

## Automotive Sensors



**IN QUESTO NUMERO:**

**GUIDA ALL'ANALISI DEI SENSORI PER L'AUTOMOTIVE**

**MODULI DI POTENZA NEI VEICOLI ELETTRICI**

**CORSO DI ELETTRONICA APPLICATA - AMPLIFICATORE A BASSO RUMORE PER RICEVITORI A 144 MHZ**

**E MOLTI ALTRI ARTICOLI E PROGETTI!**

***COSA LEGGERAI NEL 2026?***

<b><i>TOPICS</i></b>	<b><i>MAKERS ZONE</i></b>	<b><i>DATA DI PUBBLICAZIONE</i></b>
IoT	Cybersecurity	1 Febbraio
Artificial Intelligence	Edge Machine Learning	1 Marzo
Power/Motor	Green Energy	1 Aprile
PCB	Microcontrollers	1 Maggio
Test & Measurements	DIY Tools	1 Giugno
Automotive	Sensors	1 Luglio
Open-Source	Development Boards	1 Settembre
Wireless/RF	LoRa Networks	1 Ottobre
Industry 4.0	Automation & Robotics	1 Novembre
Healthcare	Medical Wearable	1 Dicembre

## L'auto che percepisce il mondo

Cari lettori, se per oltre un secolo il motore è stato al centro dell'innovazione automobilistica, oggi il ruolo di protagonista appartiene ai dati. E dietro ogni dato, come sappiamo, c'è un sensore. Da questa consapevolezza nasce il focus per un nuovo numero di Firmware 2.0 dedicato al tema Automotive-Sensors, ambito che sta segnando sia il modo in cui progettiamo i veicoli sia il concetto stesso di mobilità. E mentre i veicoli moderni sono ormai piattaforme elettroniche sempre più sofisticate, **sensori, connettività e sicurezza diventano il nuovo DNA dell'auto**. Telecamere ad alta risoluzione, radar, lidar, sensori inerziali, dispositivi per il monitoraggio ambientale e sistemi dedicati all'analisi dello stato del conducente, generano una quantità crescente di informazioni che devono essere opportunamente elaborate in tempo reale. Al netto del miglioramento delle prestazioni, l'obiettivo è aumentare il livello di sicurezza, affidabilità ed efficienza energetica. Negli ultimi tempi il settore automotive ha continuato ad accelerare lungo la direttrice della guida assistita e della progressiva automazione. I sistemi ADAS di nuova generazione integrano architetture multisensore sempre più evolute e dotate della capacità di **combinare dati provenienti da fonti differenti per ottenere una percezione più accurata dell'ambiente circostante**. La sfida tecnica non riguarda più esclusivamente la qualità del singolo sensore, ma la capacità di fondere le informazioni, ridurre le incertezze e prendere decisioni in condizioni operative estremamente variabili nel tempo. Parallelamente, cresce l'importanza della connettività wireless. Le reti veicolari ad alta velocità, le comunicazioni V2X e l'integrazione con infrastrutture intelligenti hanno raggiunto livelli che fino a pochi anni fa appartenevano alla sola ricerca avanzata. Il veicolo smette di essere un sistema isolato e si trasforma in un nodo di una rete più complessa in cui informazioni, aggiornamenti software e servizi digitali circolano continuamente. Nel mentre, la sicurezza è diventata uno degli aspetti più delicati dell'evoluzione in corso. Con l'aumento della superficie di attacco dei sistemi connessi, la protezione dell'elettronica di bordo è diventata una priorità assoluta da raggiungere attraverso standard, normative e metodologie di progettazione **secure-by-design**. Allo stesso tempo, la functional safety continua ad evolversi per garantire che hardware e software operino in modo affidabile anche in presenza di guasti o condizioni impreviste. La mobilità del futuro nasce dai sensori, che rappresentano il punto di incontro tra mondo fisico e intelligenza digitale. Sono gli occhi, le orecchie e, in molti casi, il sistema nervoso dei veicoli di nuova generazione. Comprendere il loro funzionamento, le tecnologie emergenti sulle quali poggia il loro sviluppo, e le sfide progettuali significa sostanzialmente capire la direzione verso cui si sta muovendo l'intera industria. **Oggi, un sistema automotive intelligente deve saper acquisire i dati e trasformarli in azioni intelligenti e sicure**. L'estate, con i suoi ritmi più distesi e qualche momento in più da dedicare all'approfondimento tecnico, può essere l'occasione ideale per esplorare molteplici temi di interesse. Abbiamo realizzato questo numero con l'obiettivo di offrire ai nostri lettori contenuti utili, aggiornati e concreti, e di accompagnare professionisti, makers, studenti e aziende nella comprensione delle tecnologie che stanno plasmando il futuro della mobilità. A chi ci segue da tempo va il nostro ringraziamento per la fiducia. A chi ci scopre per la prima volta, l'invito è salire a bordo della grande community di Elettronica Open Source. Attraverso la rivista Firmware 2.0, i contenuti tecnici, i progetti ed i tutorial contenuti in essa, continuiamo a creare uno spazio di confronto e crescita dedicato all'innovazione elettronica. **Perché il futuro si costruisce insieme attraverso le idee, ma prende forma grazie alla conoscenza.**

Buona lettura!

Giordana Francesca Brescia

# Automotive Sensors



**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 - 149.572  
Social Network - 130.299

## © Copyright

Tutti i diritti di riproduzione o di traduzione degli articoli pubblicati sono riservati.

Manoscritti e disegni sono di proprietà di Contango SL.

È vietata la riproduzione anche parziale degli articoli salvo espressa autorizzazione scritta dell'editore.

I contenuti pubblicitari sono riportati senza responsabilità, a puro titolo informativo.

## EDITORIALE

L'AUTO CHE PERCEPISCE IL MONDO

2

QUALI SONO I PRINCIPALI DRIVER DI CRESCITA DEL SETTORE AUTOMOTIVE?

5

IL RUOLO DEI SEMICONDUTTORI AUTOMOTIVE DI INFINEON PER L'ELETTRONICA DEI VEICOLI

8

GUIDA ALL'ANALISI DEI SENSORI PER L'AUTOMOTIVE

10

I ROBOT UMANOIDI NELL'EVOLUZIONE DELL'INDUSTRIA AUTOMOBILISTICA

13

A²B 2.0 PER LA CONNETTIVITÀ AUDIO DEI VEICOLI SOFTWARE-DEFINED

15

LA SICUREZZA NELLA GUIDA AUTONOMA

17

GAN E SIC CONQUISTANO IL MERCATO AUTOMOTIVE

19

LA TECNOLOGIA WIRELESS BMS

22

MODULI DI POTENZA NEI VEICOLI ELETTRICI

23

TOSHIBA TB9M030FG. IL MOSFET INTELLIGENTE PROGETTATO PER IL CONTROLLO DEI MOTORI AUTOMOTIVE

25

SECOND LIFE DELLE BATTERIE EV

26

IL PASSAPORTO DIGITALE DELLE BATTERIE E IL RUOLO DEL BMS

27

CORSO DI ELETTRONICA APPLICATA - AMPLIFICATORE A BASSO RUMORE PER RICEVITORI A 144 MHZ

28



# Tu progetti. Noi consegniamo.

Prodotti d'avanguardia per progetti innovativi™



[mouser.it/new](https://www.mouser.it/new)



# GUIDA ALL'ANALISI DEI SENSORI PER L'AUTOMOTIVE

Firmware Focus

*I sensori sono il punto di contatto tra il veicolo e l'ambiente circostante. Dalla gestione elettronica del motore ai sistemi ADAS di ultima generazione, comprendere e analizzare tipologie, caratteristiche, prestazioni, limiti e architetture dei sensori, è di fondamentale importanza per seguire l'evoluzione del settore automotive e restare aggiornati.*

## L'ELETTRONICA DI BORDO

Un tempo visti come elementi isolati, semplici periferiche che raccolgono dati, i sensori nelle auto sono oggi il centro dell'informazione per garantire sicurezza, efficienza e guida assistita, e vengono considerati il punto di partenza per progettare buona parte dell'elettronica del veicolo. L'aumento delle centraline, l'adozione di sistemi di assistenza alla guida, unitamente alla diffusione delle piattaforme elettriche, hanno creato le condizioni per un rinnovamento completo della sensoristica di bordo. Accelerometri MEMS, **sensori Hall**, trasduttori piezoresistivi, radar a 77 GHz e telecamere stereoscopiche lavorano insieme su reti CAN FD, LIN ed **Ethernet automotive**, producendo grandi volumi di dati che vengono elaborati in tempo reale. Al fine di analizzare questi sensori, serve un metodo che unisca elettronica analogica, elaborazione numerica del segnale, diagnostica integrata e compatibilità elettromagnetica. Come nell'industria, la validazione non si limita alla sola precisione nominale. Vengono valutate stabilità termica, immunità ai disturbi, robustezza meccanica e comportamento in condizioni ambientali estreme. Ad esempio, un sensore di pressione su un common rail diesel deve garantire accuratezza nonostante le possibili vibrazioni intense, gli shock termici e le interferenze provenienti dai sistemi di accensione. La spinta verso la guida assistita ed autonoma ha, inoltre, aumentato la ridondanza dei sensori, richiedendo architetture tolleranti ai guasti per rispettare la sicurezza funzionale secondo lo standard **ISO 26262**.

## MAPPA DELLE TECNOLOGIE SENSORIALI AUTOMOTIVE

Come evidenziato in precedenza, i sensori hanno acquisito un ruolo centrale nei sistemi tecnologici moderni e non possono più essere considerati semplici dispositivi indipendenti o isolati. Essi rappresentano, infatti, gli elementi essenziali della catena informativa che consente il corretto funzionamento di numerose applicazioni, e contribuiscono in modo determinante al miglioramento

della sicurezza, dell'affidabilità e dell'efficienza operativa. Per questo motivo, la conoscenza dei principi di funzionamento dei sensori, nonché delle loro prestazioni, dei limiti tecnologici e delle modalità di integrazione nei sistemi elettronici, è una competenza fondamentale per i progettisti e gli ingegneri automotive. I sensori possono essere classificati in diverse categorie in base alla **grandezza fisica** o alla **condizione che rilevano**. Tra questi vi sono i **sensori di posizione** come encoder, potenziometri e sensori ad effetto Hall, utilizzati per determinare con precisione spostamenti e orientamenti. I **sensori di velocità** consentono invece di monitorare il movimento di componenti o veicoli. Un'altra categoria comprende i **sensori ambientali**, tra cui lidar, telecamere, radar e ultrasuoni, che vengono impiegati per percepire e analizzare l'ambiente circostante. I sensori di stato del veicolo, come accelerometri, giroscopi e unità di misura inerziale (**IMU**), forniscono informazioni dinamiche fondamentali. Completano il quadro i **sensori chimici**, destinati al monitoraggio di gas come NOx e ossigeno, ed i sensori di corrente e tensione, indispensabili per la gestione ed il controllo delle batterie.

## SPECIFICA FUNZIONALE E VINCOLI PROGETTUALI

La scelta di un sensore automotive parte dall'analisi dei requisiti funzionali e dei vincoli ambientali. Il progettista deve trasformare specifiche qualitative in parametri misurabili, ad esempio intervallo operativo, risoluzione, accuratezza, isteresi, deriva termica, tempo di risposta e **MTBF (Mean Time Between Failures)**. Prendiamo ora in considerazione un sistema ADAS che usa telecamere e radar. Il radar garantisce migliore penetrazione con pioggia o nebbia e misura precisa della velocità relativa; mentre la telecamera fornisce risoluzione angolare e riconoscimento degli oggetti. La scelta è complementare, non esclusiva. Occorre poi valutare i livelli di safety secondo la norma ISO 26262 e la **cybersecurity**, quale aumento di affidabilità serve, come il sensore partecipa alle diagnosi e come si ottiene tolleranza

agli errori. Nella fase di specifica si definiscono anche le interfacce fisiche (CAN, LIN, Ethernet, SPI, I2C) ed i requisiti di sincronizzazione temporale, fondamentali quando si combinano dati da più sensori per la fusione delle informazioni.

### SENSORI DI POSIZIONE, VELOCITÀ E DINAMICA DEL VEICOLO

Tra i sensori maggiormente diffusi ci sono quelli che misurano posizione angolare, rotazione e dinamica del veicolo. I sensori Hall sono ampiamente usati per rilevare la posizione dell'albero motore e dell'albero a camme tramite variazioni del campo magnetico. La loro precisione temporale influisce direttamente su iniezione e accensione. Nei veicoli elettrici, gli encoder magnetici e ottici permettono il controllo vettoriale dei motori brushless, regolando la coppia con precisione. Accanto a questi troviamo accelerometri e giroscopi **MEMS** che vengono integrati nei sistemi di controllo della stabilità e che, realizzati su silicio con microstrutture meccaniche, misurano accelerazioni e velocità angolari tramite variazioni capacitive. I segnali richiedono complessi filtri numerici poiché vibrazioni e rumore elettrico possono generare errori significativi. Per esempio, nei sistemi di controllo della stabilità, i dati del **sensore yaw rate** vengono confrontati con angolo di sterzo e velocità delle ruote con l'obiettivo di riconoscere sottosterzo o sovra-sterzo; in caso di discrepanze, la centralina interviene sulle singole ruote. La qualità del sensore condiziona quindi la risposta dinamica e la sicurezza del veicolo, rendendo necessaria una accurata caratterizzazione elettronica e funzionale.

### SENSORI DI TEMPERATURA, PRESSIONE E GESTIONE POWERTRAIN

L'elettronica del powertrain dipende molto dai sensori di temperatura e pressione che controllano il motore

invece sensori distribuiti con ridondanza e isolamento galvanico. Anche i sensori di pressione del circuito clima devono resistere a contaminazioni, vibrazioni e rapidi sbalzi termici. Per valutare questi componenti servono test climatici, prove HALT e caratterizzazioni su ampi intervalli operativi, spesso compresi tra -40 °C e +150 °C.

### SENSORI ADAS, RADAR E VISIONE

Con l'evoluzione dei sistemi di assistenza alla guida, la sensoristica è diventata molto più sofisticata. Basti pensare a radar, lidar e telecamere che lavorano insieme per percepire l'ambiente reale. I radar automotive a 24 e 77 GHz sono consolidati per controllo adattivo della velocità, frenata automatica e monitoraggio dell'angolo cieco. Usando **tecniche FMCW** calcolano distanza, velocità relativa e direzione grazie all'effetto Doppler. Le prestazioni dipendono dal rumore di fase degli oscillatori, dalla linearità del front-end RF e dagli algoritmi di trasformata veloce. Le telecamere CMOS ad alta gamma dinamica servono invece per riconoscere corsie, pedoni e segnali stradali. L'ottica porta problemi diversi rispetto ai sensori tradizionali, in quanto pioggia, nebbia e controluce possono degradare il riconoscimento. Nei moduli **ADAS** dei veicoli premium, radar frontali e telecamere collaborano tramite tecniche di fusione dei dati gestite da processori dedicati. Qui la validazione coinvolge sia l'hardware sia dataset di addestramento, reti neurali e simulazioni software-in-the-loop. È fondamentale valutare con attenzione la latenza, l'accuratezza e la resilienza agli errori. Cresce, inoltre, anche l'attenzione alla sicurezza informatica, dal momento che sensori compromessi o dati alterati possono falsare le decisioni critiche.

### DIAGNOSTICA, AFFIDABILITÀ E TECNICHE DI ANALISI AVANZATA

La complessità elettronica odierna impone metodi avanzati per diagnosticare e migliorare l'affidabilità dei senso-

**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!**

# MODULI DI POTENZA NEI VEICOLI ELETTRICI

Firmware Focus

*I moduli di potenza sono uno degli elementi chiave alla base dell'evoluzione della mobilità elettrica. Grazie alla loro capacità di gestire e convertire l'energia con elevata efficienza, contribuiscono a migliorare prestazioni, autonomia e affidabilità dei veicoli. Questa tecnologia è oggi indispensabile per piattaforme elettriche sempre più avanzate, sicure e sostenibili.*

L'evoluzione della **mobilità elettrica**, dalla conversione dell'energia alla ricarica ultraveloce, non dipende esclusivamente dall'aumento della capacità delle batterie o dall'adozione di motori sempre più efficienti. Dietro le prestazioni che caratterizzano i veicoli elettrici di ultima generazione si nasconde, infatti, un insieme di tecnologie elettroniche avanzate che rendono possibile una gestione intelligente dell'energia. Tra queste, i moduli di potenza occupano una posizione di rilievo, poiché svolgono il compito fondamentale di convertire, regolare e distribuire l'energia elettrica all'interno del veicolo. Sostanzialmente, i moduli di potenza sono il cuore elettronico che guida la rivoluzione della mobilità.

Senza tali dispositivi, sarebbe impossibile sfruttare in modo efficace l'**energia immagazzinata** nelle batterie di trazione e garantire elevati livelli di autonomia, efficienza e affidabilità. Il concetto di modulo di potenza rappresenta una naturale evoluzione dei tradizionali componenti discreti. Per molti anni, **transistor, diodi e tiristori sono stati utilizzati singolarmente nelle applicazioni industriali**, ma la crescente richiesta di densità di potenza, miniaturizzazione e prestazioni superiori ha portato allo sviluppo di soluzioni integrate in grado di racchiudere più dispositivi semiconduttori all'interno di un'unica struttura. L'integrazione consente di ottenere sistemi più compatti, migliori caratteristiche termiche ed una maggiore affidabilità operativa, elementi essenziali in applicazioni critiche come quelle automobilistiche.

Analizzando la storia dell'elettronica, si comprende che la combinazione di più dispositivi ha spesso rappresentato una risposta efficace ai limiti tecnologici esistenti. Un esempio emblematico è la configurazione Darlington, che permise di incrementare notevolmente il guadagno di corrente dei transistor bipolari. Lo stesso principio di integrazione è stato successivamente applicato ai dispositivi di potenza, dando origine a moduli capaci di gestire elevati livelli energetici in spazi molto ridotti. Oggi, tali architetture costituiscono la base tecnologica di numerosi settori industriali, dalle energie rinnovabili

all'automazione, dai sistemi ferroviari ai data center, fino all'industria automobilistica elettrica. A livello costruttivo, **un modulo di potenza integra diversi semiconduttori realizzati sotto forma di die, montati su substrati ad alte prestazioni termiche ed elettriche**. La progettazione include sia transistor di potenza sia **elementi passivi** e strutture dedicate alla dissipazione del calore ed all'isolamento elettrico. Con questa configurazione è possibile affrontare le elevate sollecitazioni termiche e meccaniche tipiche dei moderni sistemi di conversione energetica. Nei veicoli elettrici, dove vibrazioni, variazioni di temperatura e cicli continui di carica e scarica rappresentano condizioni operative quotidiane, tali caratteristiche diventano determinanti.

Una delle funzioni più importanti dei moduli di potenza riguarda il **controllo del motore elettrico**. L'energia immagazzinata nelle batterie di trazione è disponibile sotto forma di corrente continua, mentre i motori elettrici utilizzati nei moderni EV richiedono alimentazione in corrente alternata trifase. Questo passaggio è affidato all'**inverter**, uno dei sottosistemi più sofisticati dell'intero veicolo. Attraverso algoritmi avanzati di controllo e dispositivi semiconduttori ad alta velocità, l'inverter trasforma la tensione continua proveniente dal pacco batterie in una forma d'onda alternata che genera il **campo magnetico rotante necessario al movimento del motore**. I moduli di potenza operano come elemento chiave dell'inverter, garantendo commutazioni rapide e perdite ridotte. **Le moderne architetture automobilistiche utilizzano tensioni sempre più elevate, passando dai tradizionali sistemi a 400 V verso piattaforme a 800 V e oltre**. L'aumento della tensione permette di ridurre la corrente necessaria per erogare la stessa potenza, diminuendo le perdite nei cavi e migliorando l'efficienza complessiva del sistema. L'evoluzione tecnologica nell'elettronica di potenza ha favorito la diffusione dei semiconduttori wide bandgap, in particolare dei **MOSFET** al carburo di silicio, oggi considerati una delle tecnologie più promettenti per la e-mobility.

Il carburo di silicio, comunemente identificato con la si-

gla SiC, offre vantaggi importanti rispetto al silicio tradizionale. Grazie alla maggiore **tensione di breakdown**, alla superiore **conducibilità termica** ed alla possibilità di operare a **frequenze più elevate**, questi dispositivi consentono di realizzare inverter più compatti e più efficienti. La riduzione delle perdite energetiche si traduce direttamente in una maggiore autonomia del veicolo, mentre la diminuzione delle dimensioni dei sistemi di raffreddamento contribuisce a contenere peso e ingombri. Un altro ambito nel quale i moduli di potenza dimostrano tutta la loro importanza è quello della **frenata rigenerativa**. A differenza dei veicoli con motore a combustione interna, che dissipano gran parte dell'energia cinetica sotto forma di calore durante la frenata, i veicoli elettrici possono recuperare una quota significativa di questa energia e reimmetterla nella batteria. Durante il rallentamento, il motore elettrico viene trasformato in generatore, producendo energia elettrica che deve essere opportunamente convertita e gestita. Ancora una volta, il compito ricade sui moduli di potenza integrati nell'inverter, che operano in modalità bidirezionale consentendo il flusso energetico dalla macchina elettrica verso il sistema di accumulo.

La capacità di recupero energetico è uno dei fattori che contribuiscono maggiormente all'efficienza complessiva degli EV, soprattutto nei contesti urbani caratterizzati da frequenti accelerazioni e frenate. L'integrazione sempre più avanzata tra sistemi di controllo, sensori e moduli di potenza permette, inoltre, di ottimizzare continuamente la quantità di energia recuperata, migliorando l'esperienza di guida e aumentando l'autonomia disponibile. La gestione della ricarica costituisce un ulteriore campo applicativo strategico. Quando un veicolo viene collegato alla rete elettrica, l'energia disponibile è generalmente in corrente alternata e deve essere convertita in corrente continua per alimentare la batteria di trazione. Tale funzione è svolta dal caricatore di bordo, un sistema

elevati senza compromettere l'efficienza. Le architetture a 800 V, ormai sempre più diffuse nei veicoli premium e nelle piattaforme di nuova generazione, richiedono, inoltre, convertitori DC-DC ad alte prestazioni. Questi stadi elettronici elevano o adattano la tensione in funzione delle esigenze operative del veicolo e consentono la compatibilità con infrastrutture di ricarica progettate per livelli di tensione differenti. Anche in questo caso i moduli di potenza vengono indicati come la soluzione ideale grazie alla loro capacità di gestire correnti elevate mantenendo elevati standard di affidabilità.

L'importanza di questi dispositivi non si limita però alla trazione ed alla ricarica. Numerosi sistemi ausiliari presenti a bordo, tra cui climatizzazione, infotainment, illuminazione avanzata, sistemi ADAS e Battery Management Systems, necessitano di alimentazioni stabilizzate a differenti livelli di tensione. **Convertitori DC-DC** basati su moduli di potenza provvedono alla distribuzione efficiente dell'energia verso ciascun sottosistema, contribuendo a migliorare le prestazioni complessive del veicolo. Le prospettive di crescita confermano il ruolo strategico dei moduli di potenza. L'aumento della domanda globale di veicoli elettrici e ibridi sta alimentando investimenti senza precedenti nel settore dell'elettronica di potenza, mentre i produttori stanno concentrando le proprie attività di ricerca sul miglioramento delle prestazioni termiche, sull'aumento della densità energetica e sull'integrazione di nuovi materiali semiconduttori. Parallelamente, si assiste ad una continua evoluzione delle tecniche di packaging, orientate a ridurre le resistenze parassite e migliorare ulteriormente l'efficienza. Guardando al futuro, i moduli di potenza si candidano a diventare uno dei componenti più determinanti dell'intera filiera della mobilità elettrica. L'adozione crescente di semiconduttori wide bandgap, l'espansione delle infrastrutture di ricarica ultraveloce e la necessità di incrementare l'autonomia dei veicoli, renderanno questi

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

**PERCHE' ABBONARSI A PLATINUM 2.0?**

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



**VOGLIO ABBONARMI!**

# CORSO DI ELETTRONICA APPLICATA - AMPLIFICATORE A BASSO RUMORE PER RICEVITORI A 144 MHz

di **Fulvio De Santis**

Le prestazioni RF di un amplificatore a basso rumore (LNA - Low Noise Amplifier) dipendono essenzialmente dalla frequenza, polarizzazione e dissipazione di potenza, stabilità, adattamento dell'impedenza d'ingresso e di uscita, piani di massa del PCB, schermatura elettromagnetica, disaccoppiamento dell'alimentazione, temperatura. In questo articolo del Corso di Elettronica Applicata descriveremo il progetto di un LNA che può essere utilizzato come amplificatore d'antenna a 144 MHz.

## INTRODUZIONE

Un LNA è essenzialmente caratterizzato da una bassa figura di rumore (NF), un buon guadagno e stabilità tale da garantire assenza di oscillazioni per tutto il range di frequenze operative. Un LNA opera in Classe A, in genere ad un valore di corrente inferiore alla sua corrente massima. In Classe A, la progettazione del circuito di polarizzazione deve essere mirata ad impostare il punto di riposo del dispositivo attivo tra la minima e la massima corrente e tensione, considerando che l'LNA deve gestire bassi livelli del segnale RF d'ingresso rispetto al punto di polarizzazione, al fine

di impedire lo spostamento del punto di funzionamento. Il **segnale** di più basso livello che può essere ricevuto da un ricevitore definisce la sensibilità del ricevitore, mentre il segnale più grande che può essere ricevuto da un ricevitore stabilisce il limite superiore del livello di potenza che il sistema può gestire preservando la qualità della voce o dei dati. Il range dinamico del ricevitore, ovvero la differenza tra il segnale massimo e il segnale minimo ricevuto, definisce la qualità della catena di ricezione.

Un LNA svolge un ruolo importante nella progettazione dei ricevitori. La sua funzione principale è di amplificare

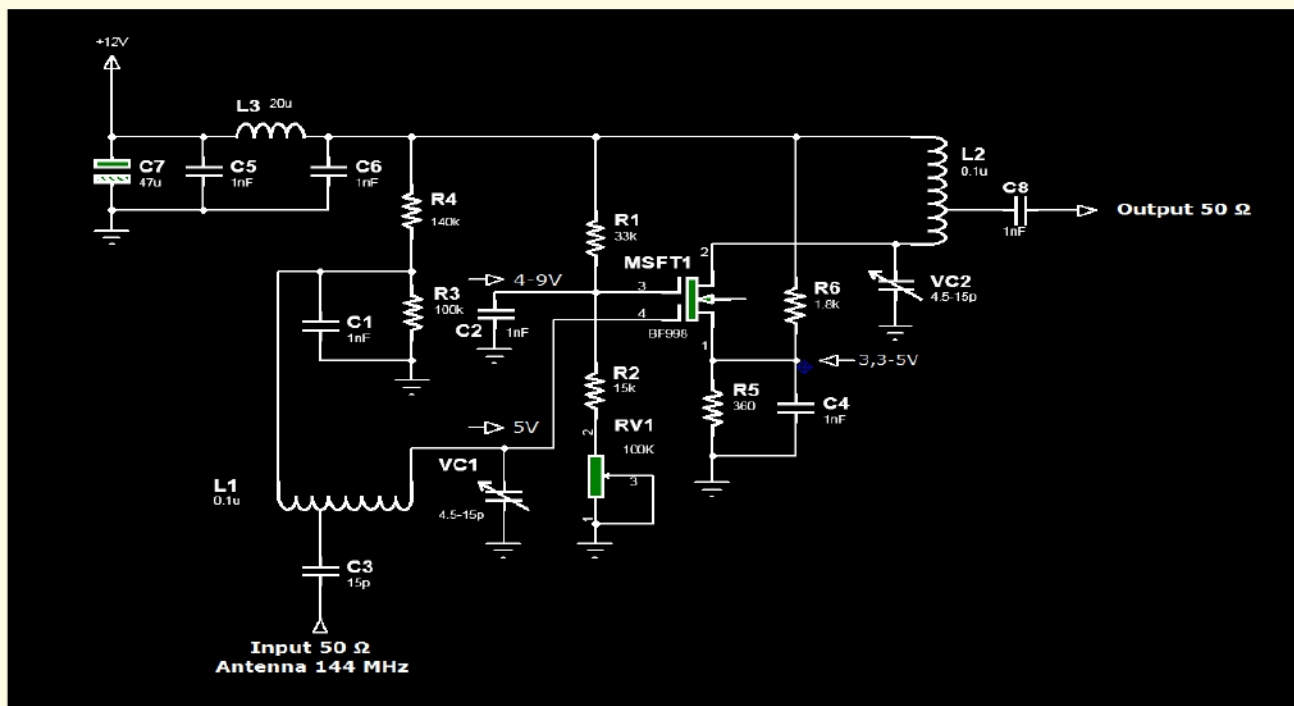


Figura 1: Schema elettrico dell'LNA con il MOSFET BF998

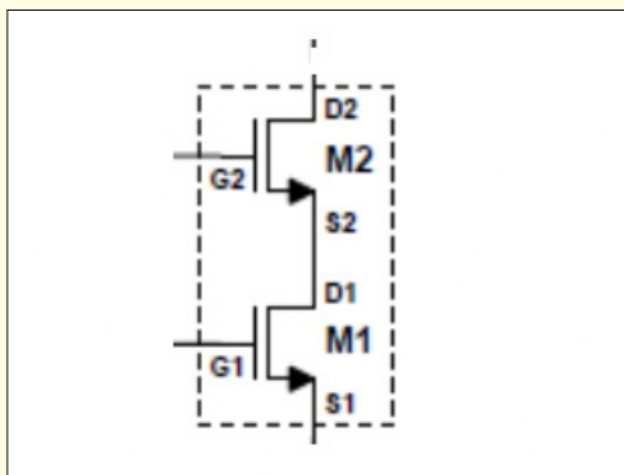


Figura 2: Esempio di configurazione circuitale interna di un MOSFET Dual Gate

segnali estremamente deboli senza aggiungere rumore, garantendo così il buon **rapporto segnale/rumore (SNR)**, requisito essenziale per il corretto funzionamento del sistema a livelli di potenza estremamente bassi. Inoltre, per livelli di segnale elevati, l'LNA amplifica il segnale ricevuto senza introdurre distorsioni, eliminando così le interferenze di canale. La progettazione di un LNA è una sfida impegnativa a causa della necessità simultanea di: alto guadagno, basso fattore di rumore, buon adattamento di impedenza in ingresso e in uscita, e stabilità. Tutto questo viene richiesto dall'amplificatore al minimo assorbimento di corrente possibile. Inoltre, la selezione del dispositivo attivo è il primo e più importante passo nella progettazione di un LNA, tenendo presenti i compromessi più importanti nel progetto di un LNA.

I parametri del dispositivo attivo selezionato per il progetto dell'LNA devono essere resi pubblici dal produttore per diverse tensioni collettore/emettitore ( $V_{ce}$ ) e corrente ( $I_c$ ) nel caso di un transistor, o drain/source

50  $\Omega$  dell'LNA.

### IL CIRCUITO DELL'LNA A 144 MHz

La **Figura 1** mostra lo schema elettrico dell'LNA con il MOSFET dual gate BF998.

Il segnale proveniente dall'antenna a 144 MHz viene applicato al condensatore C3, ingresso del circuito, che, insieme alla sezione di minore induttanza della bobina L1 da 0,1 uH, contribuisce all'adattamento dell'impedenza da 50  $\Omega$  dell'antenna, all'alta impedenza d'ingresso del MOSFET MSFT1 BF998. L'induttanza L1 ed il condensatore variabile VC1 realizzano il circuito risonante d'ingresso, che dovrà essere sintonizzato a 144 MHz regolando la capacità del condensatore variabile VC1. Il segnale RF, dal risonatore viene applicato al Gate 1 (pin 4) del **MOSFET**. Il partitore di tensione R3-R4, attraverso la bobina L1 imposta a 5 V la tensione sul Gate 1, che risulta a massa per l'AC tramite C1. Il partitore di tensione R1-(R2+RV1) ha la funzione di regolare la tensione sul Gate 2 (pin 3) da circa 4 V a 9 V, che risulta a massa per l'AC tramite C2. Il Drain (pin 2) si trova a +12 V attraverso l'induttore L2. L2 ed il condensatore variabile VC2 costituiscono il circuito risonante di uscita, che dovrà essere sintonizzato a 144 MHz regolando la capacità del condensatore variabile VC2. Il partitore di tensione R6-R5 imposta la tensione sul Source (pin 1), che può variare da circa 3,3 a 5 V a seconda del valore della tensione sul Gate 2 ( $V_{G2}$ ) e della corrente di Drain  $I_d$ . Mediante il rapporto di trasformazione della bobina L2, l'alta impedenza di uscita del circuito viene adattata all'impedenza del carico a 50  $\Omega$ .

### IL MOSFET DUAL GATE BF998

Il BF998 è un MOSFET Dual Gate a canale N con struttura del tipo a "Cascode", ovvero è un unico dispositivo costituito internamente da due MOSFET distinti collegati in serie come nella schemata di esempio in **Figura 2**

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

**PERCHE' ABBONARSI A PLATINUM 2.0?**

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



**VOGLIO ABBONARMI!**

# ABBONATI A

# Firmware 2.0

PER AVERE **TUTTA L'ELETTRONICA A PORTATA DI CLICK** E RESTARE SEMPRE AGGIORNATO SULL'ELETTRONICA EMBEDDED, I MICROCONTROLLORI E L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA



 Elettronica Open Source

# + 150.000

REGISTERED USERS

+ 80.000 AVERAGE MONTHLY PAGEVIEWS

+ 500.000 2025 ANNUAL VISITORS

THE BIGGEST  
**EMBEDDED  
COMMUNITY**  
IN ITALY

SOCIAL CONNECTIONS

 + 85.000

 + 30.000

## CATEGORIES

PROFESSIONALS

**53 %**

ACADEMICS/STUDENTS

**25 %**

MAKERS/HOBBYISTS

**22 %**

