



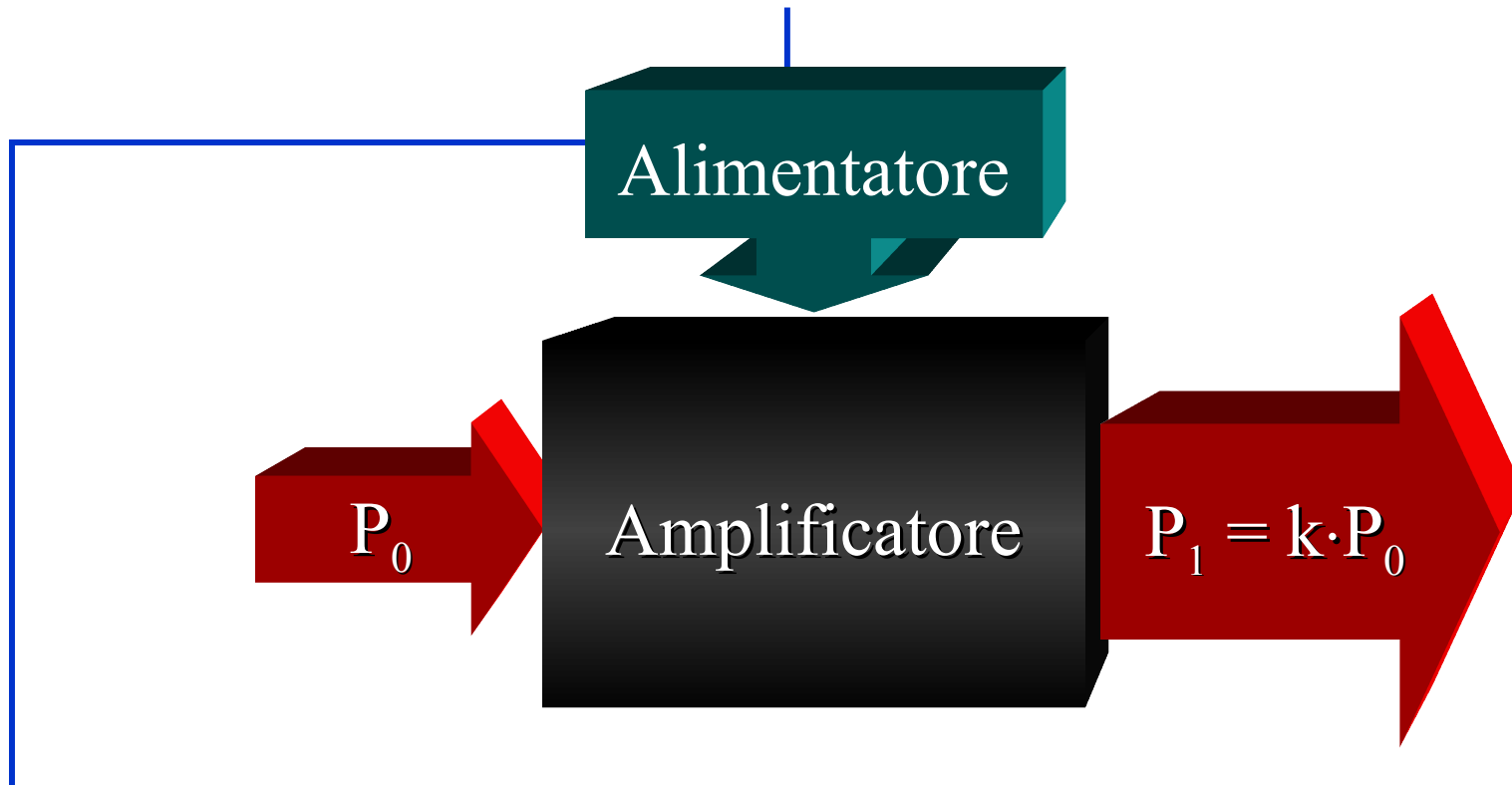
# Gli amplificatori

Enzo Gandolfi



# Amplificatore

Un amplificatore può essere visto come una scatola nera collegata ad un *alimentatore* che riceve un segnale in ingresso con potenza  $P_i$  e ne produce uno in uscita con potenza amplificata  $P_o$





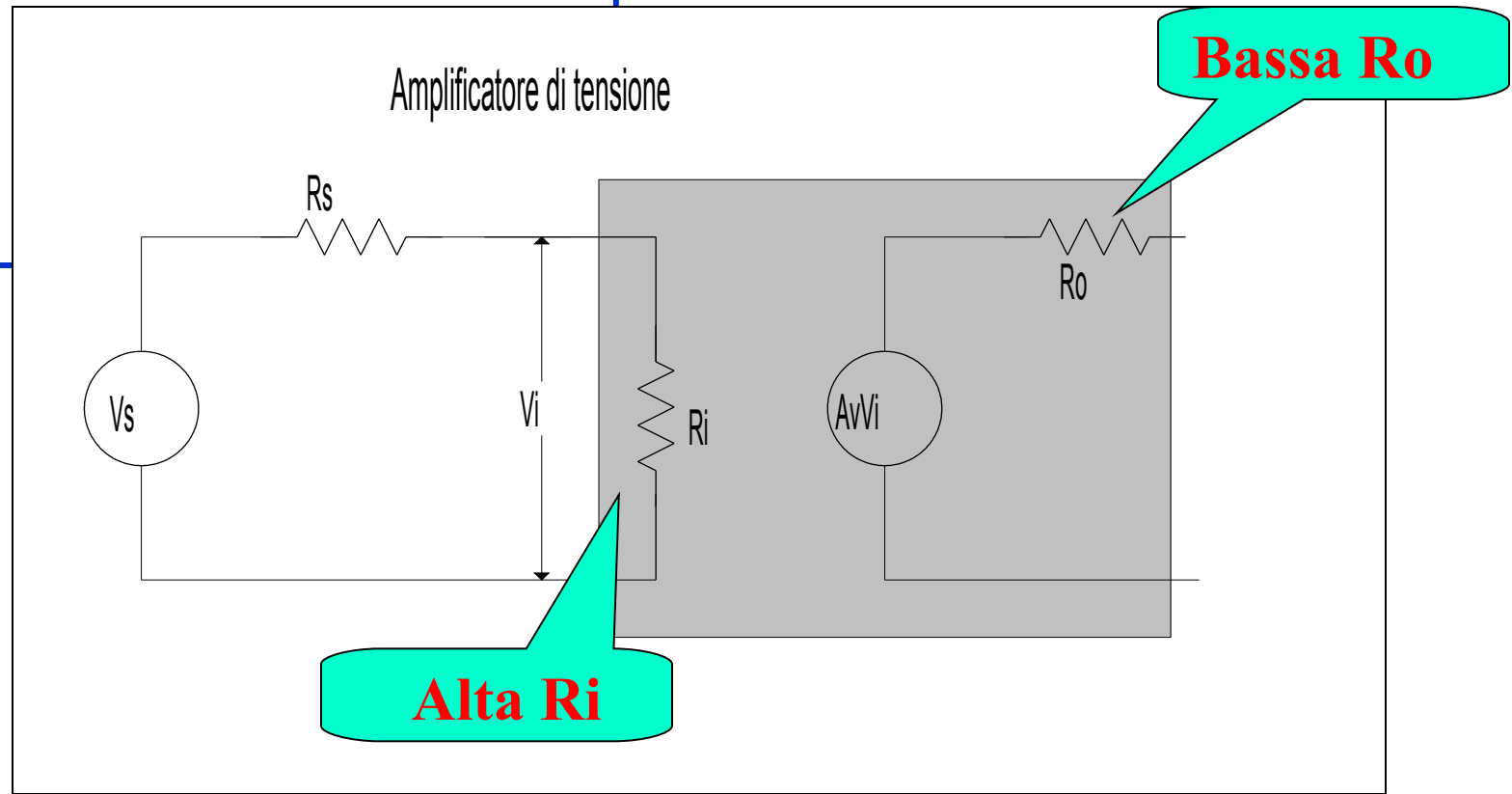
# Amplificatori

Gli amplificatori possono essere divisi in 4 categorie:

- Amplificatori di tensione
- Amplificatori di corrente
- Amplificatori a transresistenza
- Amplificatori a transconduttanza

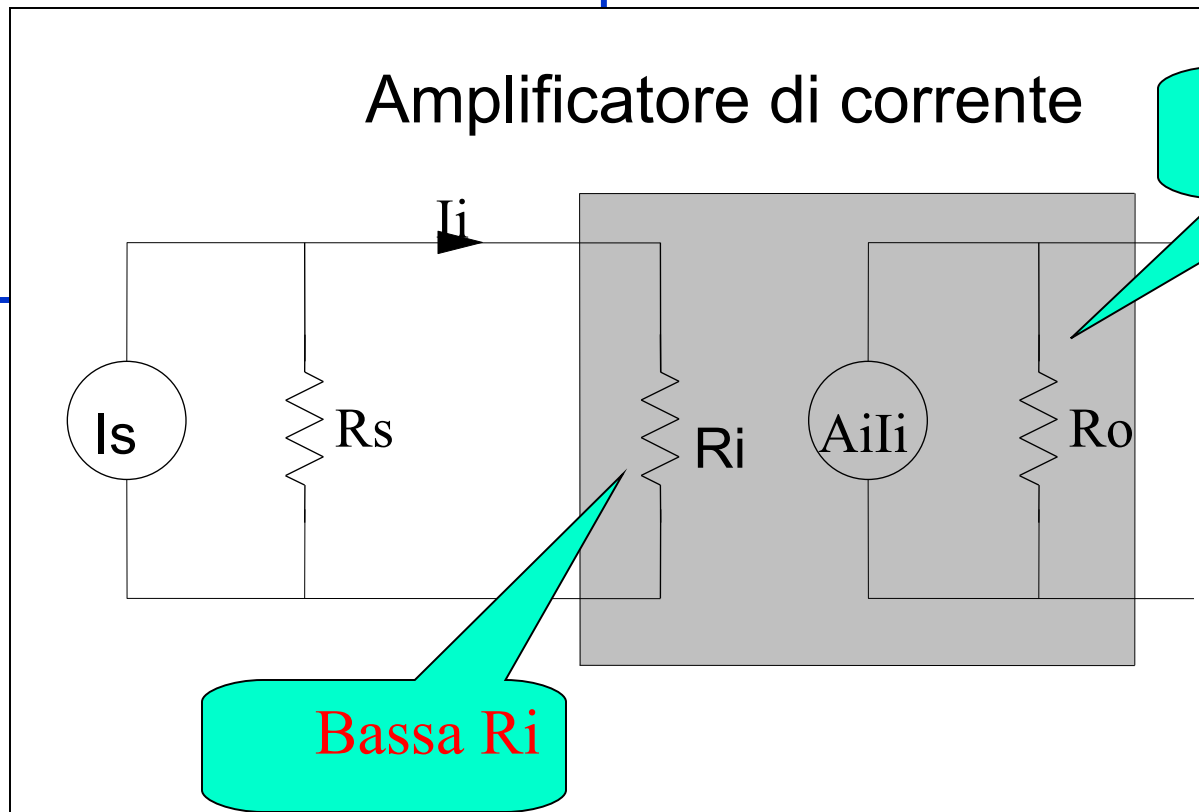


# Amplificatore di tensione





# Amplificatore di corrente

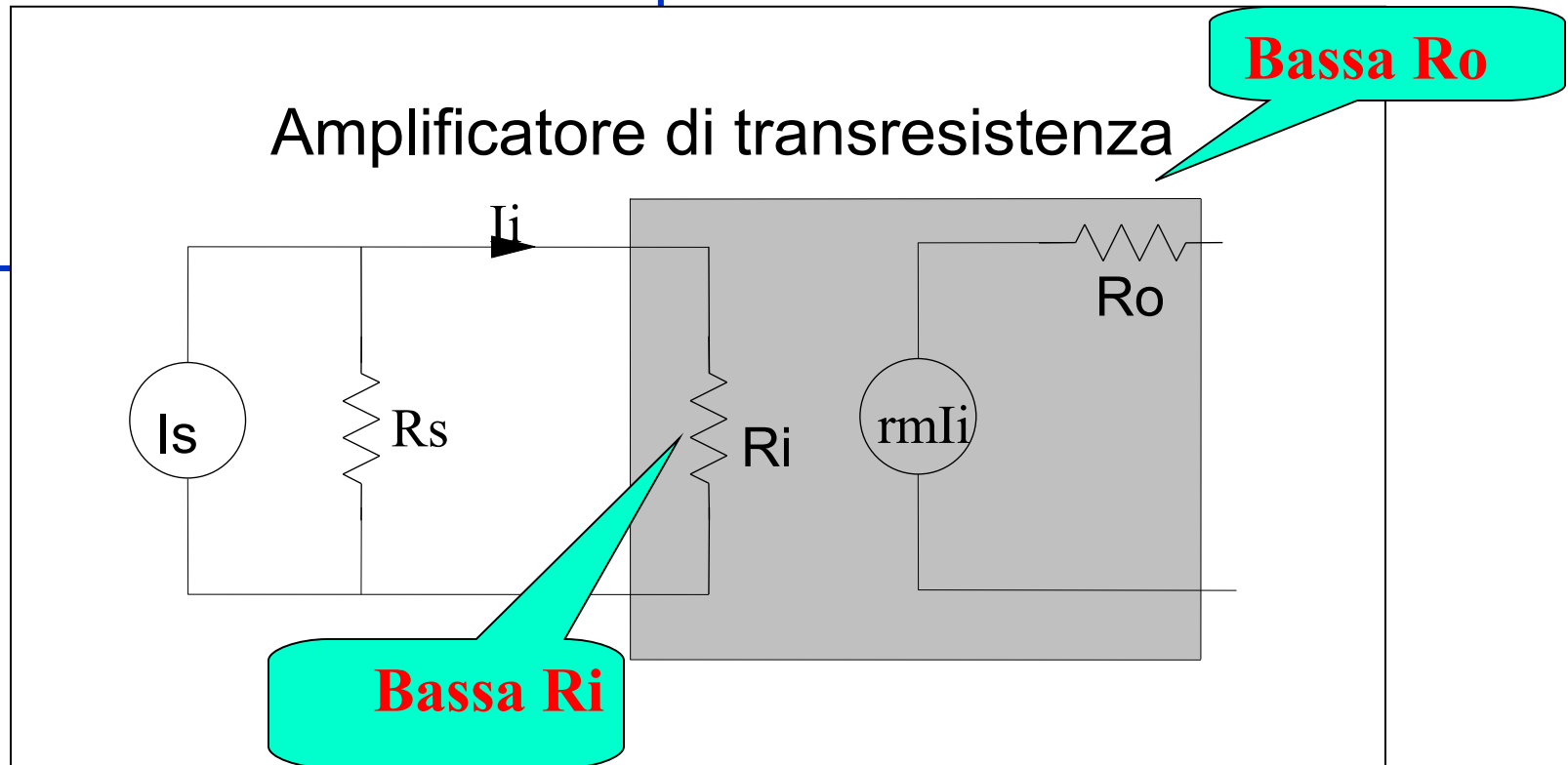


Alta  $R_o$

Bassa  $R_i$

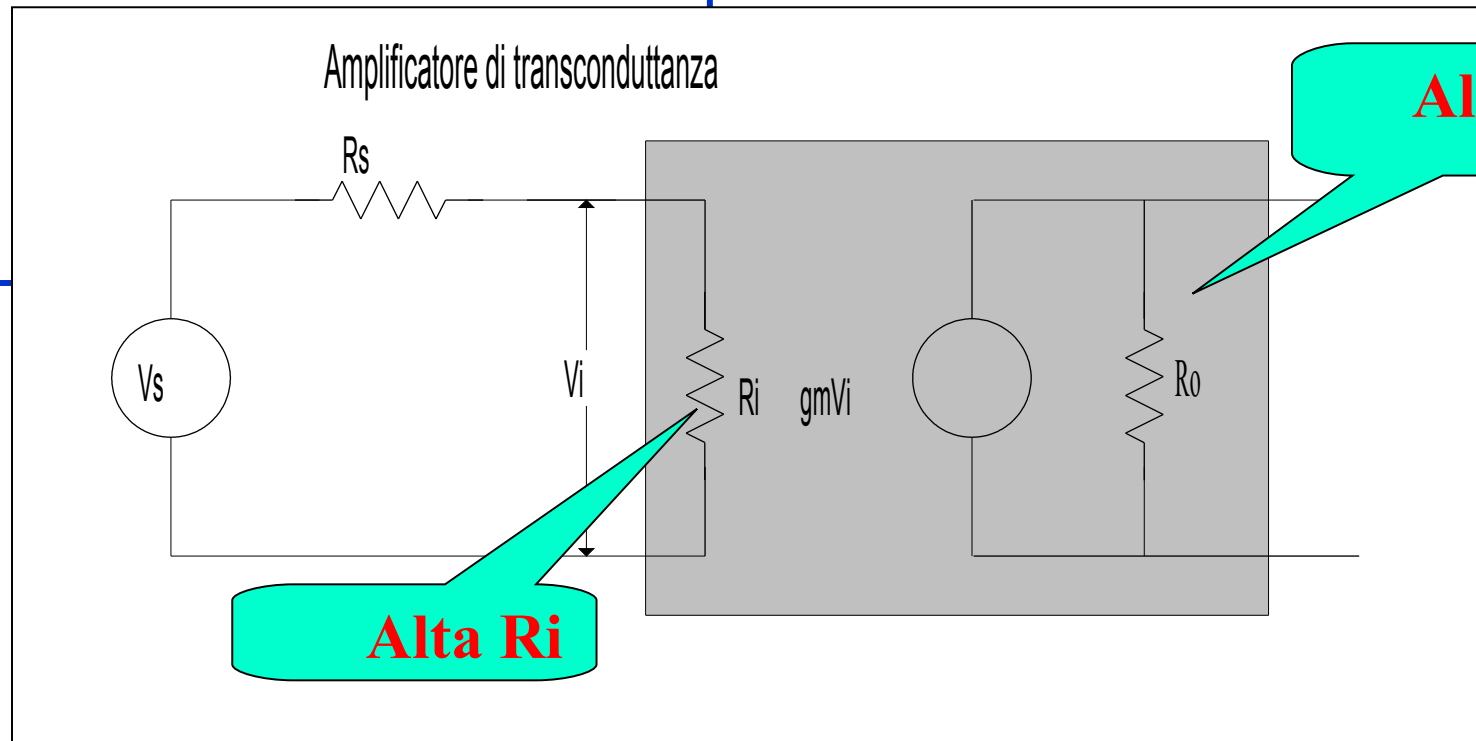


# Amplificatore di transresistenza





# Amplificatore a transconduttanza





# Guadagno di un amplificatore in funzione della frequenza

- Il guadagno di un amplificatore varia in funzione della frequenza del segnale di ingresso, e in prima approssimazione è esprimibile nel seguente modo:
- Per la parte ad alta frequenza:

$$A_f = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_h}}$$

- Per la parte a bassa frequenza:

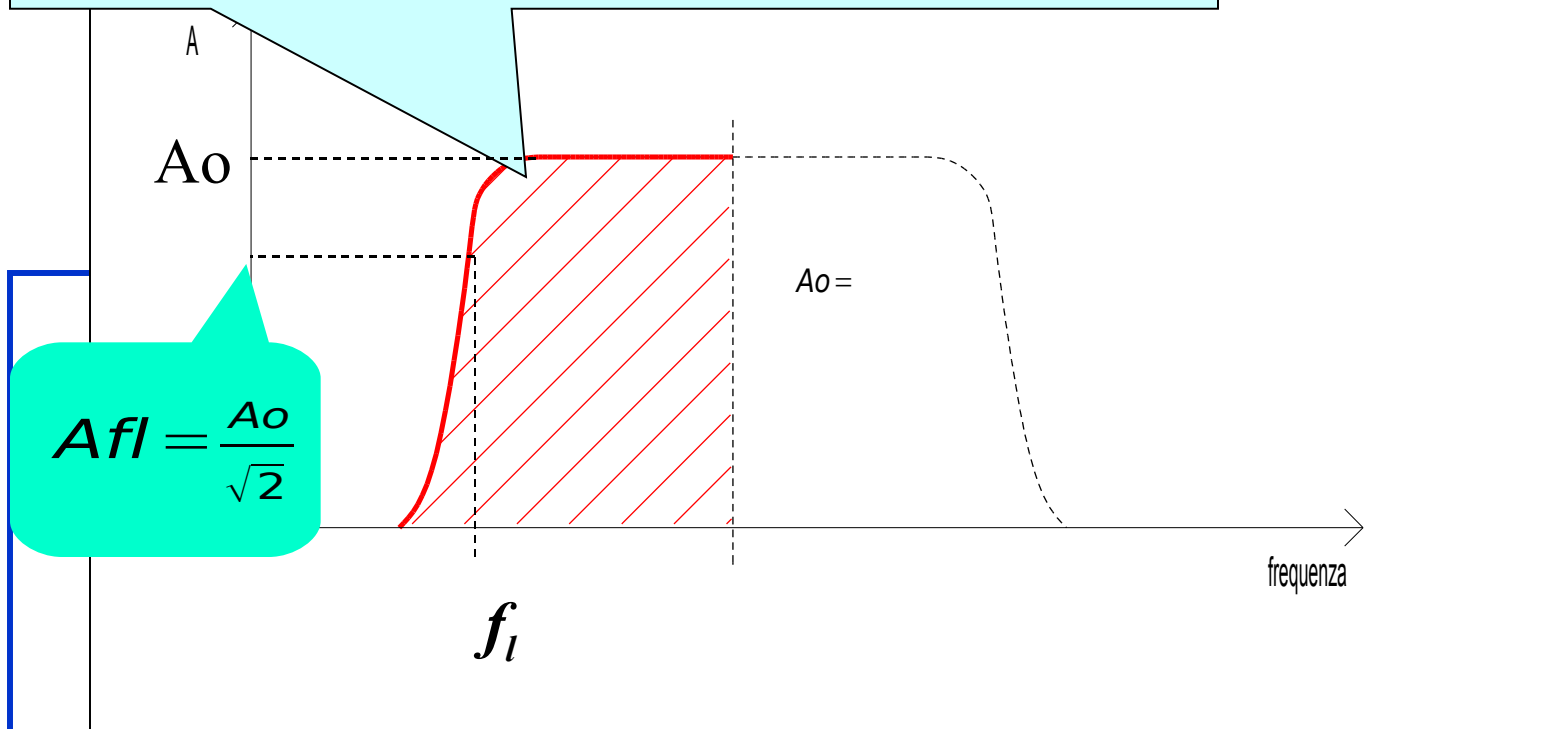
$$A_f = \frac{A_0}{1 + j \frac{f_l}{f}}$$





Per le Basse frequenze:

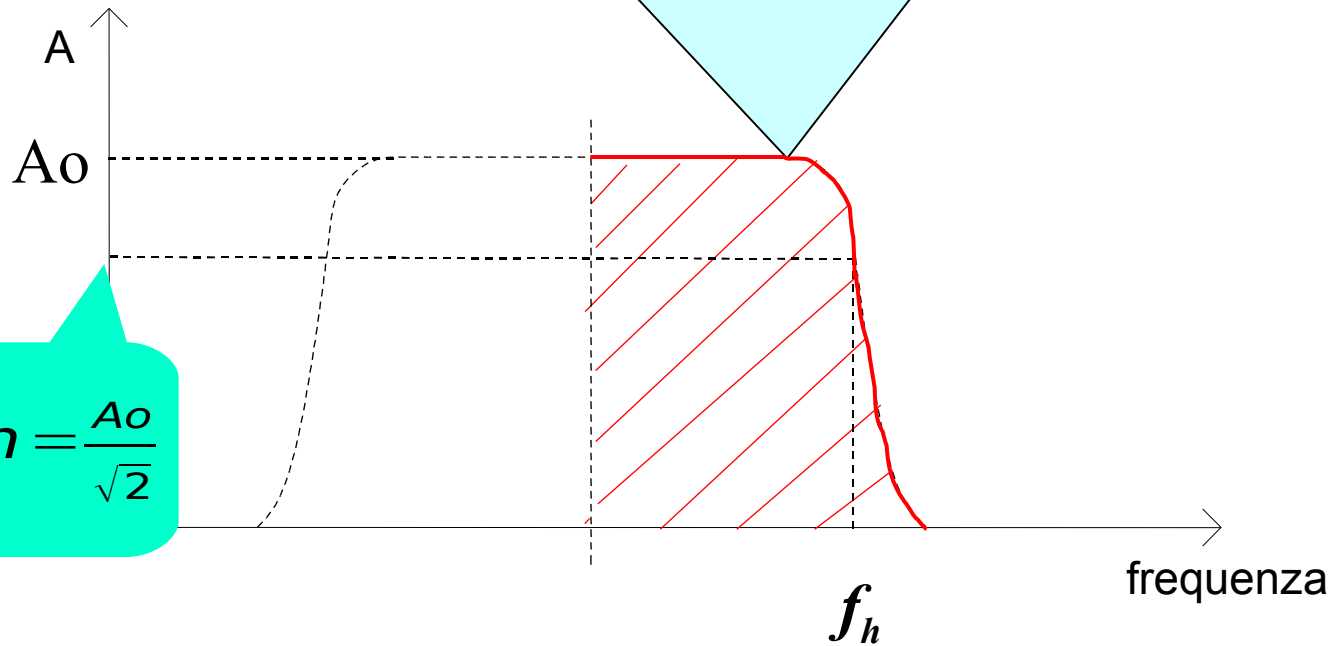
$$A_f = \frac{A_o}{1 + j \frac{f_l}{f}}$$





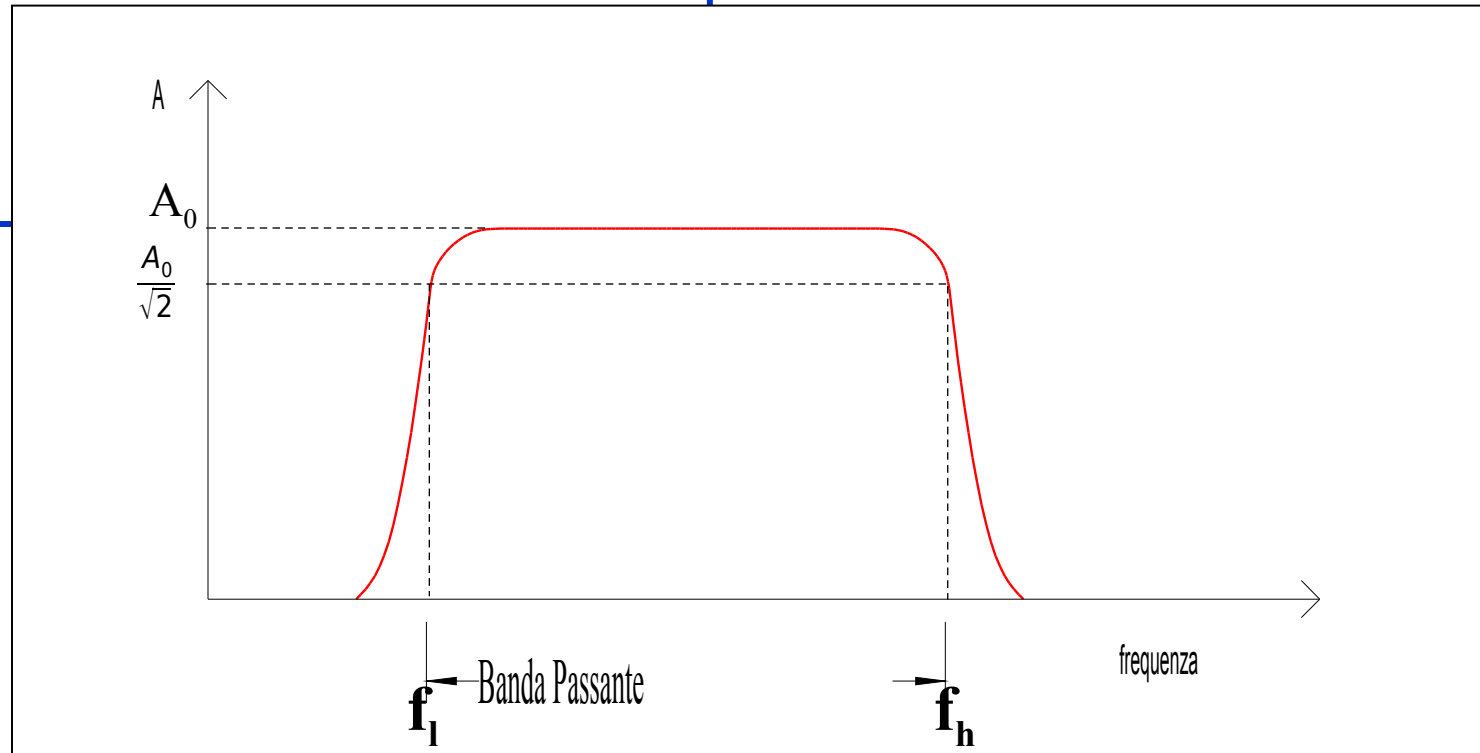
Per le Alte frequenze:

$$A_f = \frac{A_o}{1 + j \frac{f}{f_h}}$$



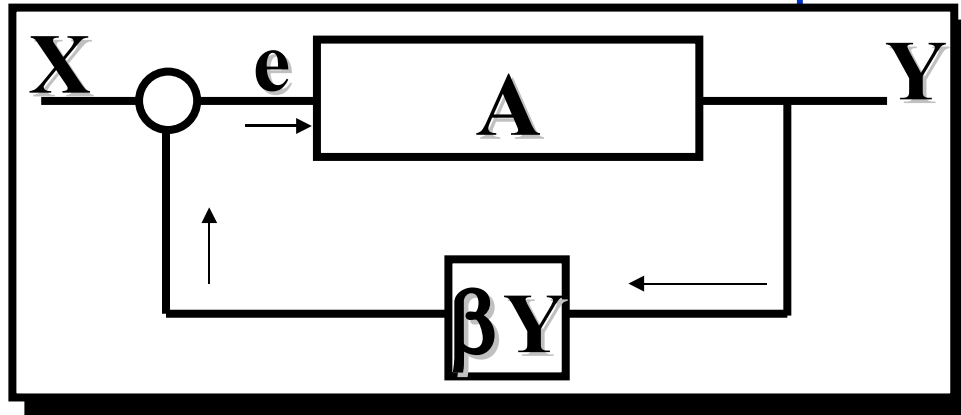


# Banda Passante





# La Controreazione



**La controreazione  
(reazione negativa)  
consiste nel portare (sottrarre)  
all'ingresso parte del segnale  
di uscita**

$$Y = Ae$$

$$e = X - \beta Y$$

$$Y = A(X - \beta Y)$$

$$Y = AX - A\beta Y$$

$$Y(1 + A\beta) = AX$$

$$Y = \frac{A}{1 + \beta A} X$$



# La Controreazione

Dalla precedente formula risulta che, il guadagno di un amplificatore controreazionato ( $A_r$ ) è:

$$A_r = \frac{A}{1 + \beta A}$$

Per valori di  $A$  molto grandi, si ottiene:

$$\lim_{A \rightarrow \infty} A_r = \frac{1}{\frac{1}{A} + \beta} = \frac{1}{\beta}$$



# Osservazione

*Controreazionando un amplificatore il suo guadagno diminuisce, infatti  $A_r < A$ .*

*Il guadagno  $A_r$ , se  $A$  è elevato, dipende essenzialmente da  $\beta$ .*

*Il guadagno di un amplificatore controreazionato sarà molto piu' stabile e controllabile poichè  $\beta$  dipende solo da componenti passivi.*



# Proprietà della controreazione

- Stabilizzazione del guadagno
- Modifica della risposta in frequenza quindi  
Riduzione della distorsione
- Modifica di  $R_i$  e  $R_o$
- (Stabilizzazione del punto di lavoro)



# Stabilizzazione del guadagno

**Da**  $A_r = \frac{A}{1 + \beta A}$  **otteniamo:**

$$\frac{\partial A_r}{\partial A} = \frac{1 + \beta A - \beta A}{(1 + \beta A)^2} = \frac{1}{(1 + \beta A)^2}$$



$$\% A_r = \frac{A}{1 + \beta A} \cdot \frac{1}{1 + \beta A} \cdot \frac{\% A}{A} \Rightarrow \frac{\% A_r}{A_r} = \frac{1}{1 + \beta A} \cdot \frac{\% A}{A}$$





# Osservazione

*Se un amplificatore viene controreazionato le variazioni del suo guadagno vengono attenuate di un fattore pari a  $(1 + \beta A)$ .*

*Ciò ci consente di avere amplificatori meno sensibili a fattori esterni.*



# Controreazione e banda passante

Il guadagno di un amplificatore al variare della frequenza, viene espresso dalle seguenti formule:

Per la parte ad alta frequenza

$$A_f = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_h}}$$

Per la parte a bassa frequenza

$$A_f = \frac{A_0}{1 + j \frac{f_l}{f}}$$



# Controreazione e banda passante

Nel caso di amplificatori con controreazione si ha:

$$A_{fr} = \frac{A_f}{1 + \beta A_f} \quad \text{Quindi per le alte frequenze:}$$

$$A_{fr} = \frac{\frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_h}}}{1 + \beta \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_h}}} = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_h}} \cdot \frac{1 + j \frac{f}{f_h}}{1 + j \frac{f}{f_h} + \beta A_0}$$



# Controreazione e banda passante

$$A_{fr} = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_h} + \beta A_0} = \frac{A_0}{1 + \beta A_0} \cdot \frac{1 + \beta A_0}{1 + j \frac{f}{f_h} \beta A_0}$$

$$= \frac{A_0}{1 + \beta A_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{f}{f_h (1 + \beta A_0)}} = \frac{A_{or}}{1 + \frac{f}{f_{hr}}}$$

Guadagno  
controreazionato  
o a centro banda

Dove  $f_{hr} = f_h (1 + \beta A_0)$



# Controreazione e banda passante

L'amplificazione,  $A_{fr}$ , di un amplificatore controreazionato, per le alte frequenze può essere espresso come:

$$A_{fr} = \frac{A_f}{1 + \frac{f}{f_{hr}}} \quad \text{dove} \quad f_{hr} = f_h(1 + \beta A_0)$$

Ragionando allo stesso modo, anche per le amplificazione dei segnali a bassa frequenza si otterrà:

$$A_{fr} = \frac{A_f}{1 + \frac{f_{lr}}{f}} \quad \text{dove} \quad f_{lr} = \frac{f_l}{(1 + \beta A_0)}$$



# Conclusioni

*La controreazione aumenta la banda passante di un amplificatore, infatti dalle precedenti relazione risulta:*

$$f_{hr} = f_h(1 + \beta A_0)$$

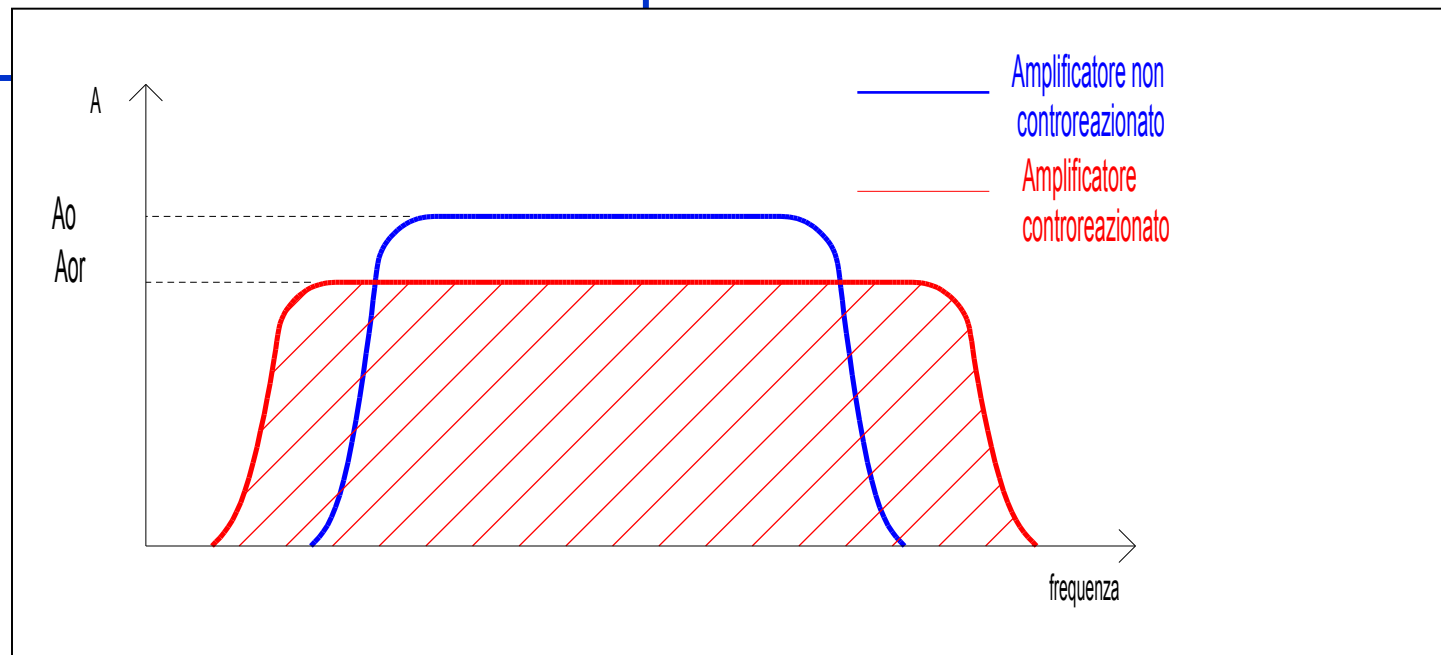
$$f_{lr} = f_l/(1 + \beta A_0)$$

*Ne segue che, un amplificatore controreazionato diminuisce la distorsione del segnale in ingresso.*



# Conclusioni

*Nell'amplificatore controreazionato l'aumento della banda passante coincide con una diminuzione dell'ampiezza dell'amplificazione, ma questo è un problema secondario, che può essere risolto mettendo più amplificatori in cascata.*

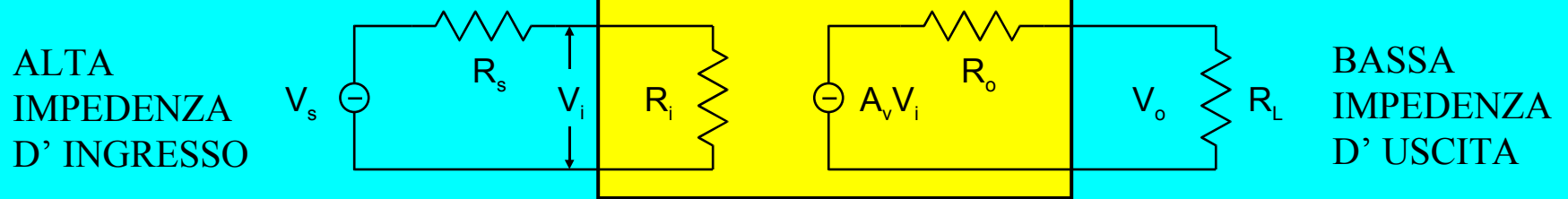




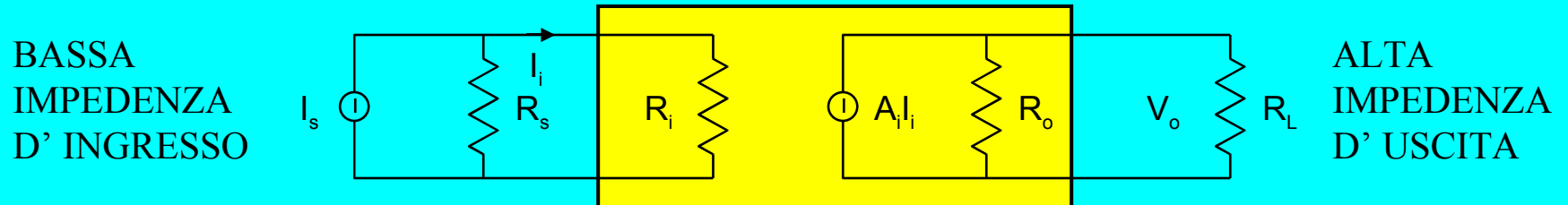
Alimentatore



Amplificatore di tensione



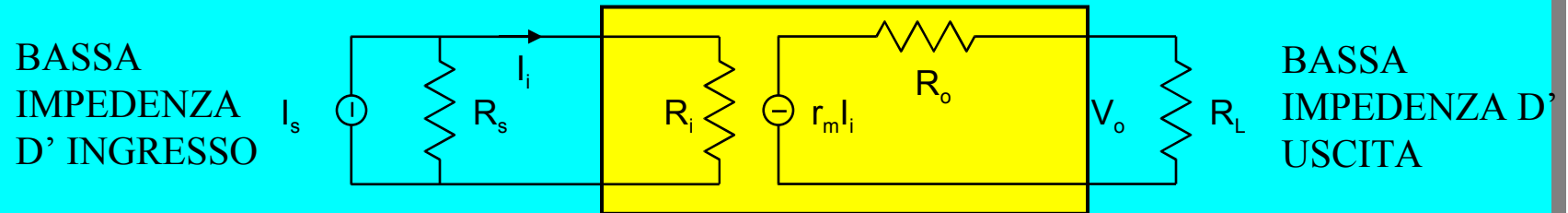
Amplificatore di corrente



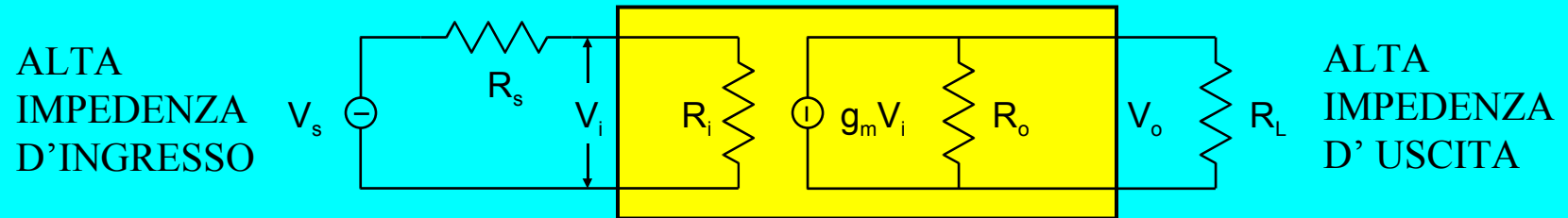




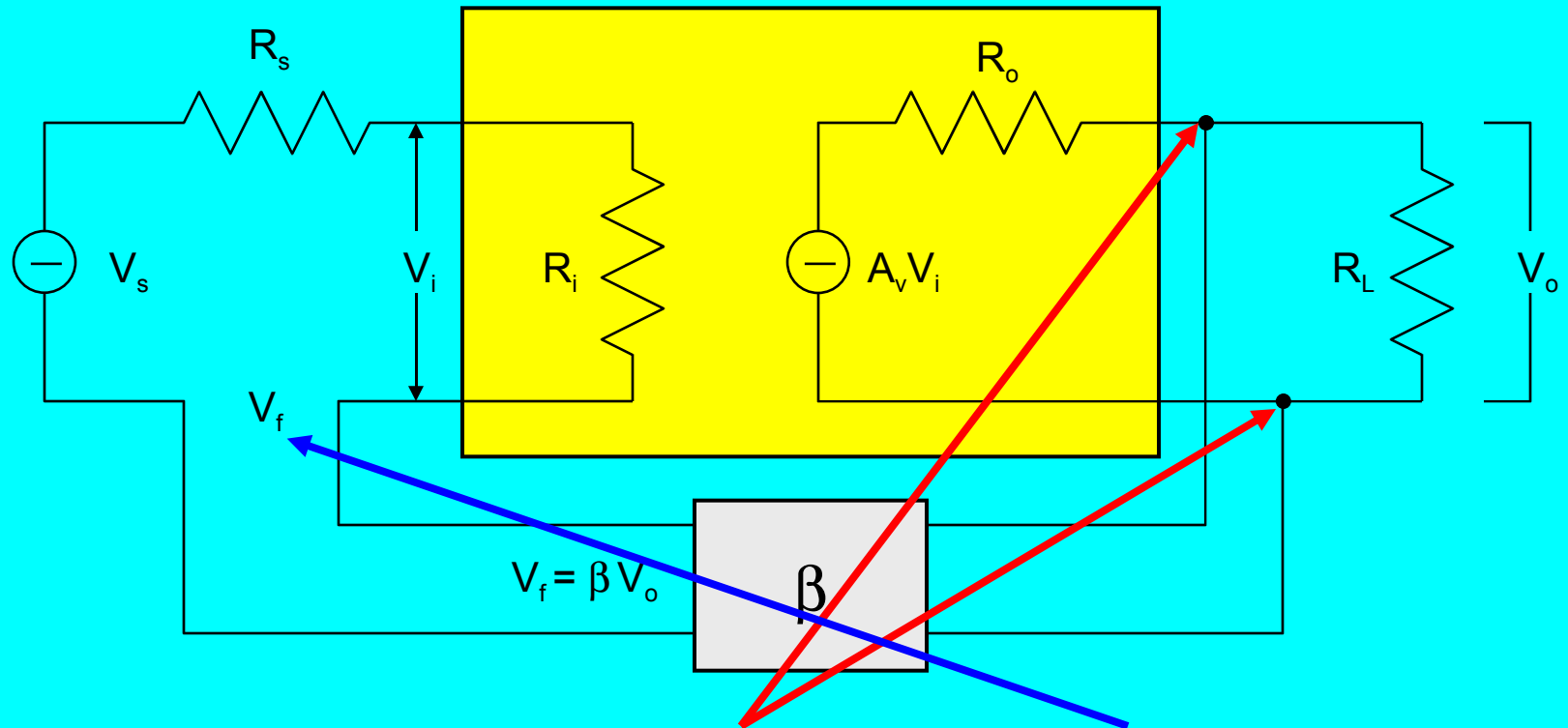
## Amplificatore a transresistenza



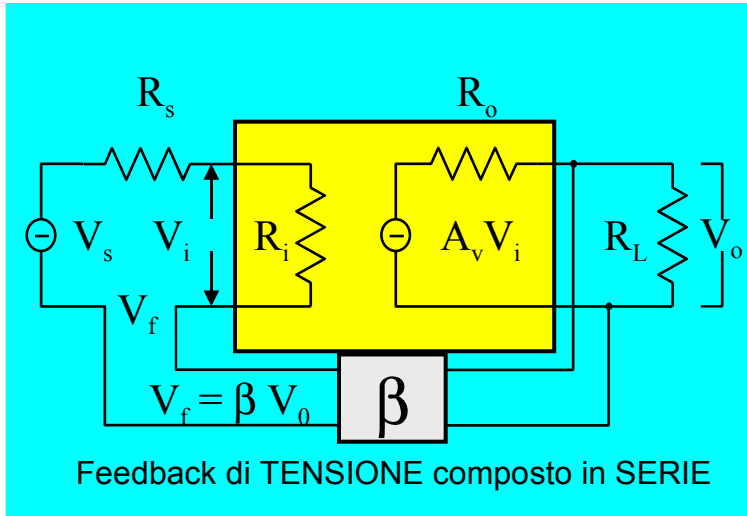
## Amplificatore a transconduttanza



## Amplificatore di tensione



Feedback di TENSIONE composto in SERIE



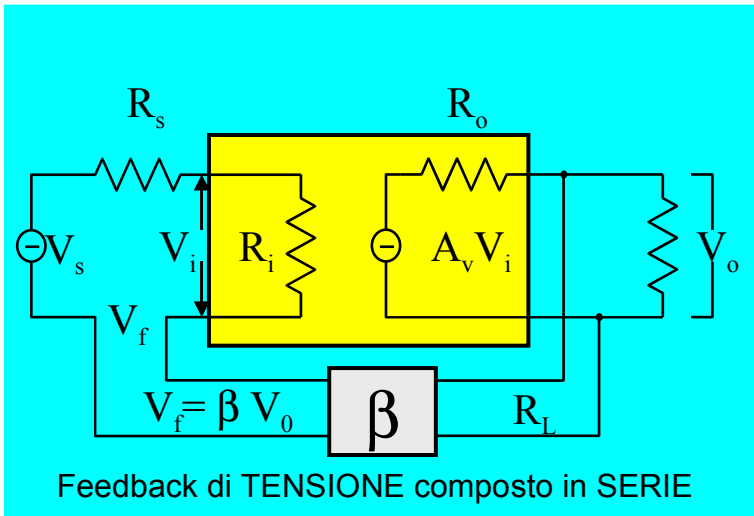
## Analisi qualitativa

**La resistenza di ingresso  $R_i$ , vista da  $V_s$ , per effetto della controreazione in serie è maggiore in quanto la corrente che entra nell'amplificatore diminuisce a causa della tensione di feedback che si oppone a  $V_s$ .**

**Analisi quantitativa: per semplicità si considera un generatore ideale  $V_s$  con resistenza interna  $R_s = 0$ .**

$$R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{V_i + V_f}{I_i} = \frac{V_i + \beta A_v V_i}{I_i} = \frac{V_i (1 + \beta A_v)}{I_i} = \frac{V_i}{I_i} (1 + \beta A_v)$$

$$R_{if} = R_i (1 + \beta A_v)$$



**La controreazione stabilizza la tensione in uscita al variare del carico, come se la resistenza di uscita fosse minore.**

**Analisi qualitativa:**

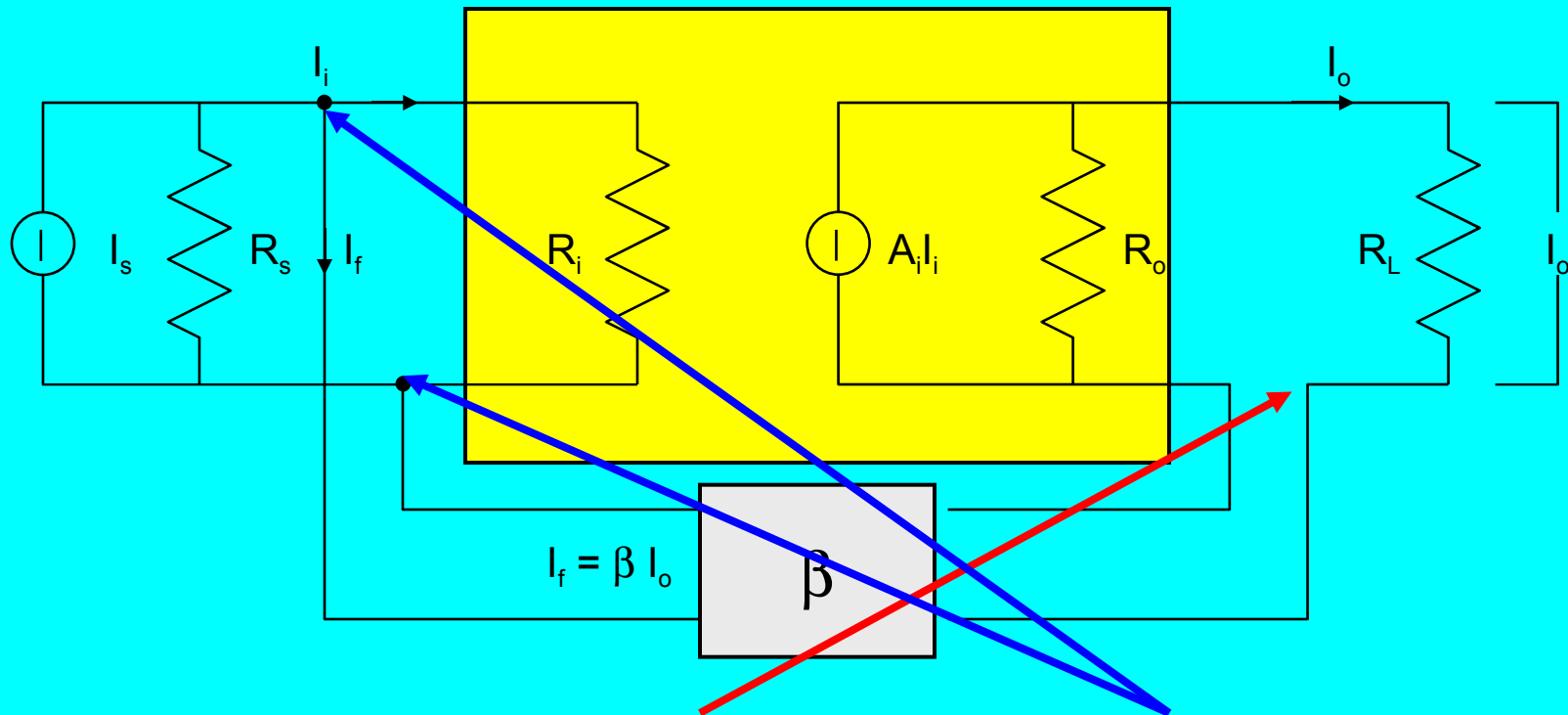
**un eventuale generatore  $V_o$  applicato all'uscita vede in parallelo a  $R_o$  il ramo di feedback.**

**Analisi quantitativa: si deve cortocircuitare  $V_s$  e procedere all'analisi del circuito tenendo presente che il ramo di feedback non assorbe corrente**

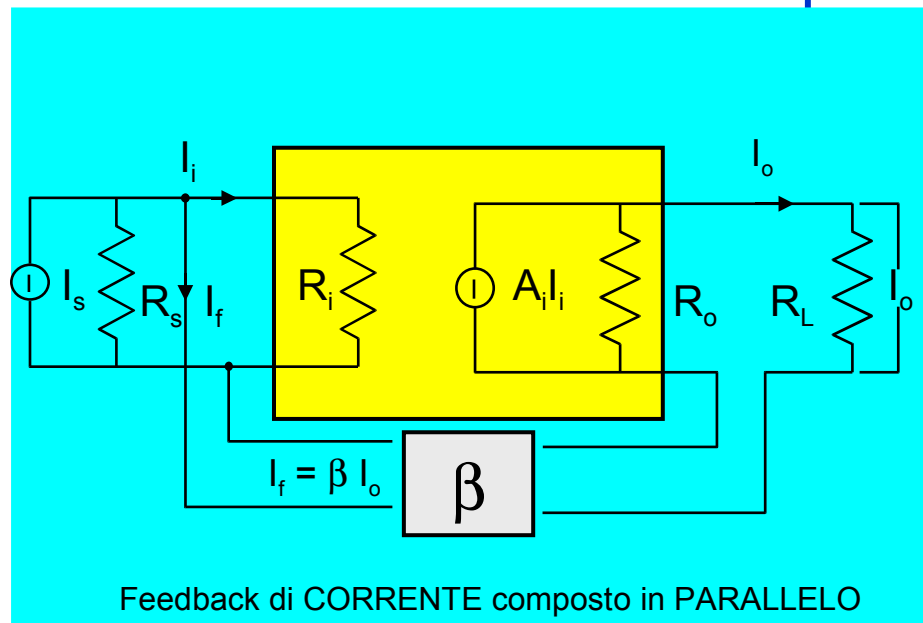
$$R_{of} = \frac{V_o}{I_o} = \frac{V_o}{\frac{V_o - A_v V_i}{R_o}} = \frac{V_o}{V_o + \beta A_v V_o} R_o = \frac{V_o}{V_o (1 + \beta A_v)} R_o$$

$$R_{of} = R_o / (1 + \beta A_v)$$

## Amplificatore di corrente



Feedback di CORRENTE composto in PARALLELO

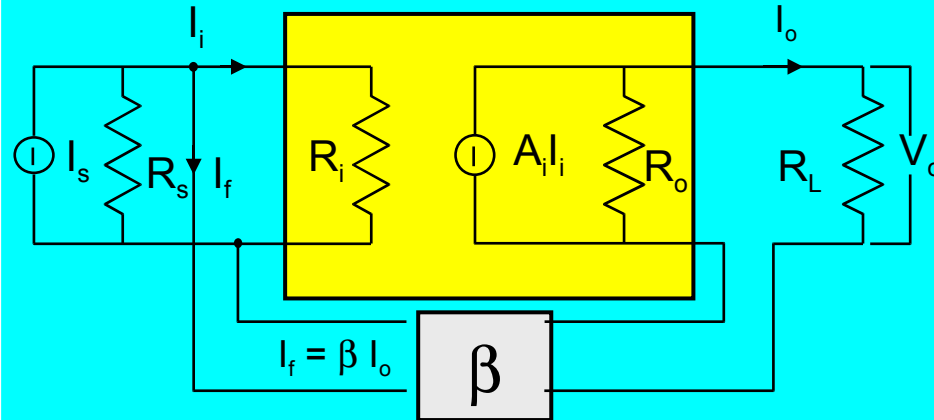


Analisi qualitativa

**La resistenza di ingresso  $R_i$  vista da  $I_s$ , diminuisce a causa del feedback, in quanto essa è vista in parallelo al ramo di feedback. Anche in questo caso si considera  $I_s$  generatore ideale, con  $R_s$  infinita.**

$$R_{if} = \frac{V_i}{I_s} = \frac{V_i}{I_f + I_i} = \frac{V_i}{\beta I_o + I_i} = \frac{V_i}{\beta A_i I_i + I_i} = \frac{V_i}{I_i (1 + \beta A_i)} = \frac{V_i}{I_i} \frac{1}{(1 + \beta A_i)}$$

$$R_{if} = R_i / (1 + \beta A_i)$$



Feedback di CORRENTE composto in PARALLELO

**La controreazione stabilizza la corrente in uscita al variare del carico, come se la resistenza di uscita fosse maggiore.**

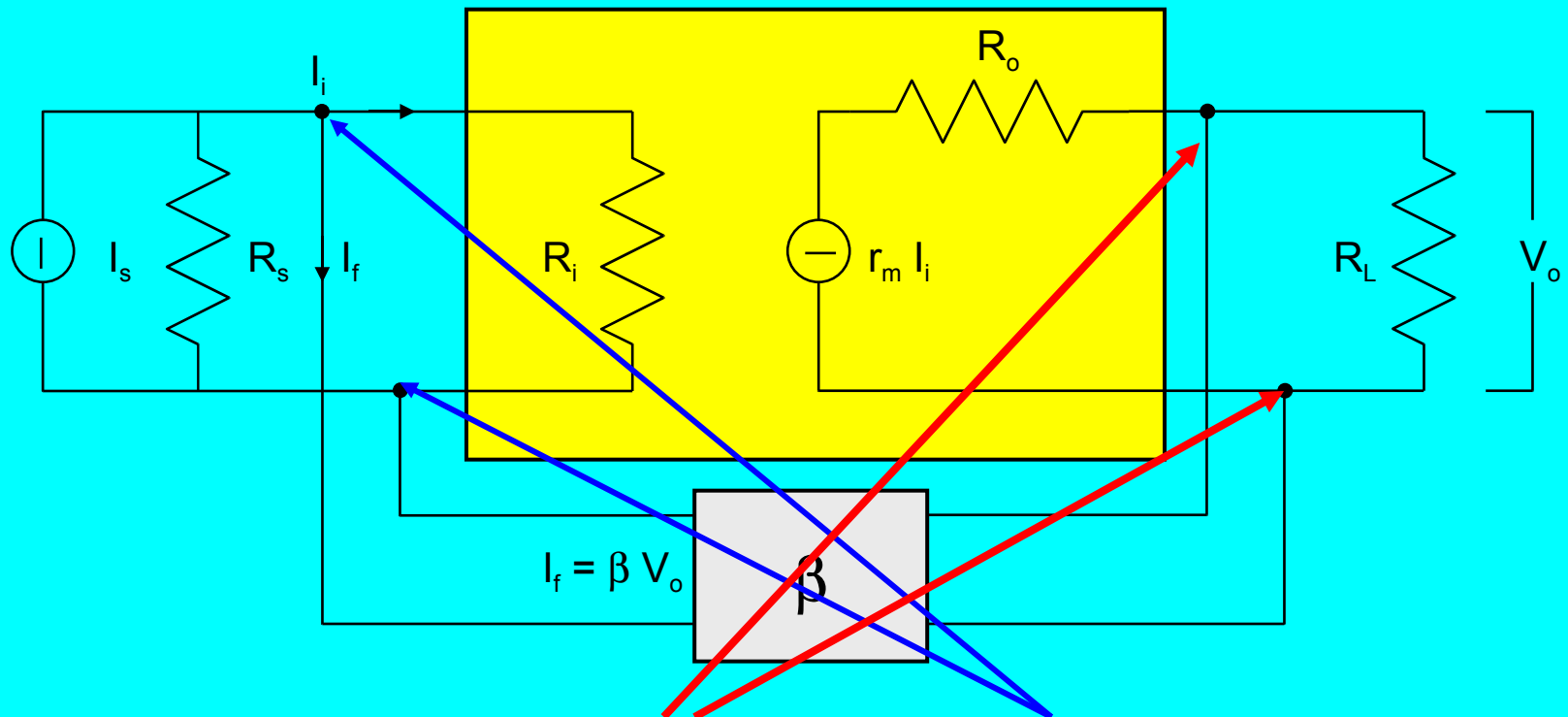
- Un eventuale generatore  $V_o$  applicato all'uscita (una volta aperto  $I_s$ ) vede crescere  $R_o$  per effetto del feedback che è posto in serie.

Analiticamente sostituiamo  $R_L$  con  $V_o$  (nota che  $I_o$  avrà verso opposto) e togliamo  $I_s$  avremo:

$$R_{of} = \frac{V_o}{I_o} = \frac{R_o(I_o + A_i I_i)}{I_o} = \frac{R_o(I_o - A_i I_f)}{I_o} = \frac{R_o(I_o + A_i \beta I_o)}{I_o} = \frac{R_o I_o (1 + A_i \beta)}{I_o}$$

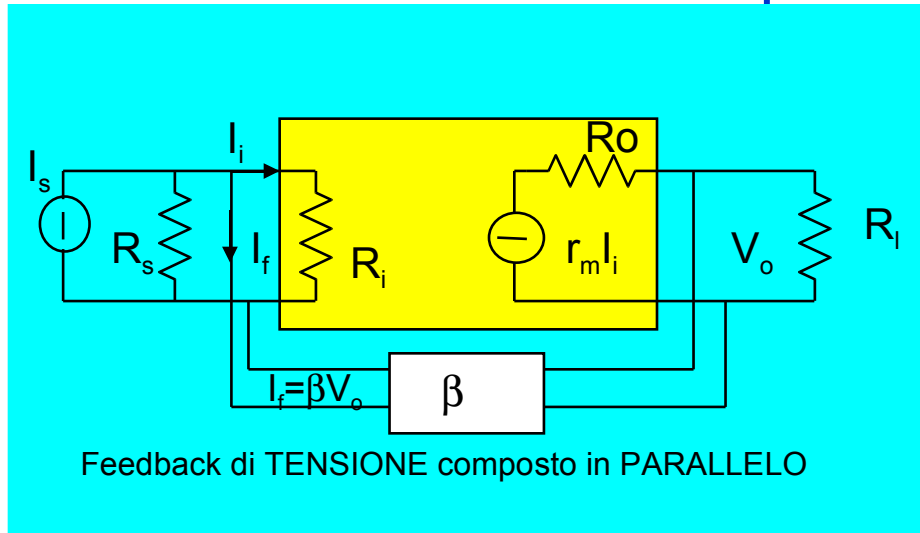
$$R_{of} = R_o (1 + \beta A_i)$$

## Amplificatore a transresistenza



Feedback di TENSIONE composto in PARALLELO



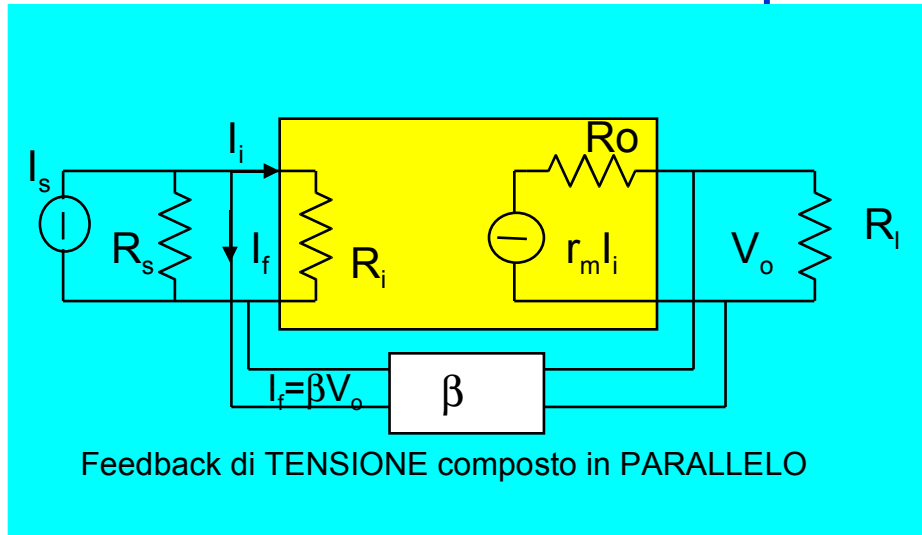


## Analisi qualitativa

**La resistenza di ingresso vista da  $I_s$  diminuisce con la controreazione in quanto è vista in parallelo al ramo di feedback.**

$$R_{if} = \frac{V_i}{I_s} = \frac{V_i}{I_f + I_i} = \frac{V_i}{\beta V_o + I_i} = \frac{V_i}{\beta r_m I_i + I_i} = \frac{V_i}{I_i (1 + \beta r_m)} = \frac{V_i}{I_i} \frac{1}{(1 + \beta r_m)}$$

$$R_{if} = R_i / (1 + \beta r_m)$$



**Analisi qualitativa:**

**La resistenza di uscita diminuisce in quanto un generatore esterno vede  $R_o$  in parallelo al ramo di Feedback**

**Analisi quantitativa**

**La corrente che circola nella maglia di uscita una volta aperta  $I_s$  può essere calcolata partendo dalla relazione**

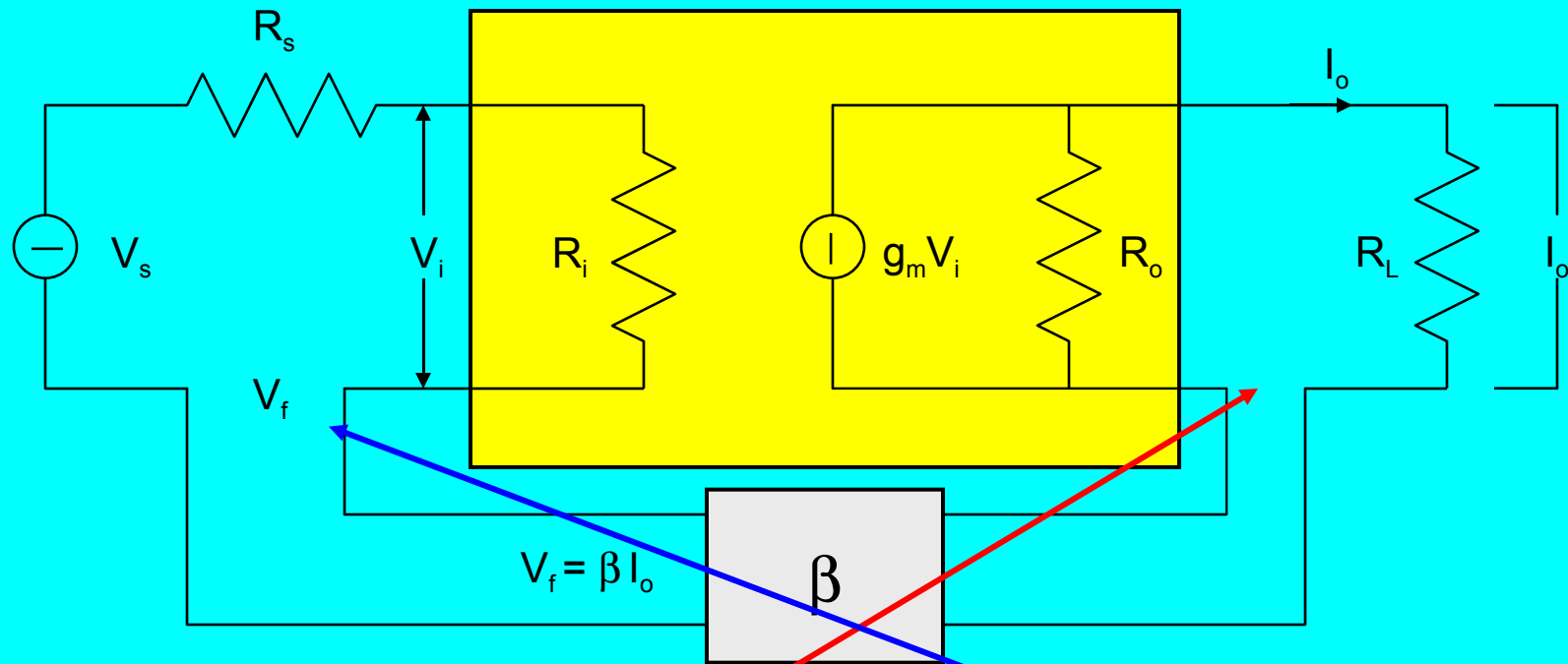
$$V_o - r_m I_i = R_o I_o$$

**e tenendo presente che  $I_f = \beta V_o$  si ha**

$$V_o - r_m I_i = V_o + \beta r_m V_o = V_o(1 + \beta r_m) = R_o I_o$$

$$V_o / I_o = R_o / (1 + \beta r_m) = R_{of}$$

## Amplificatore a transconduttanza



Feedback di CORRENTE composto in SERIE



## Analisi qualitativa

**La resistenza di ingresso vista da  $V_s$  aumenta con la controreazione, in quanto è vista in serie al ramo di feedback.**

$$R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{V_i + V_f}{I_i} = \frac{V_i + \beta g_m V_i}{I_i} = \frac{V_i (1 + \beta g_m)}{I_i} = \frac{V_i}{I_i} (1 + \beta g_m)$$

$$R_{if} = R_i (1 + \beta g_m)$$

- 1 - La controreazione stabilizza la corrente in uscita al variare del carico come se la resistenza di uscita fosse maggiore.**
- 2 - Un eventuale generatore applicato all'uscita (una volta cortocircuitato  $V_s$ ) vede in serie a  $R_o$  il ramo di feedback.**

$$R_{of} = R_o (1 + \beta g_m)$$