

### **INTRODUZIONE**

Presentiamo lo studio di realizzazione di una scheda elettronica, come risultato finale del corso di Progettazione di Sistemi Elettronici.

L'obbiettivo è applicare le conoscenze acquisite cimentandosi nella progettazione di una scheda elettronica.

Il processo è comprensivo di uno studio teorico, della progettazione dello schema elettrico e del passaggio alla scheda PCB con l'appropriata scelta dei componenti.

E' stato richiesto lo studio di un **filtro passa basso** per applicazioni generiche.

Non proporremo una sola soluzione, ma analizzeremo vari circuiti partendo dai più semplici fino a raggiungere le versioni più performanti e complesse.

#### Possiamo dividere il lavoro in 3 fasi:

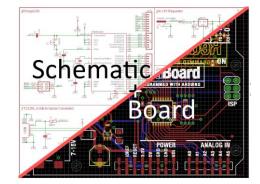
# **Fase 1 Progettazione teorica**

- Progettazione circuito adatto allo scopo
- Scelta componentie relativi valori su base teorica
- Simulazioni software per verificare i comportamenti

# 

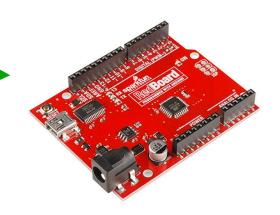
#### Fase 2 Schema & PCB

- Progettazione circuito stampato tramite CAD
- Scelta componenti in funzione delle caratteristiche fisiche e dimensioni
- Progettazione Board e adattamento



## **Fase 3 Produzione**

- Scelta dei materiali e delle specifiche di board e piste
- Realizzazione della scheda (in proprio o commissionata a terzi)



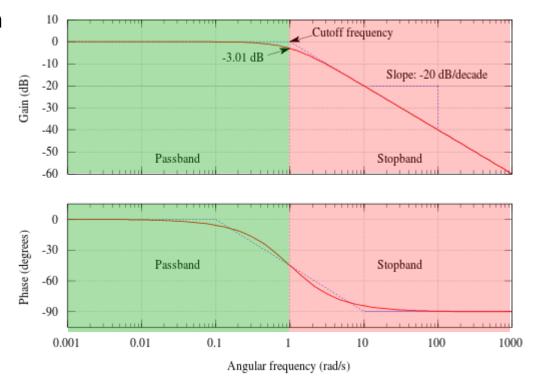
# Capiamo cos'è un filtro passa basso...

Un **filtro passa basso** è un tipo di filtro che permette il passaggio delle frequenze che si trovano al di sotto di un determinato valore, detto **frequenza di cutoff**.

L'azione di filtraggio o attenuazione delle alte frequenze non può essere netta, ma più o meno marcata a seconda della pendenza della retta che delimita la sezione di banda passante.

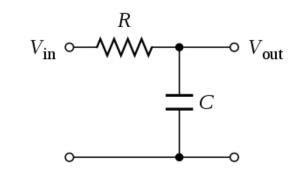
La pendenza di questa retta individua un parametro fondamentale per i filtri, ovvero l'**ordine**.

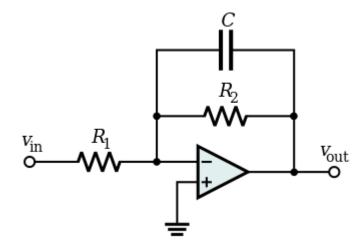
La frequenza di taglio è influenzata solo dai valori dei componenti, mentre l'ordine è determinato dalla tipologia di circuito, più complessa per ordini più grandi.



Esistono numerose soluzioni per realizzare un filtro. Una prima divisione si può fare tra filtri **attivi** e **passivi**.

- passivi non richiedono alcuna alimentazione, semplice da realizzare. Offre maggior robustezza a sfavore di una maggior precisione.
- attivi hanno componenti che richiedono un'alimentazione e sono in grado di apportare un guadagno al segnale.
   Possiamo distinguere poi I filtri attivi a seconda del numero di stadi e del principio di funzionamento (Buttherworth, Bessel, Chebyschev)





Analizziamo il filtro LP nella sua realizzazione più semplice:

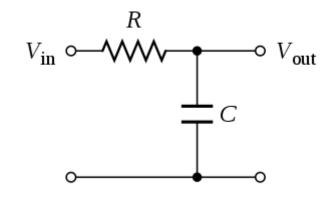
# **FILTRO PASSIVO (RC)**

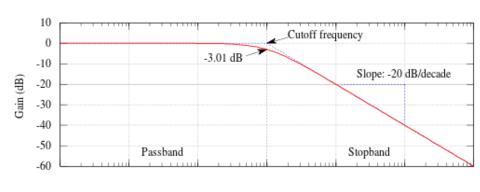
E' un filtro realizzato con soli due componenti disposti in serie, resistenza e condensatore. Non necessita di alimentazione. Introduce un polo con pendenza di 20 dB/Dec ( I Ordine).

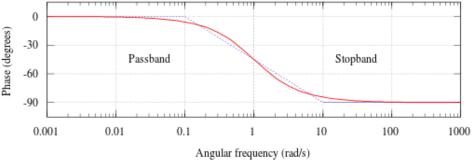
Analisi AC e calcolo teorico della **funzione di trasferimento**:

$$fdt \ G(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{\frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}} = \frac{1}{1 + sRC} = \frac{1}{1 + jwRC}$$

$$f_t = \frac{1}{2\pi RC}$$







## SPECIFICHE RICHIESTE

E' stato richiesto di realizzare un filtro passa basso attivo con:

■ **Guadagno** in banda passante 10 [ +20 dB ]





• Frequenza di taglio 10 KHz

Per soddisfare le richieste è necessario un

#### **FILTRO ATTIVO del I ORDINE**

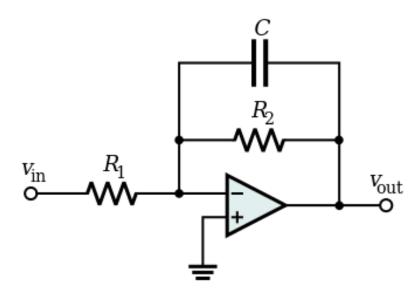
realizzato con un Amplificatore in configurazione invertente ed un condensatore in parallelo sulla retroazione (filtro di Butterworth).

Facciamo un'analisi teorica per comprenderne il funzionamento:

$$fdt \ G(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + sR_2C}$$

$$f_t = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Guadagno 
$$G(0) = -\frac{R_2}{R_1}$$



#### FILTRO ATTIVO II ORDINE

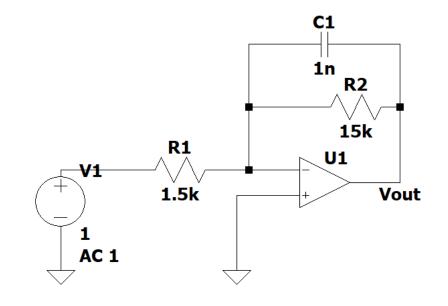
## **Analisi con OP amp ideale**

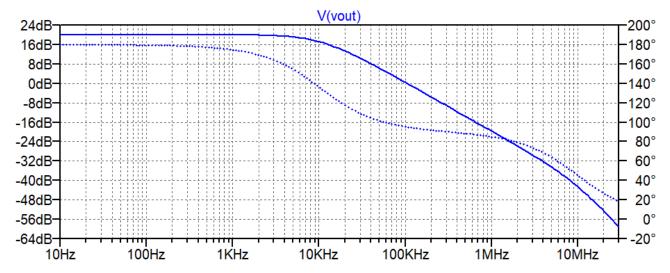
Scelti i valori di R1 R2 e C1 eseguiamo la simulazione utilizzando un amplificatore operazionale ideale.

Il risultato mostra:

- Guadagno in banda passante 10 [ +20 dB ]
- Frequenza di taglio intorno a 10 KHz
- Pendenza di -20 dB/dec (1° Ordine)
- Sfasamento -45° a 10 KHz







# **Analisi con OP amp reale AD746**

Eseguiamo la simulazione sostituendo l'amplificatore operazione con un <u>AD746</u>.

Il diagramma di Bode del modulo è pressochè identico al precedente, ma con comportamenti anomali dopo i 2MHz.

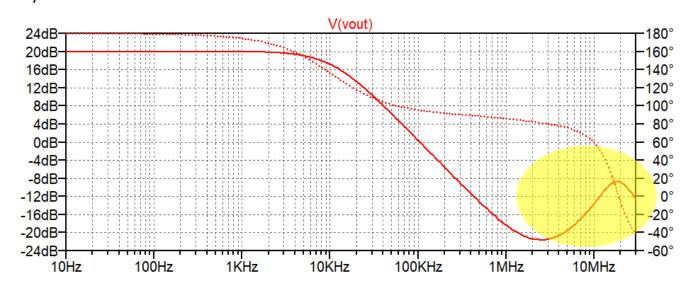
Il fatto è dovuto alla non idealità della caratteristica Banda-guadagno, che teoricamente sarebbe infinita. Come mostra il datasheet essa è invece limitata,

causando un comportamento non ideale.

Di conseguenza si riscontrano difetti anche sulla fase.

Uspice®

FEATURES
AC PERFORMANCE
500 ns Settling to 0.01% for 10 V Step
75 V/μs Slew Rate
0.0001% Total Harmonic Distortion (THD)
13 MHz Gain Bandwidth
Internal Compensation for Gains of +2 or Greater



#### Filtro attivo a due stadi

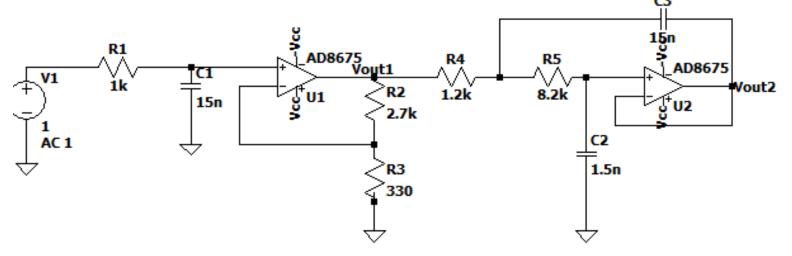


Vogliamo realizzare un filtro ancora più preciso.

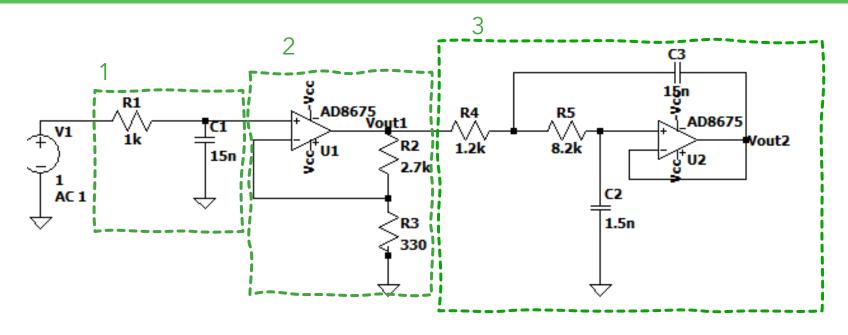
Utilizzando lo specifico <u>ToolAnalog</u> di progettazione filtri abbiamo creato un progetto per un filtro che vada oltre le specifiche richieste. Manteniamo invariato il valore della frequenza di taglio ed il guadagno in banda passante, ma incrementiamo l'ordine del filtro.

Il tool permette di scegliere i componenti in funzione di:

- Risparmio di corrente
- Massima precisione



# **Analisi circuitale**



Scomponiamo il circuito apparentemente complesso in 3 parti:

1. Filtro passivo RC ft=10,

ft=10,610 kHz Primo polo

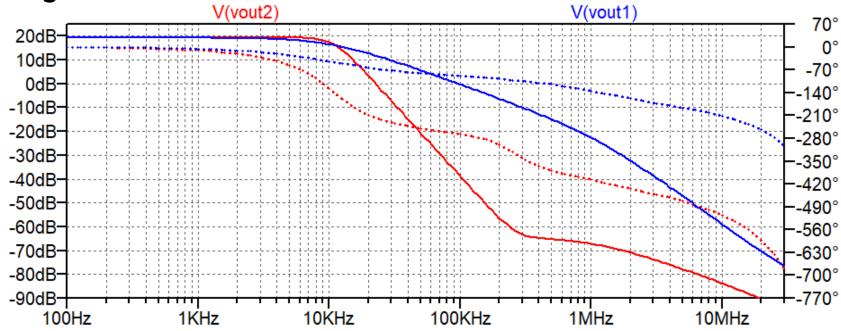
2. 1 Stadio (Non invertente)

G=+19,25 dB Buffer + Guadagno

3. 2 Stadio (Sallen Key)

ft=10,696 kHz Doppio polo

## Analisi AC - Diagramma di Bode



#### Uscita 1 Stadio

1 polo in 10kHz e guadagno di un fattore 10. Pendenza quasi costante.

#### Uscita 2 Stadio

All'azione del primo stadio si aggiungono due poli che determinano una pendenza di -60 dB/dec. Si individua poi un cambio di pendenza intorno a 120 kHz Abbiamo poi deciso di andare ancora più a fondo e cercare un progetto di filtro ancora più performante.

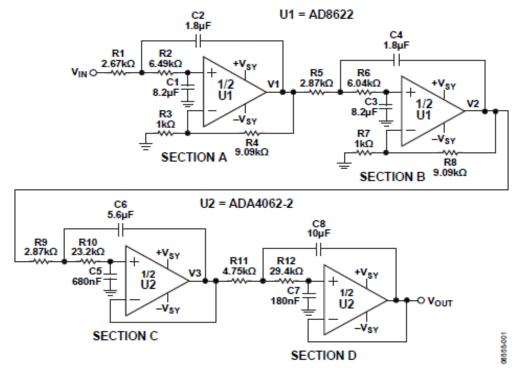
Abbiamo deciso di realizzare un **filtro attivo del 8° Ordine**, prendendo spunto dal doc <u>AN-1584</u>.

Il filtro è realizzato con 4 stadi di amplificazione/filtraggio mediante altrettanti amplificatori operazionali. Un AD8622 (low noise) per i primi due stadi, ed un ADA4062 (low power) per il 3° e 4° stadio.

I valori sono scelti per avere un guadagno di +40dB in banda passante e una pendenza di -160dB/Dec dopo 10 Hz.

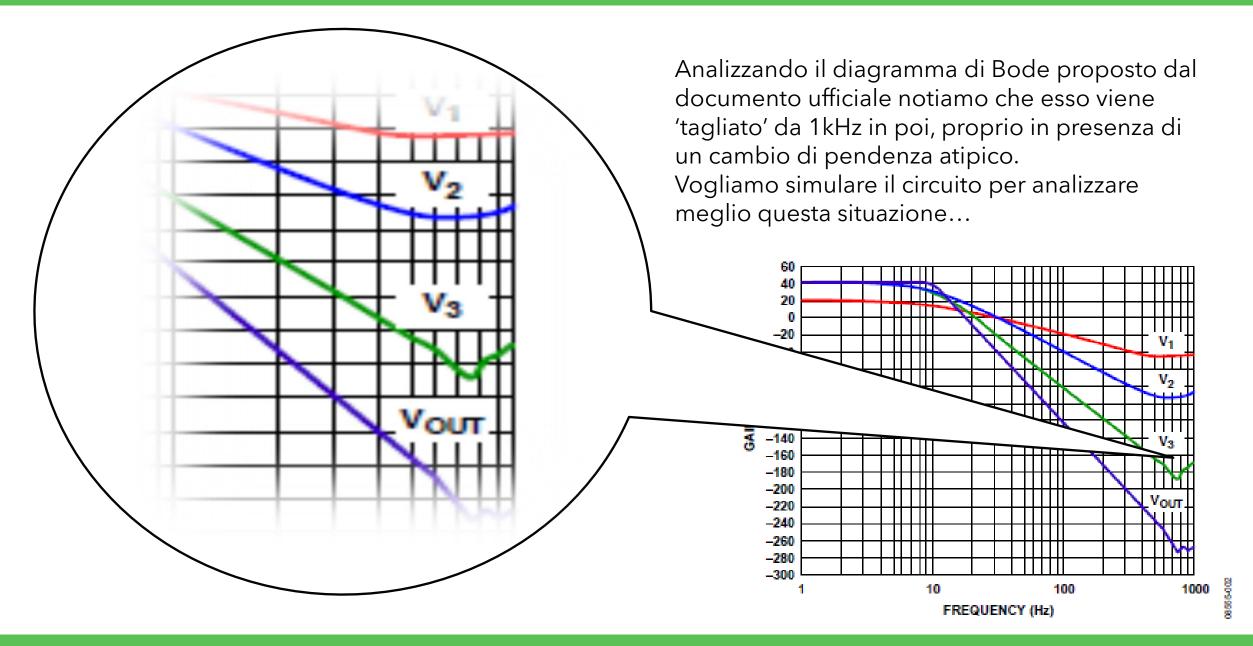
L'uso combinato dei due opAmp lo rende ideale per applicazioni di precisione (es. antiAlias).

Eight-Pole, Active Low-Pass Filter Optimized for Precision, Low Noise, and High Gain Using the AD8622 and the ADA4062-2 Op Amps



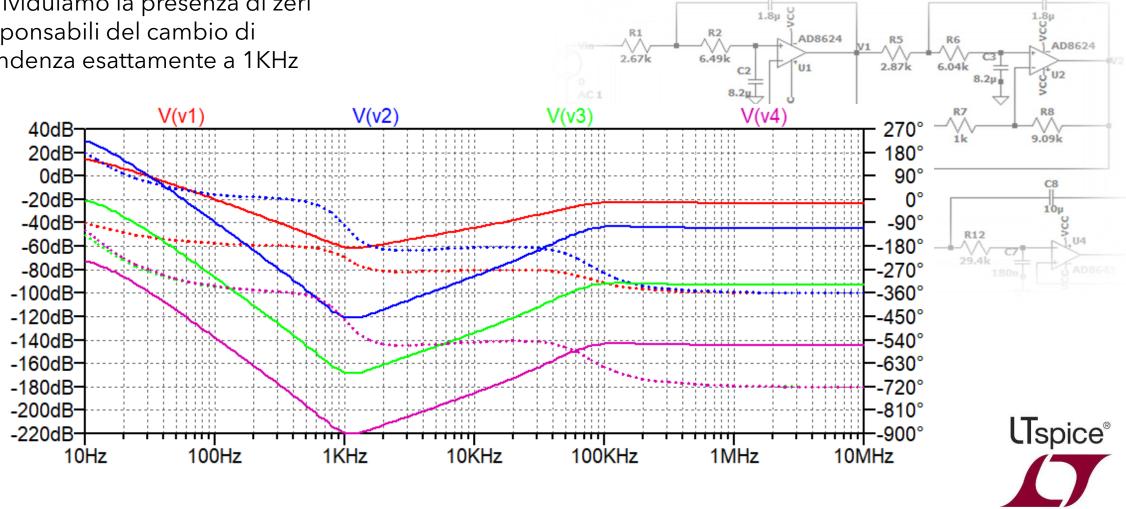
Eight-Pole Sallen-Key Butterworth Low-Pass Filter Using the AD8622 and ADA4062-2, Vsy = ±15 V (Decoupling Not Shown)

## FILTRO VIII ORDINE



#### Simulazione filtro VIII Ordine

Individuiamo la presenza di zeri responsabili del cambio di pendenza esattamente a 1KHz



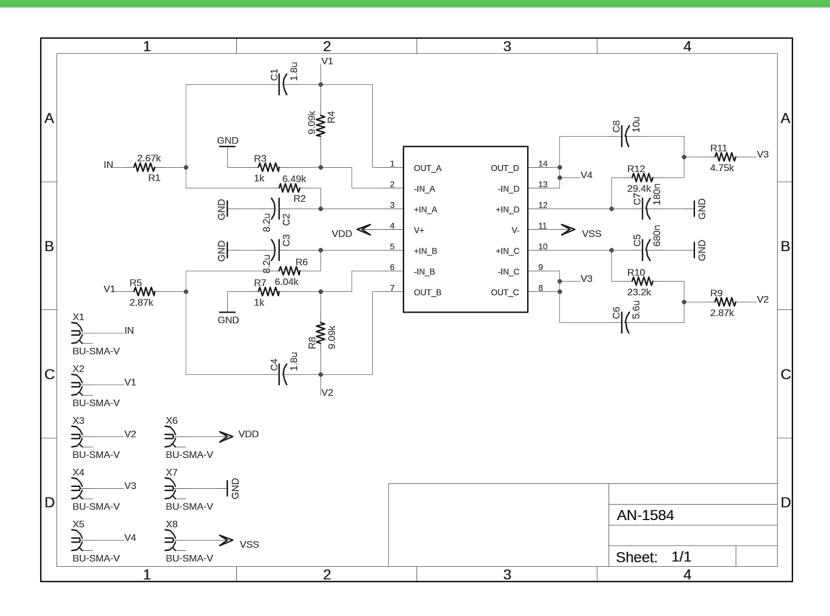
## REALIZZAZIONE Schematico

## **Schematico**

Scegliamo di proseguire il processo di progettazione con quest'ultimo circuito.

Procediamo quindi a disegnare lo schematico con il software Eagle.

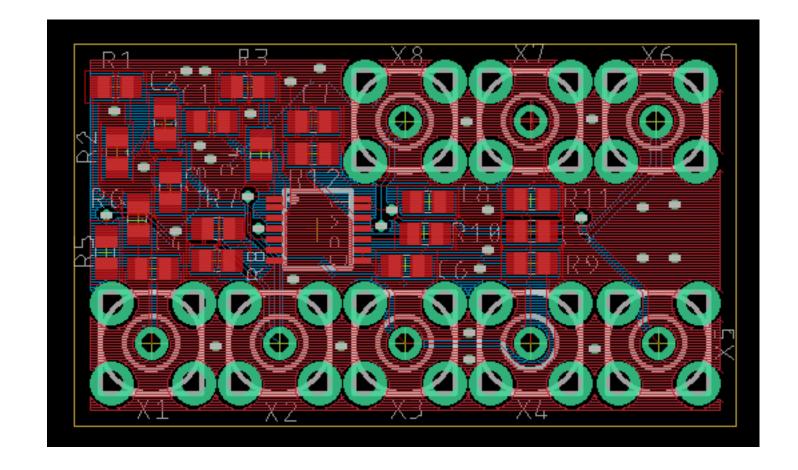




#### **PCB**

Fase successiva. Lo 'sbroglio' del PCB. Ovviamente realizzato in automatico dal software.

Optiamo per la soluzione a componenti SMD per minimizzare l'ingombro della scheda.





#### Modello 3D

Utilizzando il tool integrato Fusion, viene generato un modello 3D della scheda utile a capire le dimensioni reali.

Tramite gli strumenti appositi si possono ottenere misure personalizzate lineari, angolari e di superficie per verificare l'eventuale compatibilità con il relativo alloggiamento.

