

# Amplificatore operazionale

Prof. Hajj Ali

<https://digilander.libero.it/alihajj/>

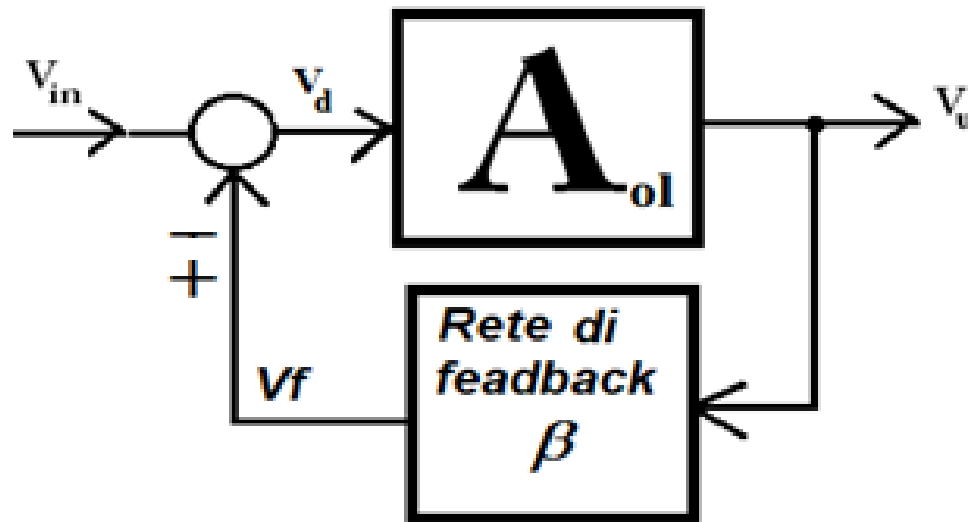
Per info

[hajjali2000@yahoo.it](mailto:hajjali2000@yahoo.it)

# Retroazione

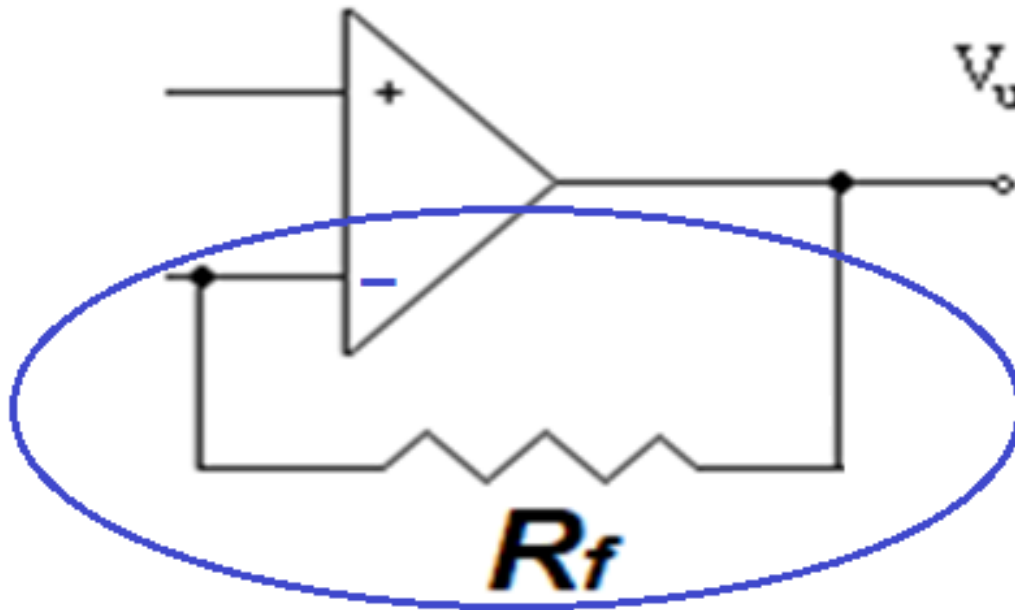
Di solito l'amplificatore operazionale viene utilizzato in configurazione a **retroazione**:

il segnale in uscita all'amplificatore è riportato all'ingresso mediante una **rete di retroazione** (**feedback**) costituita da componenti passivi (resistori, condensatori, induttori ...).



# Retroazione

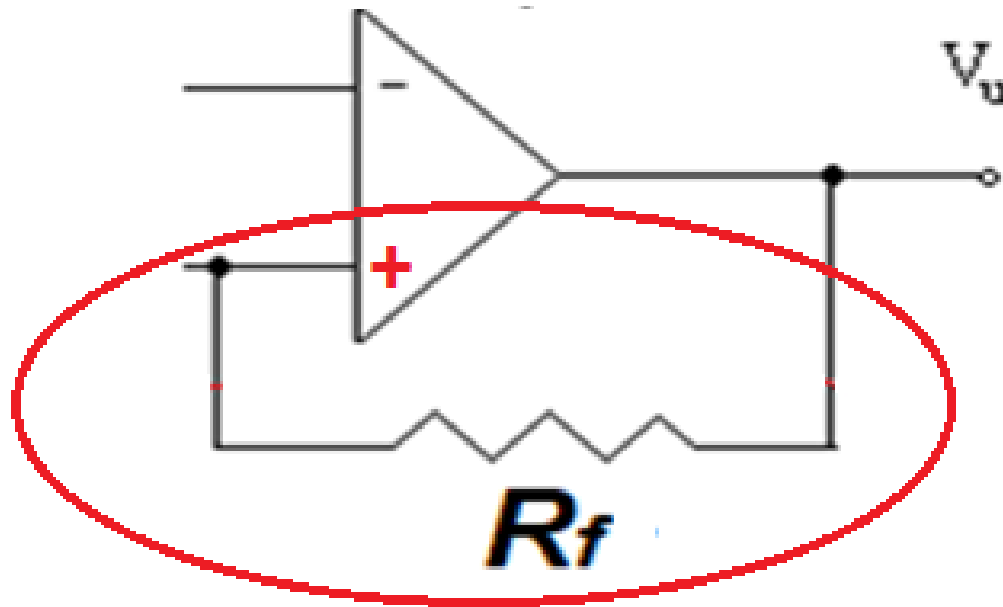
- Se il **segnale di uscita** è riportato **all'ingresso invertente** si ha una **retroazione negativa**, questo collegamento viene utilizzato negli amplificatori



**collegamento di retroazione negativa**

# Retroazione

- Se il **segnale di uscita** è riportato **all'ingresso non invertente** si ha una **retroazione positiva**, questo collegamento viene utilizzato negli oscillatori rendendo il circuito instabile.



**collegamento di retroazione positiva**

# Retroazione negativa

**L'amplificatore operazionale** è un dispositivo molto versatile, con l'aggiunta di componenti esterni, mediante una con **retroazione negativa - feedback**, è possibile utilizzarlo come circuito:

- non invertente;
- invertente;
- Differenziale;
- sommatore;
- inseguitore di tensione;
- Convertitore corrente tensione e tensione corrente.

# Retroazione negativa - scopo

## Lo scopo della reazione negativa

1 - Di intervenire sul **guadagno** tramite una **resistenza di retroazione** (**feedback**), **abbassando** il valore dello stesso, **rispetto** alla configurazione **open loop**.

$V_i$ : segnale d'ingresso amplificatore reazionato.

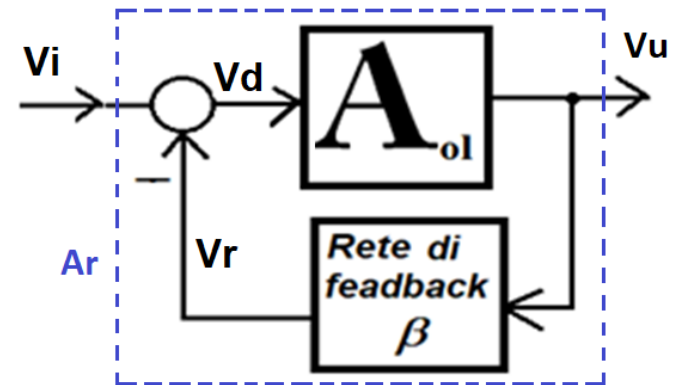
$V_d$ : segnale d'ingresso amplificatore open loop

$V_f$ : segnale di feedback

$A_{ol}$ : guadagno open loop

$\beta$ : rapporto di reazione

$A_r$ : fattore di amplificazione ad anello chiuso



## Calcoliamo la relazione tra $A_{ol}$ e $A_r$

$$V_d = V_i - V_r$$

$$A_{ol} = V_u / V_d$$

$$\beta = V_r / V_u$$

$$A_r = V_u / V_i$$

$$A_r = V_u / V_i = (A_{ol} \cdot V_d) / (V_d + V_r) = (A_{ol} \cdot V_d) / (V_d + \beta \cdot V_u) = (A_{ol} \cdot V_d) / (V_d + \beta \cdot A_{ol} \cdot V_d)$$

$$A_r = (A_{ol} \cdot \cancel{V_d}) / (\cancel{V_d} + \beta \cdot A_{ol} \cdot \cancel{V_d}) \Rightarrow A_r = (A_{ol}) / (1 + \beta \cdot A_{ol})$$

# Retroazione negativa - scopo

Calcoliamo la relazione tra  $A_{ol}$  e  $A_r$

$$A_r = (A_{ol}) / (1 + \beta \cdot A_{ol})$$

$A_{ol} \rightarrow$  idealmente infinito

$$\beta \cdot A_{ol} \gg 1 \rightarrow (1 + \beta \cdot A_{ol}) = \beta \cdot A_{ol} \Rightarrow A_r = (A_{ol}) / (\beta \cdot A_{ol})$$

$$A_r = 1 / \beta$$

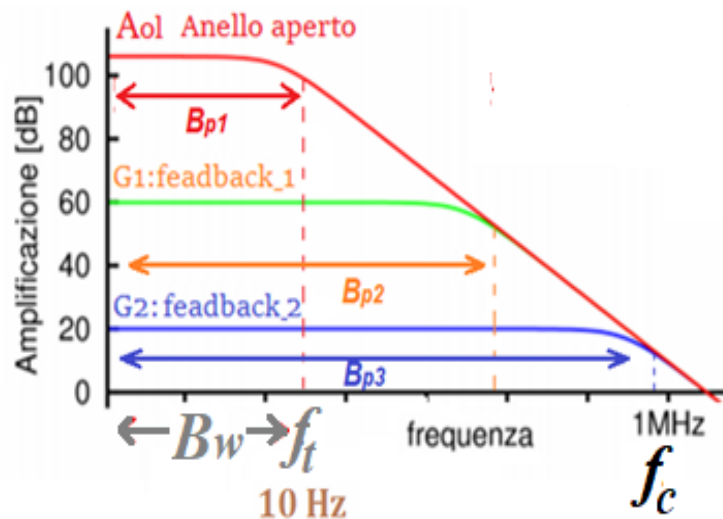
Il guadagno ad anello chiuso ( $A_r < A_{ol}$ ) **dipende** solo dal blocco di **reazione** ( $\beta$ ), che è generalmente costituito da elementi passivi, quindi stabile e facile da controllare.

# Retroazione negativa - scopo

## 2- Allargare la banda passante delle frequenze

la reazione negativa riduce l'amplificazione e questa riduzione comporta un allargamento della banda passante (vedi figura)

Il prodotto guadagno-larghezza di banda **GBP** (o **GBW**) (**Gain Bandwidth Product**) è un parametro costante e pari al prodotto tra il guadagno e la corrispondente larghezza di banda **BW**.



$$GBW = A_{ol} \cdot B_W = A_{ol} \cdot f_t = 10^5 \cdot 10 = 10^6 \text{ Hz} = \text{cost}$$

il valore del  $GBP$  coincide con la frequenza di transizione  $f_c = 10^6 \text{ Hz}$  ( $GBP = f_c \cdot 1$ ) a cui il guadagno è unitario (0 dB).



# Retroazione negativa

**3- migliora la stabilità** del dispositivo (evitando delle auto-oscillazioni causati dai disturbi/rumori, da invecchiamento o variazione di temperatura ).

La variazione relative al fattore di amplificazione  $A_{ol}$  dovute a invecchiamento dei dispositivi attivi o passivi o a causa di variazione di temperatura, vengono ridotte di  $|1 + \beta \cdot A_{ol}|$  nella stessa misura anche l'amplificazione ad anello chiuso

$$A_r = (A_{ol}) / (1 + \beta \cdot A_{ol})$$

$$\beta \cdot A_{ol} \gg 1 \rightarrow (1 + \beta \cdot A_{ol}) = \beta \cdot A_{ol}$$

$$A_r = 1 / \beta$$

La  $A_r$  è indipendente di  $A_{ol}$  nei limite dell'approssimazione  $\beta \cdot A_{ol} \gg 1$  e dipende solo dal fattore di reazione

# I vantaggi della reazione negativa

I **vantaggi** dati dalla **reazione negativa** riguardano:

- **L'amplificazione (o guadagno)**, la quale:
  - risulta più **stabile** (insensibile alle variazioni dei parametri dell'AO e alle variazioni di temperatura e di alimentazione);
  - può essere **fissata** agendo sul valore di una sola resistenza, anziché riprogettare il circuito.
- **L'impedenza di ingresso**, che risulta aumentata e si può modificare, a seconda delle esigenze, agendo su un'unica resistenza.
- **Il rumore**, che risulta attenuato.
- **La banda passante**, che risulta aumentata.
- **La resistenza d'uscita**, che risulta diminuita.

**L'unico svantaggio**, rispetto all'assenza di reazione negativa, è una certa **diminuzione del guadagno**.