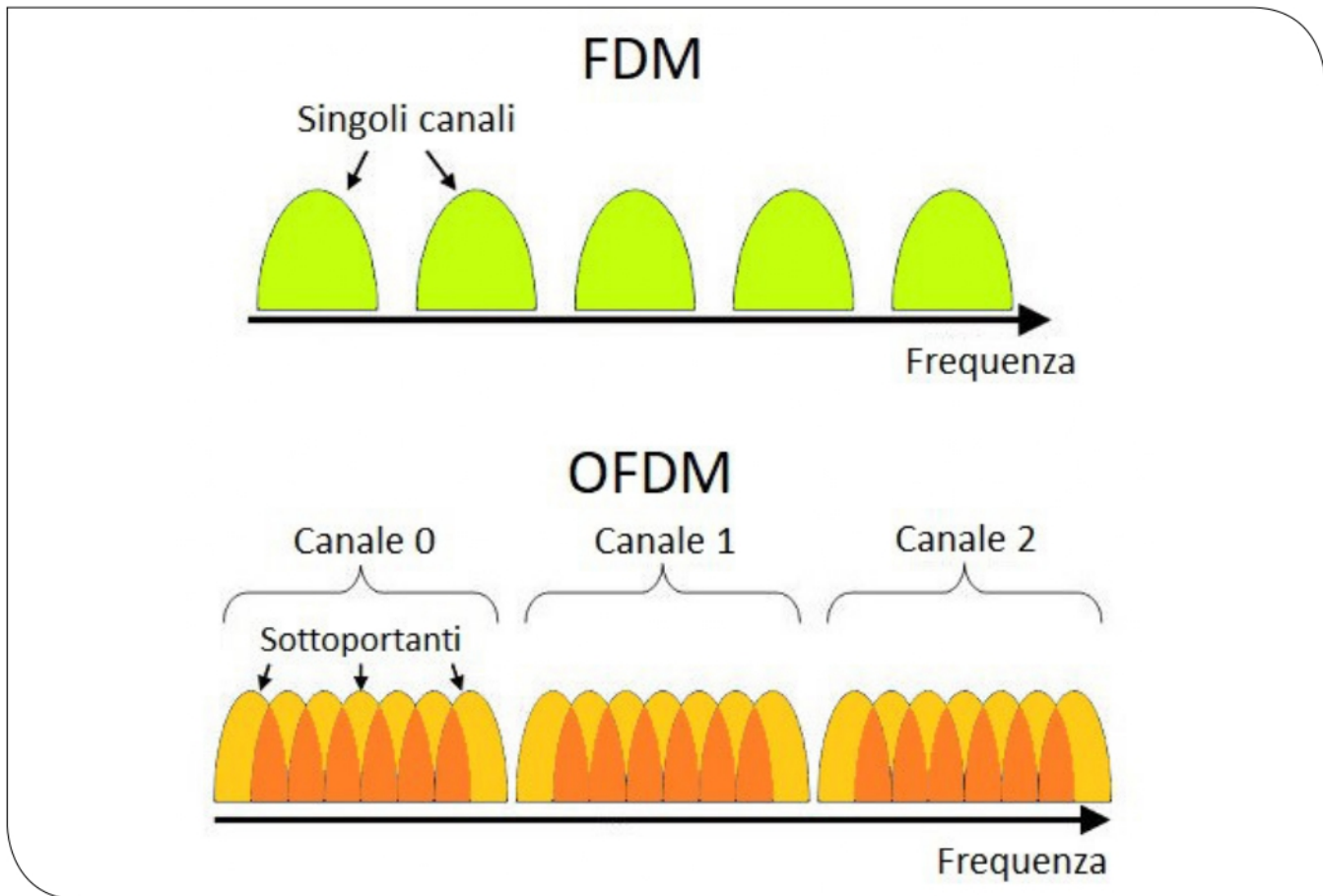


Figura 2: confronto tra le tecniche FDM e OFDM

incrementare le prestazioni, in termini di velocità di upload e download, delle precedenti tecnologie di comunicazione mobile, o sia semplicemente un aggiornamento di standard e protocolli già esistenti. **Il 5G rappresenta infatti una tecnologia radicalmente innovativa** che abbraccia una varietà di soluzioni di complessità elevata. Oltre alle applicazioni tipiche della telefonia mobile, la tecnologia 5G è nata per supportare servizi ed applicazioni di livello superiore, come veicoli a *guida autonoma*, *comunicazione tra veicoli (V2V e V2X)*, *realtà virtuale (VR)* e *realtà aumentata (AR)*, *streaming video ad alta definizione* ed *applicazioni massive di IoT*. Le **nuove funzionalità previste dalla rete 5G** possono essere così sintetizzate:

- **eMBB (enhanced Mobile BroadBand)**: la maggiore ampiezza di banda a disposizione della rete mobile consentirà un utilizzo fluido e performante di applicazioni quali *realtà aumentata*, *streaming video* e *video conferenza*;
- **mMTC (massive Machine Type Communication)**: con questo termine si intende la capacità di gestire una connettività massiva (migliaia o mi-

lioni di dispositivi connessi) senza sovraccaricare la rete. Ciò permetterà una gestione efficiente di applicazioni IoT complesse, comprendenti sensori ad elevata integrazione, come *smart home*, *smart city*, *smart grid* ed altro ancora;

- **URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communication)**: questo servizio avrà il compito di supportare tutte le applicazioni che richiedono un comportamento in tempo reale e latenza estremamente ridotta, come *factory automation*, *sistemi di controllo industriale*, *auto a guida autonoma*, *smart grid* e *chirurgia robotica*.

Nel diagramma di **Figura 1** possiamo osservare i **tre principali use case del 5G** appena descritti, con le rispettive aree comuni di intersezione.

Per soddisfare questi ambiziosi requisiti **occorre disporre di un'elevata ampiezza di banda**. Di conseguenza, alla rete 5G sono state assegnate nuove bande radio, sia nella gamma di **frequenze fino a 6 GHz**, sia nella gamma **superiore a 24 GHz (onde millimetriche)**. Le implicazioni

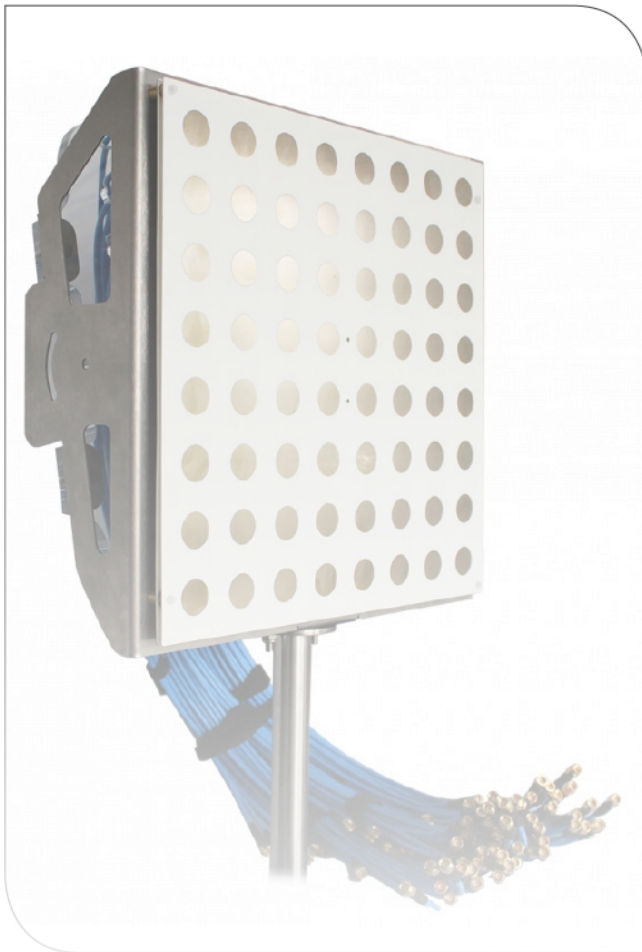


Figura 3: esempio di antenna MIMO per la banda 5-6 GHz

a livello progettuale non sono trascurabili: alcuni dispositivi dovranno ad esempio poter operare su più bande, mentre la compatibilità con l'infrastruttura

di un'infrastruttura scalabile in grado di operare nella banda di frequenze comprese tra 450 MHz e 6 GHz e nella banda di frequenze comprese tra 24.25 GHz e 52.66 GHz. Questo requisito è soddisfatto utilizzando la tecnica di trasmissione **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**, basata sull'impiego di più sottoportanti, a ciascuna delle quali è applicata una modulazione di tipo convenzionale. Il vantaggio principale della tecnica OFDM è quello di **permettere la comunicazione anche in condizioni pessime del canale** (condizioni atmosferiche particolarmente avverse oppure in presenza di elevata attenuazione del segnale). Le frequenze elevate utilizzano canali di trasmissione con ampiezza di banda e spazio per le sottoportanti maggiore. Viceversa, le basse frequenze dello spettro assegnato al 5G utilizzano canali di trasmissione con ampiezza di banda e spazio per le sottoportanti inferiore. Adattando lo spazio delle sottoportanti all'ampiezza di canale disponibile, la rete 5G può operare su un'ampia gamma di frequenze. Ciò consente, inoltre, di installare l'infrastruttura 5G sulla rete 4G-LTE esistente. In **Figura 2** possiamo osservare un confronto visivo tra le tecniche di trasmissione FDM e OFDM: si noti come quest'ultima comporti un utilizzo più efficiente della banda disponibile.


**Un range di frequenze così elevato non può non avere effetti sul tipo di antenna utilizzato.** Un segnale alla frequenza di 1 GHz, ad esempio, ha una lunghezza d'onda di circa 30 cm. Un segnale a 28 GHz, viceversa, ha una lunghezza d'onda di soli 1.07 cm. La stessa antenna non può quindi funzionare su entrambe le frequenze: occorreranno almeno due antenne differenti. Il problema di

## 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!**

# PCB ART – GUIDA DEFINITIVA ALLA SCELTA DELL'ANTENNA

di **Pietro Boccadoro**

*Come tutte le sfide progettuali, la progettazione di schede integrate è veramente molto ambiziosa. Richiede grande controllo di tutte le variabili in gioco ed un coordinamento molto fine per il raggiungimento degli obiettivi progettuali. Prototipare una scheda elettronica, ma anche un componente apparentemente semplice come un'antenna stampata, richiede metodo e grandi conoscenze. In questo articolo concludiamo la serie PCB ART con delle indicazioni sulle tipologie di antenne stampate che possono abilitare il funzionamento del nostro dispositivo di telecomunicazioni, sfruttando le bande più diffuse ed utilizzate da una grande moltitudine di apparecchi, dal GSM fino al 4G, passando per Wi-Fi e Bluetooth. Una volta che avrete guadagnato padronanza con le tipologie di antenne, sarete in grado di progettare un dispositivo di telecomunicazioni qualsiasi, dal più piccolo ed integrato sensore per l'Internet of Things fino alle comunicazioni cellulari. Siete pronti?*

**P**er tutti i progettisti, elettronici e non, quando viene richiesto il prototipo di un determinato sistema, tantissime sono le variabili in gioco. Vengono elencate le **specifiche tecniche**, le **caratteristiche funzionali**, le **dimensioni**, il **peso**, il **costo** e tante altre ancora. Come dicevamo in apertura, questo è il terzo capitolo di una serie in cui affrontiamo nel dettaglio queste sfide, suggerendo la strada giusta per raggiungere appieno gli obiettivi

delle commesse, ove possibile. Alcuni esempi dei temi che abbiamo affrontato sono stati, nel recente passato, il problema delle **interferenze di natura elettromagnetica**, troppo spesso sottovalutato perché non immediatamente visibile.

È noto, però, che posizionare un dispositivo elettronico che lavora in DC (ovvero in corrente continua) nelle immediate vicinanze di un macchinario ad alta potenza, o in media tensione, è un errore proprio per via delle possibilità di interferenze radiate che, purtroppo, non tardano a manifestarsi. Per porre rimedio ad alcune di queste problematiche, abbiamo dedicato attenzione anche alle tecniche di **isolamento**, come ad esempio la messa a massa. Guardando più nel dettaglio del singolo circuito integrato, invece, ci siamo occupati di analizzare come vengono dimensionati e distribuiti in un circuito integrato i piani di massa, anche per evitare **percorsi conduttivi** parassiti. Oggi focalizziamo la nostra attenzione specificatamente sui **circuiti a radiofrequenza che abilitano le comunicazioni**.

Sappiamo bene che il principio basilare di un'antenna prevede l'utilizzo di un semplice filo percorso da corrente per poter irradiare e, in definitiva, trasmettere. Ciò, però, non può avvenire in maniera casuale ed è necessaria una precisa progettazione dell'antenna. In tal senso, abbiamo visto degli esempi, come il **caso del Bluetooth**, che abbia-

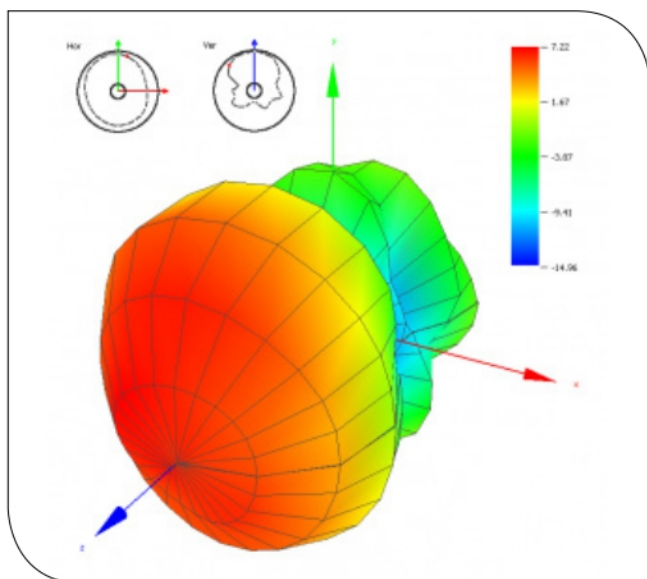


Figura 1. Pattern di radiazione in 3D

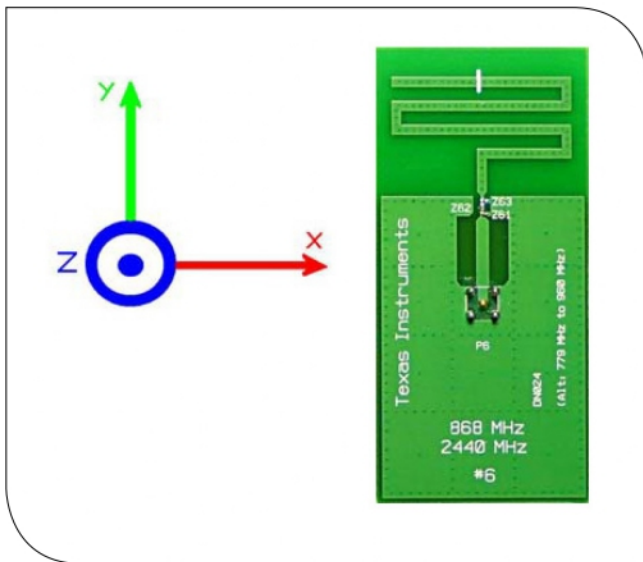


Figura 2. Sistema di coordinate di riferimento per un'antenna stampata

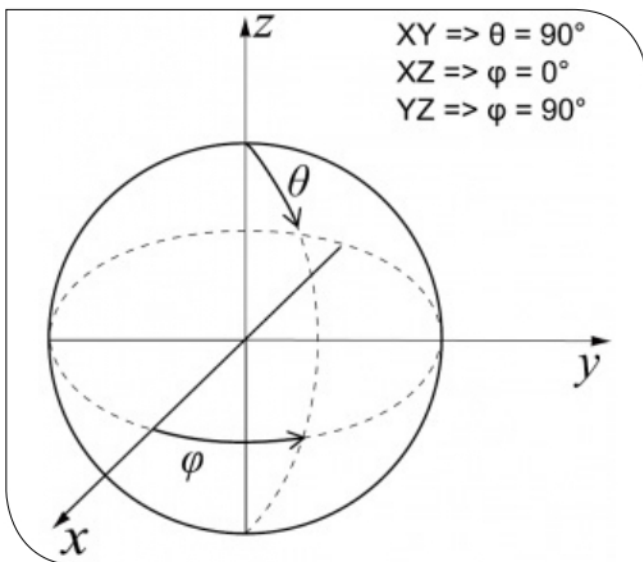


Figura 3. Coordinate polari

mo indicato come emblematico per dimostrare la corretta progettazione, ovvero specificando tutto dell'antenna, dalle dimensioni fisiche coinvolte fino alla tipologia.

Per poter essere subito operativi, il caso del **Bluetooth è stato analizzato nel dettaglio unendo l'approccio teorico a quello pratico**, definendo nello specifico **criteri di progetto** quali:

- larghezza di banda
- frequenze di funzionamento
- sensibilità
- direttività
- raggio di copertura

- guadagno
- polarizzazione

Concordemente, a progetto finito, è importante sempre valutare la possibilità che si verifichino fenomeni indesiderati come il problema dell'**electrical over stress**.

Qualora si verifichi, è importante saperlo riconoscere ed adottare un approccio proattivo per la sua prevenzione. PCB ART, fino a questa puntata, ha spiegato come l'utilizzo dei circuiti stampati abbia consentito l'eliminazione di alcuni componenti integrati a montaggio superficiale, tra i quali, ovviamente, il più semplice è il resistore. Sfruttando la fisica materiale, abbiamo potuto dimostrare come e perché un resistore può diventare un componente stampato e non più un componente fisico integrato all'interno della scheda.

L'utilizzo delle **piste conduttive** in luogo dei componenti discreti ha consentito anche di migliorare le funzionalità degli stessi, fino a garantire la possibilità di utilizzare i resistori facendoli diventare delle vere e proprie **antenne Wi-Fi**, delle quali abbiamo potuto vedere insieme geometrie e soluzioni.

In maniera non dissimile, abbiamo analizzato con dovizia di particolari il caso dell'**RFID**, oggi diventato protagonista assoluto dei più moderni sistemi di comunicazione veicolare ma anche ampiamente utilizzato nella logistica, nell'ammodernamento degli impianti e dei processi produttivi industriali. Sia esso attivo o passivo, il tag RFID è diventato a pieno titolo uno degli elementi abilitanti e dei protagonisti principali della quarta rivoluzione industriale in ambito Internet of Things.

Per tutti coloro che, invece di progettare per le comunicazioni a corto raggio oppure basate su identificativo unico, stanno pensando alla comunicazione di massa ed alle reti cellulari, l'analisi del caso emblematico delle **antenne per il GSM sarà sicuramente di guida e di ispirazione**. Tutt'altra casistica si applica a tutti i progetti ed alle applicazioni ad **alta frequenza**, per i quali le specifiche sono sicuramente più stringenti da molti punti di vista. I criteri, invece, fortunatamente non subiscono alcuna variazione.

Vale la pena di specificare che la progettazione di un'antenna restituisce un oggetto in grado di funzionare con delle caratteristiche ben determinate.

Ciò non vuol dire che l'applicabilità della soluzione progettata sia inerente ad un solo caso specifico. Infatti, **un'antenna che operi intorno a 2.4 GHz sicuramente potrà essere largamente impiegata nelle comunicazioni via Bluetooth ma potrebbe esserlo anche nel Wi-Fi**. Ovviamente, questi sono nomi commerciali che fanno riferimen-

to ad altrettanti protocolli di comunicazione: è importante, dunque, comprendere che l'applicabilità della progettazione può dipendere dal resto del circuito integrato oppure dalla sua programmazione.

Talvolta è possibile che le frequenze di riferimento siano selezionabili oppure che il dispositivo operi soltanto in alcune bande messe a disposizione dalla soluzione protocolle in uso. Questa versatilità è sicuramente uno degli aspetti salienti e più importanti ed interessanti proposti dalla corretta progettazione dei componenti, oltre che della fisica di dispositivi.

In questo terzo capitolo della serie PCB ART, analizziamo nel dettaglio un kit presentato da **Texas Instruments** all'interno del quale sono presenti tutta una serie di prototipi e di **Reference Design** per la progettazione di antenne in base alla *frequenza di funzionamento prescelta*. I casi sono tantissimi e si va da 868 fino a 2.4 GHz.

Stiamo, dunque, parlando di antenne che possono funzionare sia nel caso di circuiti a corto raggio sia nel caso di reti cellulari, GSM- GPRS. La differenziazione consente di comprendere come geometrie diverse siano progettate in maniera tale da funzionare in maniera differenziata, si possono adattare a casi diversi.

I principali parametri di scelta di un'antenna sono:

- *Radiation pattern*

- *Polarizzazione*
- *Ground effect*
- *Direzionalità*
- *Dimensione*
- *Costo*
- *Performance*

Nella selezione della tipologia di antenna corretta, ovvero di quella che meglio si adatta alla specifica applicazione, la verifica dei valori assunti di parametri caratteristici è fondamentale. **Un parametro che guida la scelta del progettista è sicuramente il cosiddetto "Radiation pattern"**, ovvero, la *distribuzione di campo elettromagnetico connessa alla propagazione del segnale* e, quindi, alla sua direzionalità.

L'analisi di questo parametro, a mezzo di rappresentazioni grafiche funzionali, consente di comprendere se sia opportuno inclinare l'antenna utilizzando una certa elevazione piuttosto che un certo angolo azimutale.

Se l'antenna dimostra una sua direzionalità, sarà importante orientarla in maniera opportuna. Se si tratta, invece, di una soluzione omnidirezionale, che quindi prevede una propagazione delle onde elettromagnetiche in maniera isotropa, la sua orientazione potrà essere qualsiasi. Naturalmente, c'è da considerare che **la propagazione non**

Range di frequenze [MHz]

Bandwidth  
[kHz]Portante  
[MHz]

Tipo di utenze

**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!**



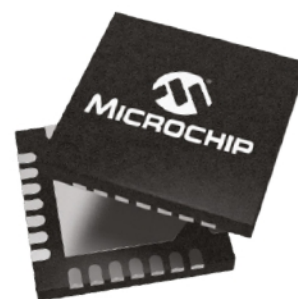
## Più velocità di progettazione con il nostro completo ecosistema

Abbiamo ciò di cui hai bisogno, quando ne hai bisogno

Cerchi il percorso più veloce, più semplice e a basso rischio, dal prototipo alla produzione? Microchip ti offre un completo supporto alla progettazione per ogni stadio di avanzamento del tuo progetto, grazie ad un completo ecosistema di sviluppo.

- Realizza rapidamente prototipi con un intuitivo ambiente di progettazione e debug
- Avvia rapidamente il tuo progetto con schemi di riferimento e hardware application-specific
- Riduci i rischi con strumenti collaudati e software testato professionalmente

Qualunque siano le tue esigenze, ti offriamo un completo supporto alla progettazione, qualunque sia lo stadio della progettazione.



**Avvia subito il tuo sviluppo su**  
[www.microchip.com/Ecosystem](http://www.microchip.com/Ecosystem)

# IL RADAR NELLE APPLICAZIONI METEOROLOGICHE

di Fulvio De Santis

*La temperatura e le precipitazioni meteorologiche svolgono un ruolo importante nelle attività umane. Possono però avere un impatto negativo sulle infrastrutture di trasporto e distruggere case ed altre strutture. Le previsioni meteorologiche accurate possono contribuire a salvare vite e proprietà. I satelliti forniscono dati relativi alle osservazioni del vapore acqueo, del vento e del movimento delle nuvole, dati che vengono utilizzati per tracciare il movimento dei fenomeni meteorologici nell'atmosfera e migliorare le previsioni. La visione globale dei satelliti può essere utilizzata, ad esempio, per fornire informazioni dettagliate su come variano le velocità del vento all'interno di uragani di diverse dimensioni. L'importanza ed il ruolo dei satelliti si fonda sulla possibilità di fornire al meteorologo un quadro globale attuale e previsionale degli eventi atmosferici terrestri, ma la necessità di avere maggiori dettagli su scala ridotta rende fondamentale l'impiego del radar meteorologico quale complemento tecnologico insostituibile nelle applicazioni di rilevamento.*

## INTRODUZIONE

**I radar meteorologico è uno strumento importante dell'arsenale degli strumenti tecnologici di previsione per la comprensione dello stato attuale dell'atmosfera e di ciò che potrebbe accadere nel futuro prossimo.** La tecnologia radar è stata utilizzata già dalla seconda guerra mondiale per tracciare il movimento di aerei e navi nemiche scoprendo, durante questa attività di sorveglianza, che il radar era in grado anche di rilevare le precipitazioni atmosferiche che infatti apparivano sugli schermi radar come elemento interferente. Entro la fine della guerra, la tecnologia dei radar si era evoluta considerevolmente e gli scienziati iniziarono ad utilizzare i radar per monitorare le caratteristiche dell'atmosfera. Oggi i radar meteorologici sono uno degli strumenti principali del meteorologo. Senza entrare nella descrizione teorica, di seguito si riporta una sintetica descrizione di base del funzionamento del radar.

In generale, un radar funziona emettendo nell'atmosfera impulsi di **energia elettromagnetica** alle frequenze delle microonde. Quando questi impulsi incontrano oggetti (target), parte dell'energia elettromagnetica torna indietro verso il radar. Questo segnale di ritorno (echo) è spesso definito come "riflesso", da cui il termine "riflettività". La riflettività è una misura dell'efficienza del radar di inter-

ettare un bersaglio e quindi l'energia riflessa e acquisita dal radar. La riflettività dipende dai parametri fisici del target: dimensioni, forma, orientamento, composizione, etc. I dati dell'energia ricevuta dal radar vengono analizzati dai computer per determinare la posizione e l'intensità delle precipitazioni e informazioni sulla velocità e direzione del vento. Le informazioni acquisite ed elaborate vengono tracciate e riportate in immagini sullo schermo del radar. Al fine di utilizzare al meglio i radar meteorologici, è importante capire i relativi fondamentali principi operativi costituenti le applicazioni di rilevamento. Le informazioni acquisite permetteranno ad un meteorologo di prevedere l'andamento delle precipitazioni a breve termine, il vento ed eventuali imminenti condizioni climatiche critiche. Inoltre, i meteorologi saranno in grado di riconoscere i falsi echi radar (falsi bersagli) ed altri problemi interferenti le immagini radar.

## LA STIMA DELLE PRECIPITAZIONI

Nell'introduzione è stata citata la riflettività, tecnicamente definita **fattore di riflettività (Z)**. Il fattore di riflettività è correlato alla **dimensione delle particelle di precipitazione identificate nell'echo del radar**. Valori tipici dei fattori di riflettività dei radar per nuvole non precipitanti o per leggera pioggia, vanno da  $10^{-5}$  a 10; per pioggia molto forte e grandine, il fattore potrebbe essere molto alto,

anche fino a  $10^7$ . Dato che questi valori variano su diversi ordini di grandezza e sono difficili da rappresentare graficamente nei dettagli, in genere viene utilizzata una scala logaritmica, più semplice da interpretare, espressa in dBZ (decibel-riflettività) dalla formula:  $\text{dBZ} = 10 \log_{10} Z / (1 \text{mm}^6 / \text{m}^3)$ . Il tipo più comune di metodologia di stima del radar meteorologico è chiamato "riflettività di base". Viene realizzato assegnando una grandezza correlata alla quantità di dispersione che si verifica intercettando un bersaglio.

La riflettività causata da ostacoli a terra, tecnicamente definita "ground clutter", ovvero l'energia ricevuta dal radar proveniente da oggetti vicino al suolo come alberi, edifici o particolato nell'aria. La posizione della precipitazione è determinata da due fattori:

- *angolo di elevazione dell'antenna*
- *tempo impiegato dall'impulso elettromagnetico per tornare al radar*

Quando i dati di questi due fattori sono trattati insieme, forniscono importanti informazioni sul movimento di regioni in cui vi è presenza di precipitazioni. Un altro comune metodo di stima è definito "riflettività composita", che fornisce informazioni relative a porzioni più dettagliate di un sistema precipitante, indipendentemente dalla sua altitudine.

La riflettività composita è molto utile per identificare nuclei di precipitazione intensa e per valutare l'estensione reale di precipitazioni ai livelli medi e superiori dell'atmosfera.

relazione il fattore di riflettività (Z) al **tasso di precipitazioni (Rainfall Rate) R** espresso in mm/h, nella funzione di echo:

$Z = A \cdot R^B$  (A e B sono costanti determinate dalle diverse categorie di dimensioni delle gocce). Questo tipo di equazione tra fattore di riflettività e tasso di pioggia è definito come "relazione Z-R".

Utilizzando la relazione "Z-R" per stimare l'entità delle precipitazioni, i dati radar non sono sempre in linea con i dati di pluviometri campione impiegati nel confronto sperimentale. I meteorologi si sono imbattuti in questo problema da oltre 50 anni ormai. Perché è così difficile confrontare il pluviometro con le misure del radar? Oltre ai dubbi sull'applicazione della relazione Z-R, ci sono molte altre complicazioni:


- **il radar campiona le precipitazioni presenti all'interno della nuvola a una certa distanza dalla superficie terrestre**, quindi le particelle possono evaporare o essere modificate in altro modo prima che colpiscano la superficie;
- le nuvole e le precipitazioni sono spesso costituite da una varietà di tipi di particelle, ad esempio ghiaccio e pioggia. Ogni particella interagisce con l'energia del radar nel suo unico particolare modo: la regione campionata dal radar aumenta con la distanza. Più ampio è il fascio, maggiore è la probabilità di campionare una miscela di tipi di precipitazioni, o maggiore è la probabilità di campionamento per un dato volume di 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!**

# L'APPLICAZIONE DELLE FIBRE OTTICHE NEI SISTEMI DI CONTROLLO DEGLI AEREI

di Fulvio De Santis

*Gli indiscutibili ed ormai consolidati vantaggi dell'applicazione della tecnologia delle fibre ottiche incentivano sempre più l'incremento di settori di impiego di questi formidabili e moderni mezzi di collegamento rispetto alla convenzionale tecnologia. L'industria aerospaziale è stata la prima ad implementare l'adozione dei cavi in fibra ottica nei sistemi di controllo del volo. Sebbene la già rivoluzionaria tecnologia "Fly-By-Wire" (FBW), letteralmente "Volare per mezzo di Cavi", abbia consentito di pilotare aerei senza la diretta attuazione di meccanismi idraulici di manovra, ossia, indirettamente attraverso collegamenti elettrici per l'azionamento di attuatori che a loro volta comandano i meccanismi di controllo del volo, la tecnologia delle fibre ottiche si è inserita come evoluzione, o upgrade, della Fly-By-Wire convertita nella definizione "Fly-By-Light" o "FBL". La FBL, pur ponendosi come tecnologia di nuova generazione nei sistemi di controllo del volo per le importanti caratteristiche di compattezza delle dimensioni, minor peso ed elevata larghezza di banda, fattori rilevanti in aviazione, non trova molto impiego nelle applicazioni aeronautiche. Al fine di incentivare l'estensione dell'adozione della tecnologia FBL, da varie agenzie dell'industria aerospaziale è stato lanciato il programma "Fly-By-Light Systems Hardware" (FLASH).*

## INTRODUZIONE

Questo articolo intende fare un confronto architetturale della tecnologia dei **sistemi di controllo del volo** tra la convenzionale **Fly-By-Wire** e la **Fly-By-Light**. Della Fly-By-Light si analizzeranno i vantaggi rispetto agli attuali sistemi utilizzati. In origine, i sistemi di controllo del volo degli aerei erano basati sui convenzionali sistemi meccanici ed Indro meccanici. L'attuale generazione di aerei utilizza la tecnologia Fly-By-Wire. I mezzi di collegamento Fly-By-Wire prevedono l'impiego di cavi elettrici per l'invio dei segnali di controllo agli attuatori, ma, data la loro limitata **larghezza di banda**, rilevante rispetto ai **segnali digitali**, limitano la velocità di trasmissione dati. Per sopperire a questa importante limitazione, le fibre ottiche sono un'alternativa di fondamentale importanza in quanto hanno la capacità di portare molte più informazioni rispetto al convenzionale rame, inoltre, non meno rilevante è la caratteristica di essere **immuni alle interferenze elettromagnetiche**. L'impiego dei collega-

menti in **fibra ottica**, oltre alle già citate caratteristiche di leggerezza e compattezza delle interfacce, necessita di poca manutenzione.

Vediamo ora di fare un'analisi semplificata di un sistema di controllo di un aereo. Le superfici di un aereo interessate al controllo del volo sono classificate in due categorie di cui i principali elementi sono: il timone, l'elevatore e l'alettone costituenti le superfici primarie di controllo; flap, slats e spoiler le superfici secondarie.

La **Figura 1** schematizza un aereo con indicate le superfici di controllo.

Un computer di bordo misura i parametri di movimento dell'aereo, quindi condiziona i segnali, li amplifica e li invia agli attuatori, realizzando così il comando del sistema retroazionato a loop chiuso per l'azionamento delle superfici mobili che gestiscono la missione di volo dell'aereo.

La **Figura 2** riporta lo schema a blocchi semplificato di un sistema di controllo reazionato di un elevatore.

Questo schema di principio è approssimativamente valido

anche per l'alettone ed il timone.

In questo punto della trattazione, per una migliore comprensione di quanto in seguito verrà detto, credo possa essere utile ed interessante inserire una breve descrizione dei principali assi di movimento di un aereo, tratta da Wikipedia.

### PRINCIPALI ASSI DI MOVIMENTO

Un aeromobile è libero di ruotare attorno a tre assi **perpendicolari tra loro** che si intersecano al **centro di gravità**.

Per controllare la posizione e la direzione, il pilota deve essere in grado di controllare la rotazione di ciascuno di essi.

#### ASSE VERTICALE (YAW)

Il moto prodotto dall'imbardata di un aeromobile.

L'asse di **imbardata** verticale (yaw) è definito come l'asse perpendicolare alle ali ed alla linea normale di volo, con origine nel baricentro e diretto verso il basso del velivolo.

#### ASSE LONGITUDINALE (ROLL)

Il moto prodotto dal rollio di un aeromobile.

Il rollio (pron. rollio) è un termine utilizzato in campo **aeronautico** che indica l'oscillazione di un **velivolo** intorno al proprio **asse longitudinale** (anche detto, in questo caso asse di rollio, il quale passa per i "centri di rollio").

### ASSE LATERALE (PITCH)

Il moto prodotto dal beccheggio di un aeromobile.

Il beccheggio è un termine utilizzato in campo **aeronautico** che indica l'oscillazione di un **velivolo** intorno al proprio asse trasversale (anche detto, in questo caso, asse di beccheggio).

### LO SVILUPPO DEI SISTEMI DI CONTROLLO DEL VOLO

Nei primi aerei, le superfici di controllo venivano manovrate meccanicamente mediante l'azione fisica diretta del pilota sulla barra di comando. Con il trascorrere degli anni, per superare la limitazione fisica del pilota, per rispondere inoltre ai requisiti di modernità di aerei sempre più evoluti e veloci, l'evoluzione dei sistemi di controllo ha comportato l'introduzione di sistemi basati su dispositivi meccanici con attuazione idraulica che hanno consentito una maggiore efficienza e rapidità di comando delle superfici di controllo del volo. Il culmine dell'evoluzione dei sistemi di controllo delle superfici è stato raggiunto con l'adozione della tecnologia Fly-By-Wire che ha rimpiazzato i convenzionali sistemi di controllo del volo degli aerei mediante **l'impiego di interfacce elettroniche**. I comandi di controllo del volo sono convertiti in segnali elettronici trasmessi mediante cavi elettrici ai dispositivi attuatori, i quali ricevono dal computer di controllo del volo i corretti comandi per la manovra di ogni superficie. L'adozione

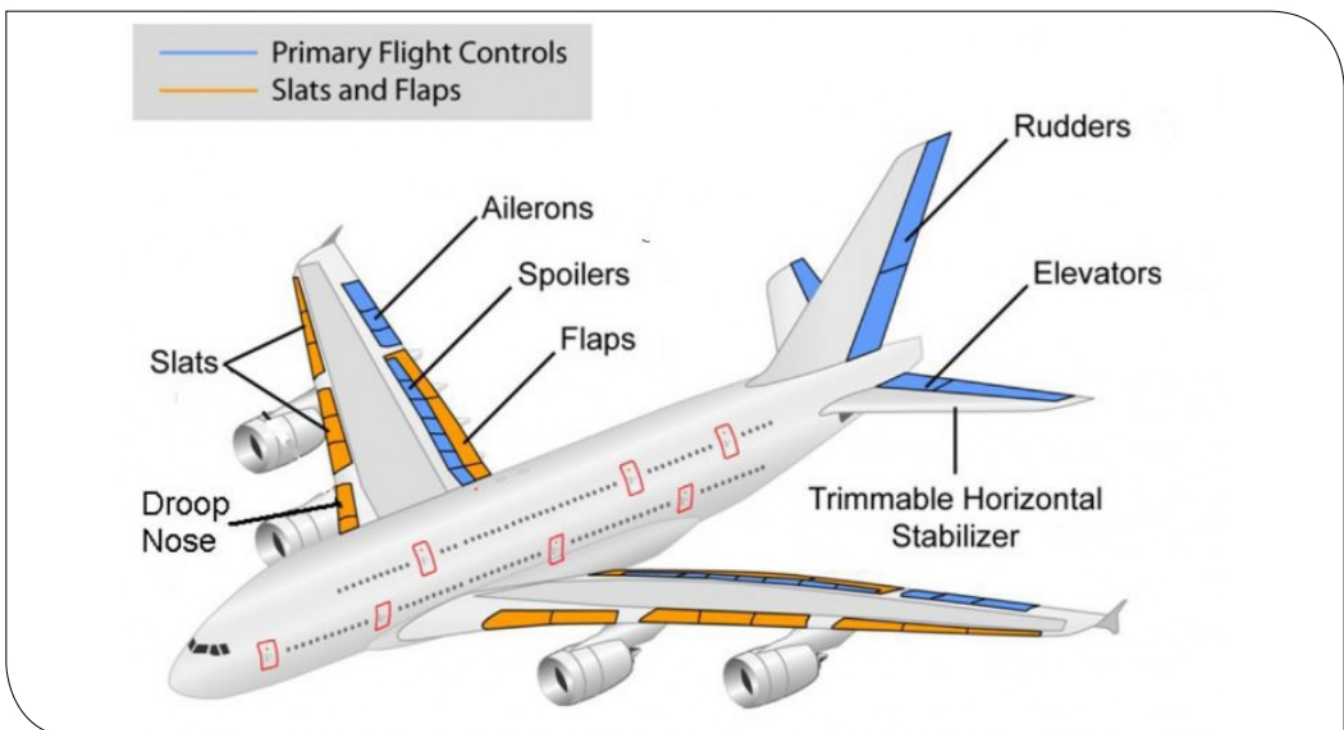


Figura 1: superfici di controllo di un aereo

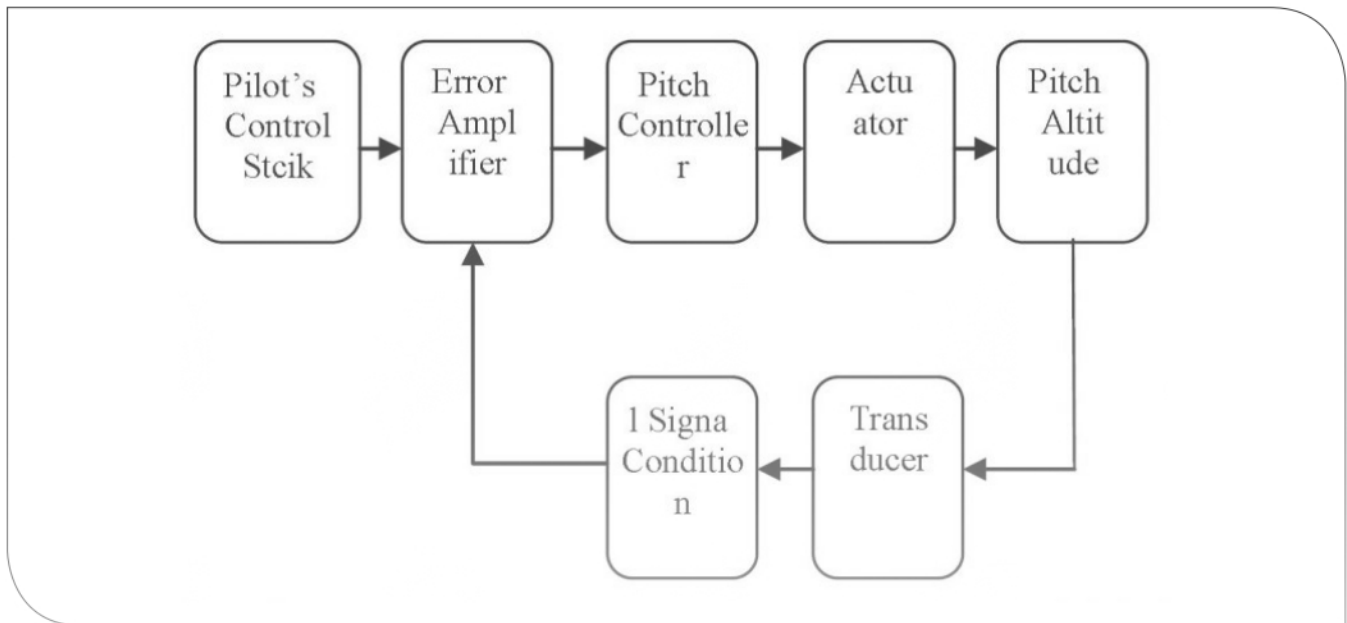


Figura 2: sistema di controllo di un elevatore

della tecnologia FBW ha consentito l'introduzione del sistema automatico di controllo del volo permettendo di stabilizzare l'aereo anche senza l'intervento del pilota. La **Figura 6** mostra schematicamente il sistema di controllo Fly-By-Wire all'interno di un aereo.

Con l'introduzione del sistema digitale Fly-By-Wire flight, viene migliorato il sistema di sicurezza del volo e le prestazioni dell'aereo in generale; è notevolmente potenziata l'integrazione delle funzionalità di monitoraggio e di navigazione. Questo avanzato sistema di

controllo del volo riduce notevolmente il carico di lavoro del pilota, non più costretto a gestire contemporaneamente più sistemi, migliorando così la precisione dei comandi. L'affidabilità del sistema digitale di controllo Fly-By-Wire flight, viene garantita dall'impiego di componentistica elettronica di categoria prevista per applicazioni critiche di non volo e adottata nell'elettronica dell'aerospazio. L'evoluzione strutturale dei moderni aerei ha comportato l'impiego di nuovi materiali ed apparati elettronici innovativi, specializzati in contromisure (ECM). Inoltre, si sono

**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!**

# GUIDA ALLE MODULAZIONI: LE MODULAZIONI ANALOGICHE

di Andrea Garrapa

La modulazione è l'operazione intermedia tra la sorgente d'informazione ed il canale trasmissivo all'interno di un sistema di comunicazione. Con questo articolo diamo il via ad una serie di appuntamenti volti alla comprensione dei principali schemi di modulazione. In questi articoli, oltre alla rappresentazione matematica e grafica dei segnali modulati, verranno presentati anche gli schemi a blocchi dei modulatori/demodulatori, alcuni schemi circuitali e le prestazioni di ognuno rispetto alle risorse fondamentali che guidano il design di questi sistemi, ovvero: potenza, banda e complessità. In questo primo articolo verranno analizzate le modulazioni analogiche di portante analogica, in particolare la modulazione AM (Modulazione d'Ampiezza) ed alcune sue varianti, quella FM (Modulazione di Frequenza) e quella PM (Modulazione di Fase).

## INTRODUZIONE

**S**i possono individuare 2 motivi principali per cui si rende necessaria la modulazione di un segnale prima di essere trasmesso su un canale di comunicazione:

1. per irradiare i segnali in modo efficiente è necessario che le antenne abbiano dimensioni dell'ordine di un decimo della lunghezza d'onda da trasmettere. Un segnale vocale è di tipo passa basso con frequenze comprese tra 300 e 3400 Hz e quindi lunghezze d'onda tra  $10^6$  e  $10^7$  metri. Le antenne dovrebbero avere dimensioni chilometriche! La modulazione consente di traslare lo spettro intorno a frequenze elevate rendendo le antenne di dimensioni accettabili;
1. la modulazione consente di condividere il canale tra più utenti, utilizzando differenti porzioni dello spettro elettromagnetico.

Introduciamo ora alcuni concetti chiave che torneranno utili nel corso di tutto l'articolo:

1. Definiamo **segnale modulante**, indicato con  $m(t)$ , il segnale in banda base contenente l'informazione da trasmettere. L'informazione è contenuta nelle variazioni di ampiezza del segnale  $m(t)$ .

2. Definiamo **segnale portante**, indicato con  $p(t)$ , il segnale ad alta frequenza il cui scopo è quello di trasportare il segnale modulante. Una delle grandezze fondamentali (ampiezza, fase, frequenza) di  $p(t)$  viene fatta variare in modo proporzionale alle variazioni di ampiezza di  $m(t)$ .
3. Definiamo **segnale modulato**  $u(t)$ , il segnale ottenuto dopo il processo di modulazione effettuato da  $m(t)$  su  $p(t)$ .

I diversi schemi di modulazione vengono classificati in base alla natura del segnale modulante (analogico o digitale), ed in base alla natura della portante (analogica o impulsiva). In **Figura 1** viene riportata una classificazione delle principali modulazioni.

Nella progettazione dei differenti schemi di modulazione occorre tenere presente le tre risorse fondamentali, che sono spesso in contrasto le une con le altre. Tali risorse sono:

- La **potenza**, particolarmente importante nei dispositivi mobili, poichè più aumentano i consumi, minore diventa la durata delle batterie.
- La **banda**, spesso limitata a causa della divisione in più canali di un medesimo standard.
- La **complessità** o costo, ovvero quanto risulta complesso e quindi costoso il ricetrasmittitore.

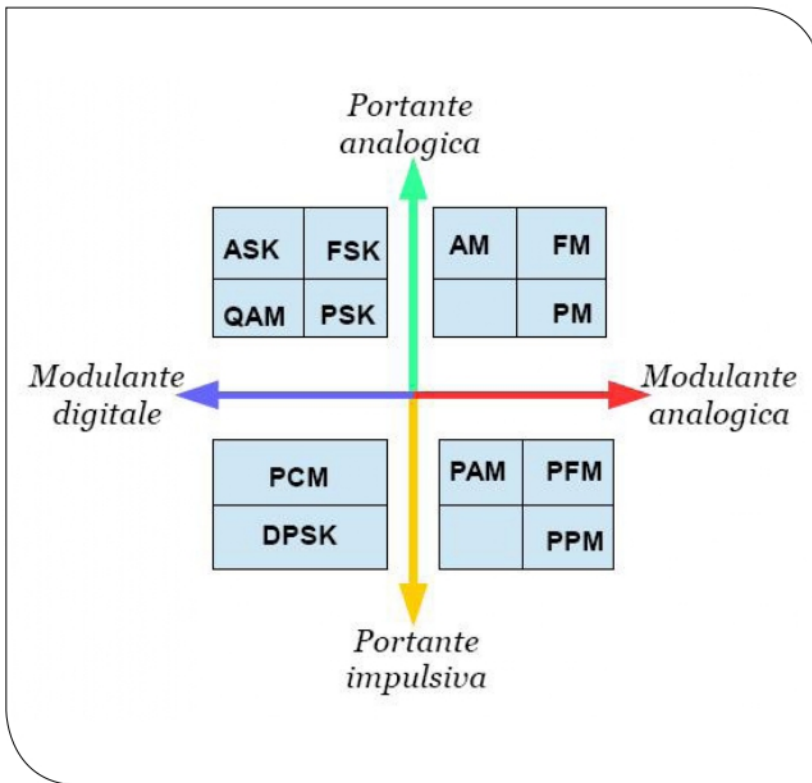


Figura 1: classificazione delle principali modulazioni in base alla portante ed alla modulante

Per meglio comprendere come queste tre risorse siano legate tra loro iniziamo a discutere nel dettaglio le modulazioni cominciando con la più semplice di esse, ovvero la **modulazione d'ampiezza (AM)**.

### MODULAZIONE D'AMPIEZZA

La modulazione d'ampiezza AM è una modulazione analogica di portante analogica. Definiamo la portante  $p(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$ , dove  $A_c$  rappresenta l'ampiezza della portante,  $f_c$  la sua frequenza,  $\phi_c$  la sua fase. Il segnale modulato  $u(t)$  presenterà la seguente espressione:

$$u(t) = A_c [1 + a m_n(t)] \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$$

dove  $m_n(t)$  è la versione normalizzata del segnale modulante  $m(t)$ , mentre  $0 < a < 1$  rappresenta l'**indice di modulazione**. In **Figura 2** viene riportato un esempio di segnale modulato AM con indice di modulazione pari a 0.5. **Osservando il segnale modulato (in nero) appare evidente come il segnale modulante (in blu) a bassa frequenza, "modellati" la portante (in rosso) ad alta frequenza.**

In **Figura 3** invece vengono riportati tre esempi di segnali modulati AM con tre indici di modulazione differenti:

0.1/0.5/0.9. L'indice di modulazione non può essere pari o maggiore ad 1, altrimenti si avrebbe distorsione da sovr modulazione.

### LA FUNZIONE DI AUTO-CORRELAZIONE

Vorremmo ora valutare la potenza che la modulazione impiega per trasmettere l'informazione. Il segnale modulante  $m(t)$  non è noto a priori, si tratta quindi di un segnale aleatorio. Questo implica che anche il segnale modulato  $u(t)$  avrà caratteristiche aleatorie.

Occorrerà operare quindi con grandezze statistiche, come ad esempio la **funzione di autocorrelazione**  $R_u(t, \tau) = E[u(t)u(t-\tau)]$ . Essa rappresenta la media statistica tra il segnale  $u(t)$  e se stesso dopo un ritardo  $\tau$ . Per dirla in parole povere ci dice quanto il segnale sia simile in istanti temporali diversi.

Sviluppiamo la funzione di autocorrelazione per un segnale modulato  $u(t) = m(t)p(t)$ , pari al prodotto tra  $m(t)$  aleatorio e

$$p(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi_c):$$

$$R_u(t, \tau) = E[u(t)u(t-\tau)] = A_c^2 E[m(t)m(t-\tau)] \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \cos(2\pi f_c (t-\tau) + \phi_c) = \frac{A_c^2}{2} R_m(t, \tau) [\cos(2\pi f_c (2t-\tau) + 2\phi_c) + \cos(2\pi f_c \tau)]$$

le funzioni coseno escono fuori dalla media statistica poichè sono segnali deterministici, mentre il passaggio alla seconda riga avviene per mezzo della inversa delle formule di prostaferesi, ovvero  $(\cos\alpha\cos\beta = 1/2 [\cos(\alpha+\beta) + \cos(\alpha-\beta)])$ .

$R_m(t, \tau)$  rappresenta la funzione di autocorrelazione del segnale modulante.

Bisognerà ora passare dall'autocorrelazione statistica a quella media, mediando la prima su tutto l'asse temporale:

$$R_u(\tau) = \langle R_u(t, \tau) \rangle = \lim_{T \rightarrow +\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T R_u(t, \tau) dt = \frac{A_c^2}{2} R_m(\tau) \cos(2\pi f_c \tau)$$

Dall'ultima espressione è possibile valutare la potenza del segnale modulato ed anche la sua estensione in frequenza. La potenza del segnale modulato  $P_u$  si valuta ponendo  $\tau$  uguale a zero:

$$P_u = \frac{A_c^2}{2} R_m(0) = \frac{A_c^2}{2} P_m$$

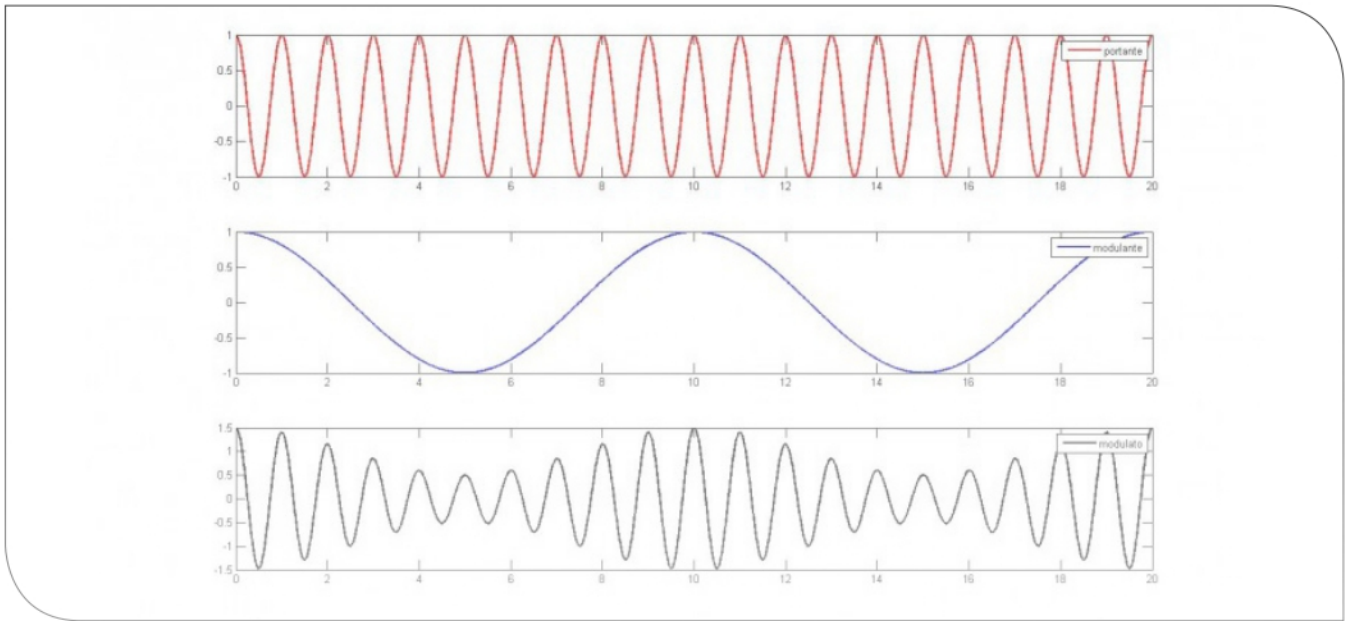
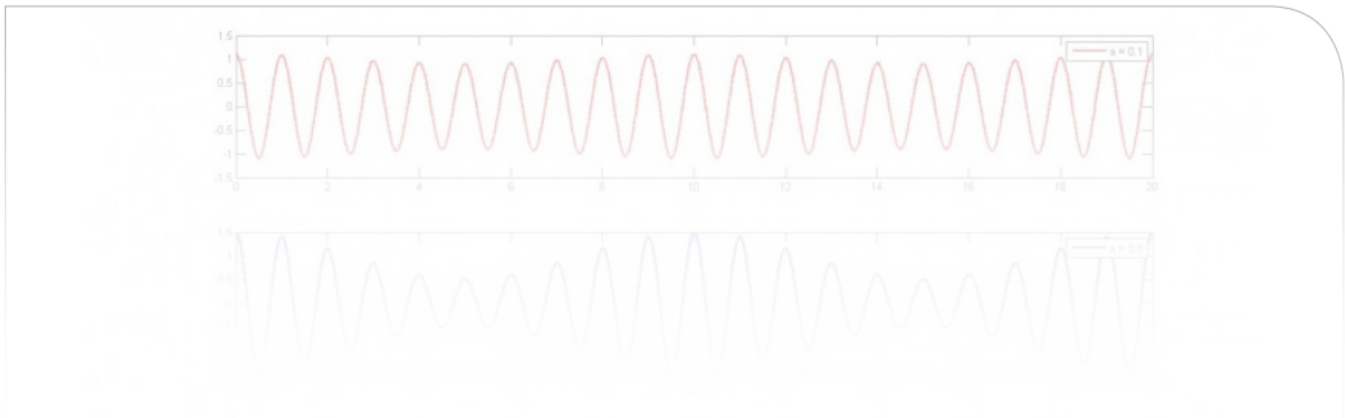


Figura 2: esempio di modulazione di ampiezza



**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!**

# MICROCONTROLLORI LOW POWER: COME SCEGLIERE

di Redazione

In questo articolo affronteremo delle considerazioni di base sui microcontrollori, volte a confrontare e scegliere tra i diversi modelli disponibili sul mercato. Il risparmio energetico è diventato ormai uno dei requisiti essenziali in molte applicazioni, sia nell'ottica di una riduzione dei consumi che consenta di realizzare applicazioni eco-sostenibili sia per l'impiego in sistemi ed apparecchiature battery-powered che stanno trovando sempre maggiore impiego in diversi campi, da quello mobile a quello medicale, fino alle reti di sensori wireless ed al remote monitoring.

Uno dei settori dell'elettronica dove l'attenzione al **risparmio energetico** è sentita in maniera pressante è quello dei microcontrollori. Tutte le principali case produttrici dispongono a catalogo di soluzioni low power. Scegliere quella più adatta alla propria applicazione può non sempre essere facile. Di seguito proviamo a passare in rassegna i fattori che determinano il consumo di una **MCU (MicroController Unit)** e le considerazioni principali da tenere d'occhio nel confronto tra dispositivi di case e famiglie diverse.

## CONSUMO IN STAND-BY

Quando si considerano **applicazioni battery-powered** o in generale **low power**, il **primo parametro da tenere in considerazione non è il consumo attivo della MCU ma quello in stand-by**, dal momento che nella maggior parte dei casi, il sistema sarà inattivo per la maggior parte del tempo, risvegliandosi periodicamente o in corrispondenza dell'occorrenza di definiti eventi. Tipicamente, considerando il rapporto della potenza dissipata in condizioni di stand-by ed in funzionamento normale, si trova che *il consumo di potenza in stand-by incide sul consumo complessivo per una percentuale che varia tra il 5% e fino all'85% quando il tempo di inattività varia dal 90% al 99.9%*, ovvero quando il rapporto tra tempo attivo e tempo inattivo passa da 1:10 a 1:1000. Nelle condizioni in cui la potenza dissipata in stand-by pesa maggiormente, un errore nella stima di questa o, da altro punto di vista, una differenza di consumo in stand-by tra diversi dispositivi, comporta una differenza nella **durata della batteria** fino all'8.5%, il che si può tradurre in differenze di autonomia del sistema dell'ordine dei mesi o più. Un primo aspetto che incide sicuramente sulla potenza in stand-by è la **tecnologia costruttiva in cui è realizzato il dispositivo**. Questa determina, infatti, direttamente la corrente di leakage del dispositivo. Ad esempio, un tipico MCU in package a 20 pin che sia



Figura 1. Microcontrollore Ultra-Low-Power

**eXtreme Low Power  
16-bit MCUs**

**Active Current 150  $\mu$ A/MHz  
RAM Retention 330 nA  
VBAT Battery Backup With RTCC 400 nA**

Figura 2. Famiglia di microcontrollori eXtreme Low Power

caratterizzato da corrente di leakage di 100 nA per pin può arrivare ad assorbire fino a 2  $\mu$ A di corrente in condizioni di stand-by per i soli effetti di leakage. L'impiego di una tecnologia costruttiva a 0.25  $\mu$ m o 0.35  $\mu$ m consente di ridurre tali correnti; di contro, le tecnologie di nodo più recenti, come ad esempio quella a 0.18  $\mu$ m o inferiori, soffrono di un incremento di questo parametro (nella pratica poi compensabile mediante tecniche mixed signals

incluso in quello di stand-by del MCU. In molti casi è richiesto che il sistema sia in grado di mantenere validi i dati in memoria interna (data retention) e, quasi sempre, è necessario che continuino a funzionare i circuiti di power monitoring (*Brown Out Reset e Supply Voltage Supervisor*). Nel confrontare la potenza di stand-by indicata nel datasheet da diversi produttori è quindi opportuno sincerarsi sempre delle condizioni nelle quali questa è specificata.

**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!**

# + 130.000

## REGISTERED USERS

6.138 AVERAGE DAILY PAGEVIEWS (DEC2019)

824.057 2019 ANNUAL VISITORS

## THE BIGGEST EMBEDDED COMMUNITY IN ITALY

### SOCIAL CONNECTIONS

 + 83.000

 + 23.000

## CATEGORIES

COMPANIES/CONSULTANTS

53 %

ACADEMICS/STUDENTS

25 %

MAKERS/HOBBYISTS

22 %

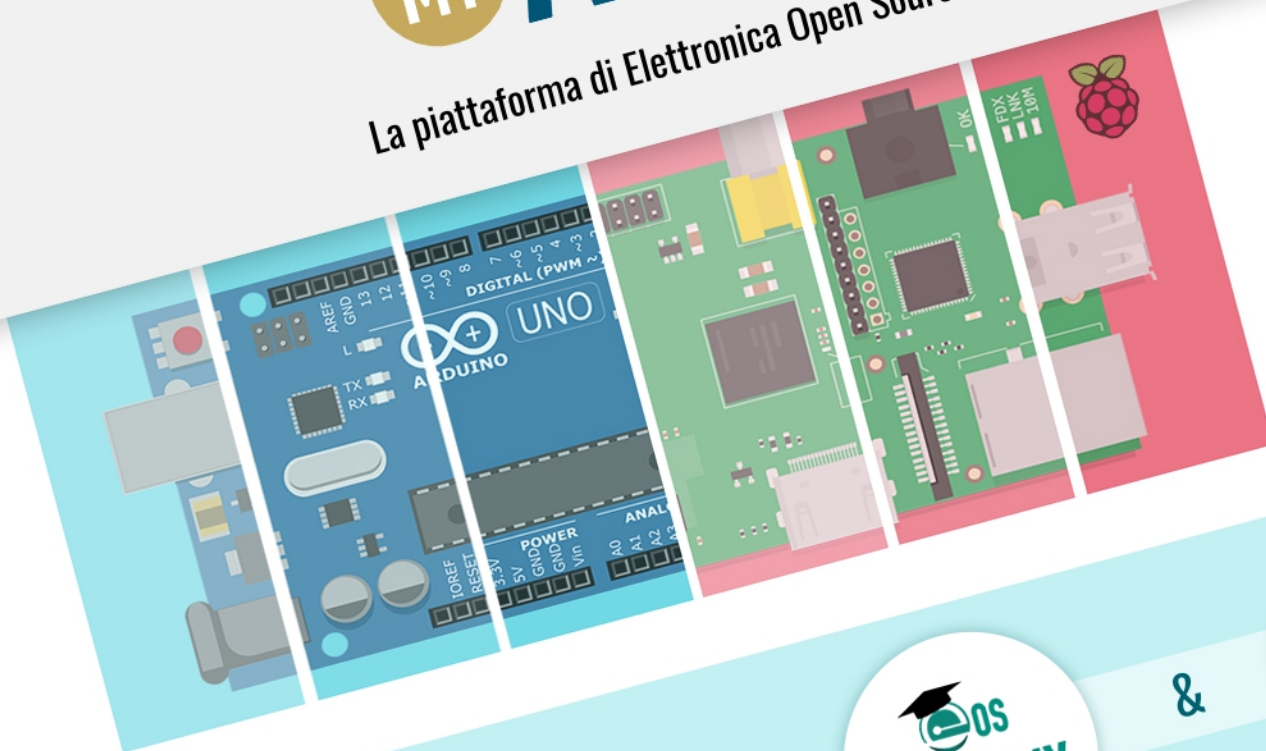


I NOSTRI CORSI DI ELETTRONICA  
PER I PROFESSIONISTI  
E I MAKERS



# ACADEMY

La piattaforma di Elettronica Open Source dedicata ai corsi



PUOI AVERE TUTTI I CORSI DI



&



A PORTATA DI CLICK

