



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA  
Facoltà di Medicina e Chirurgia

*Misure elettriche ed elettroniche*

# DISPOSITIVI DI AMPLIFICAZIONE

# INTRODUZIONE

1

- *I segnali elettrici trasportano energia e possono produrre lavoro (meccanico) in funzione della loro potenza ( $W = V \cdot i$ )*
- *se la potenza del segnale fornito dal sensore è insufficiente, è necessario un dispositivo che la aumenti:*

## AMPLIFICATORE

- *potenza  $W = V \cdot i$  (in Watt;  $V \rightarrow$  Volt;  $i \rightarrow$  Ampère)*
- *l'amplificazione si può ottenere aumentando  $V$ ,  $i$ , o entrambe*

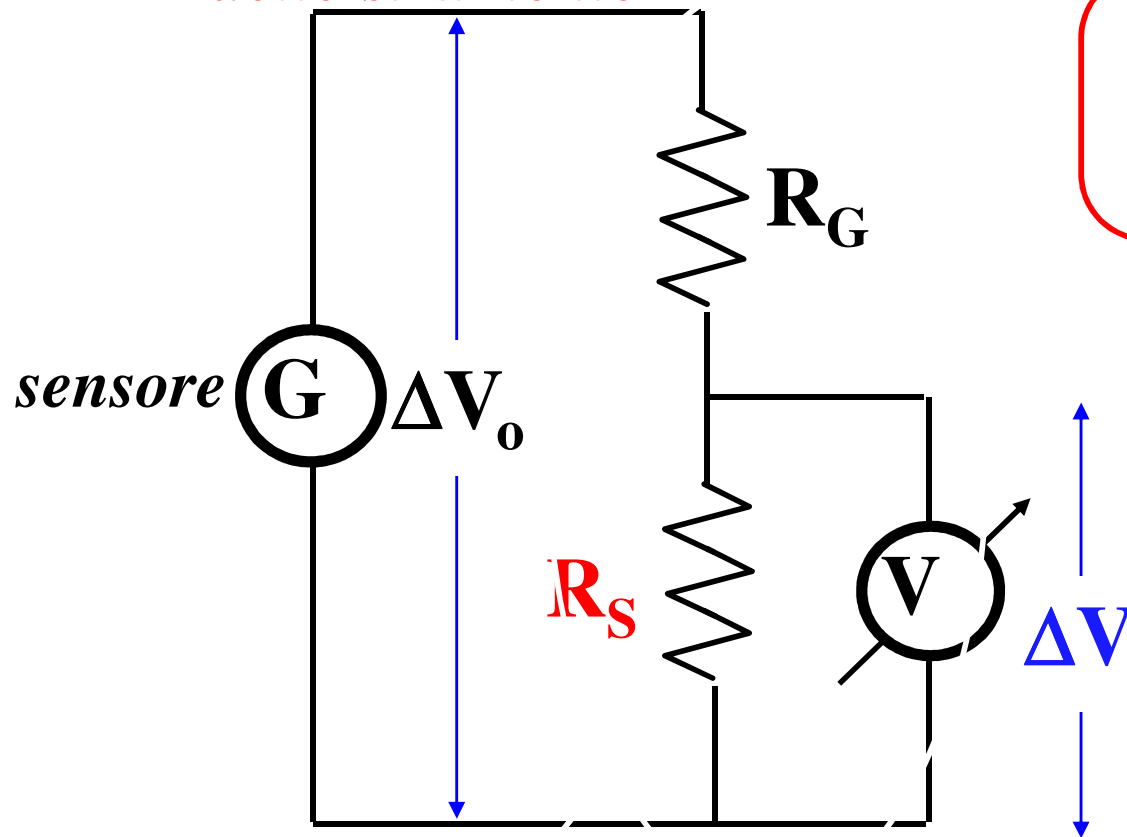
# INTRODUZIONE

2

per sapere se la potenza è sufficiente, bisogna confrontare la resistenza di ingresso dello strumento di misura con la resistenza interna del sensore

$R_S$  resistenza d'ingresso dello strumento

$R_G$  resistenza interna del sensore



$$\Delta V = \frac{R_S}{R_S + R_G} \Delta V_0$$

$$\frac{R_S}{R_S + R_G} \quad \text{“fattore di Attenuazione” del segnale}$$

• condizioni ideali:

$$R_S \gg R_G$$

$$\Delta V \approx \Delta V_0$$

(ad es.  $R_S \approx 100 R_G$ )

■ *tubi a vuoto (diodo, triodo), non più usati*

■ *semiconduttori al Germanio (Ge), Silicio (Si), ecc.*

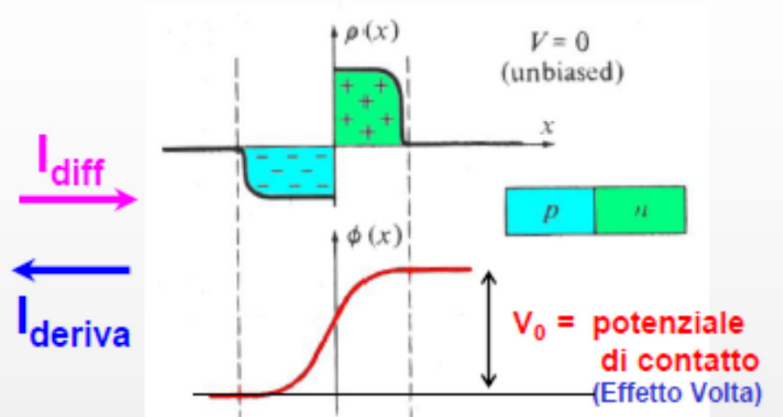
- *allo stato puro e a basse temperature sono dei dielettrici (=isolanti) quadrivalenti (=valenza 4)*
- *se “drogati” con elementi pentavalenti (P, Ar, An), danno luogo a una “regione N” (= con eccesso di cariche negative, quindi portatori di carica negativi)*
- *se drogati con elementi trivalenti (Al, Ga, In), danno luogo a una “regione P” (=con eccesso di “lacune”, quindi portatori di carica positivi)*

■ *giunzione P-N*

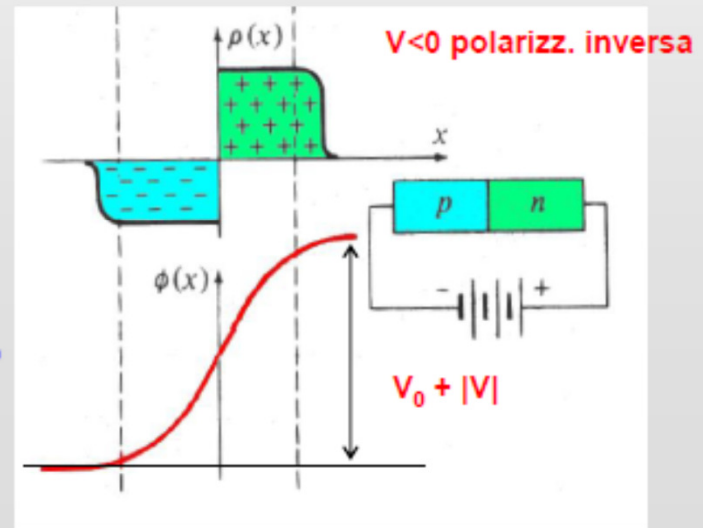
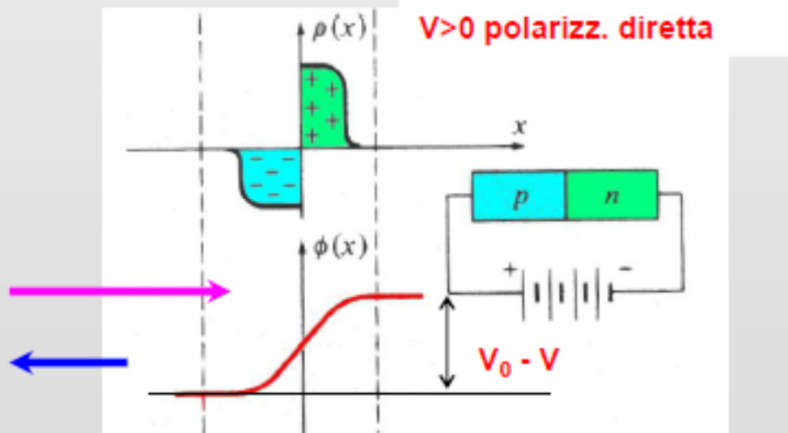
- *diffusione spontanea di elettroni da N a P, e di lacune da P a N  $\Rightarrow$  si crea una differenza di potenziale che tende a opporsi alla diffusione (“barriera di pot.”)*
- *Applicando una d.d.p. esterna, se è concorde con la d.d.p. della giunzione si ha aumento della barriera e quindi impedimento alla corrente ( $\Rightarrow$  isolante), mentre se la d.d.p. esterna è opposta si ha scomparsa della barriera e quindi passaggio di corrente (-> conduttore)*

■ *transistors*

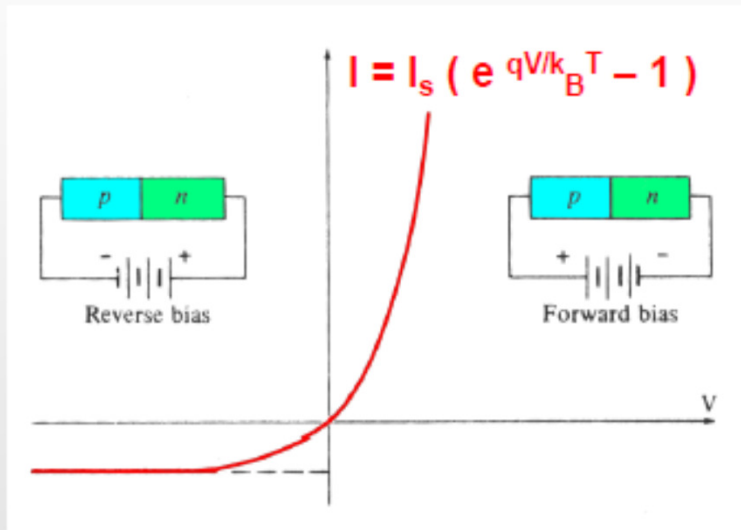
# GIUNZIONE *p-n* NON POLARIZZATA



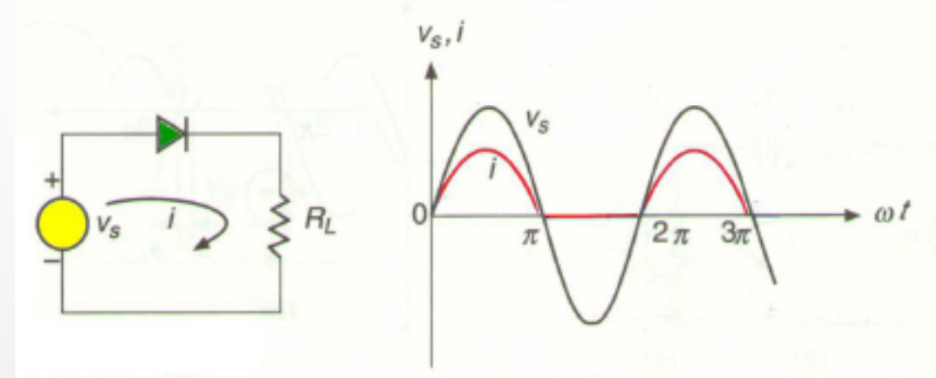
# GIUNZIONE *p-n* POLARIZZATA



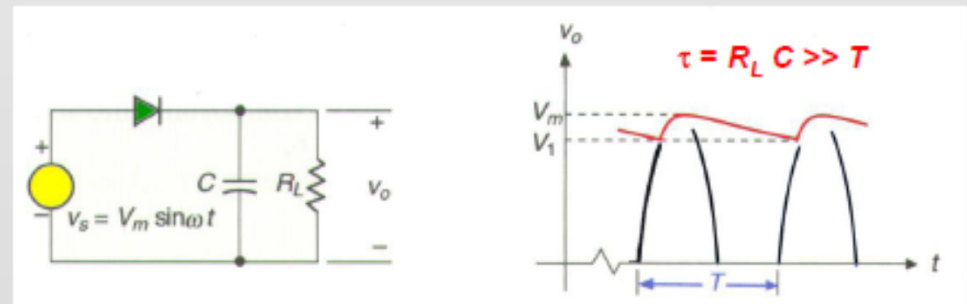
# Caratteristica Corrente (I) – Voltaggio (V) di un diodo p-n



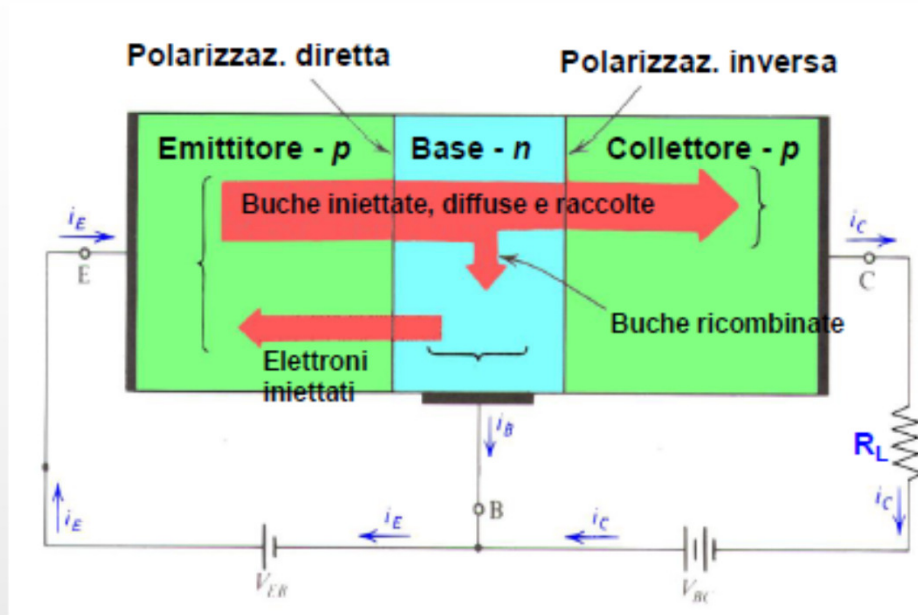
## Rettificatore a mezz'onda



## Rettificatore con un condensatore di filtro



# TRANSISTOR BIPOLARE A GIUNZIONE (BJT)



Il **BJT** consiste di tre regioni di semiconduttori: l'**emettitore** (p-tipo), la **base** (n) e il **collettore** (p). Esso è detto transistor **pn<sub>p</sub>** ; il duale è il transistor **np<sub>n</sub>** .

Il **BJT** quindi consiste di due giunzioni **p-n** in serie, ma con versi opposti, con in comune la regione di base **molto sottile** (rispetto alla lunghezza di diffusione delle buche).

■ La polarizzazione (diretta o inversa) di ciascuna giunzione determina diversi modi di operazione del BJT: nel modo di amplificazione la giunzione E-B è polarizzata direttamente mentre quella C-B è polarizzata inversamente.

■ Un gran numero di buche diffonde da E a B: una piccola frazione di esse si ricombina con elettroni in B, ma la stragrande maggioranza, grazie al sottile spessore di B, raggiunge la regione di svuotamento alla giunzione C-B e viene attratta dal voltaggio negativo entro il collettore C →

$$i_E \approx i_C \gg i_B \quad (\text{con } i_E = i_C + i_B)$$

■ In tal modo una grande corrente è trasferita da una regione con bassa resistenza (giunzione E-B polarizzata direttamente) a una regione con alta resistenza (giunzione C-B polarizzata inversamente) → **TRANSISTOR = TRANSfer of resISTOR**.

■ La modulazione della corrente  $i_B$  o della tensione  $V_{EB}$  produce una modulazione simile, ma di ampiezza molto maggiore, della corrente  $i_C$  o della tensione  $V_R$  sulla resistenza di carico  $R_L$ , cioè **amplificazione**.

# AMPLIFICAZIONE

■ Def. amplificazione in *potenza*: (si misura in decibel (dB))

$$A \text{ (dB)} = 10 \text{ Log } \frac{W_{\text{out}}}{W_{\text{in}}}$$

es. numerico: se  $W_{\text{out}} = 1000 W_{\text{in}}$ ,  $A = 10 \text{ Log } 1000 = 30$  decibel

■ *aumento di ampiezza del segnale (guadagno)*:

usando  $W=Vi$  e  $i=V/R$ , quindi  $W=V^2/R$

$$\frac{W_{\text{out}}}{W_{\text{in}}} = \frac{V_{\text{out}}^2}{R} \frac{R}{V_{\text{in}}^2} = \frac{V_{\text{out}}^2}{V_{\text{in}}^2}$$

$$A \text{ (dB)} = 20 \text{ Log } \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}$$

es. numerico: se  $V_{\text{out}} = 1000 V_{\text{in}}$ ,  $A = 20 \text{ Log } 1000 = 60$  decibel



# RETROAZIONE

1

■ *Il guadagno ( $V_{out}/V_{in}$ ) dipende dai dispositivi “attivi” dell’amplificatore, ma le caratteristiche dei dispositivi attivi possono variare (per vari Motivi, ad es. variazioni di temperatura ) dando instabilità*



■ *conviene che il guadagno dipenda solo da elementi “passivi” (ad es. da una resistenza)*



■ ***Retroazione:*** *Una parte del segnale d’uscita viene riportata in ingresso tramite una resistenza*

• *Se  $V_{in}$  e  $V_{out}$  sono “in fase”  $\Rightarrow$  i segnali si sommano  $\Rightarrow$  “retroazione positiva”  $\Rightarrow$  saturazione dell’amplificatore*

• *Se  $V_{in}$  e  $V_{out}$  sono “in opposizione di fase”  $\Rightarrow$  i segnali si sottraggono  $\Rightarrow$  “retroazione negativa”  $\Rightarrow$  **stabilizzazione del segnale d’uscita,** a scapito del guadagno  $\longrightarrow$*

# RETROAZIONE

Sia:

- $x =$  *segnale in ingresso all'amplificatore*
- $y =$  *segnale in uscita all'amplificatore*
- $\phi =$  *frazione del segnale d'uscita riportata in ingresso*

- *guadagno dell'amplificatore retroazionato:  $A_r = \frac{y}{x}$*
- *$A =$  guadagno del dispositivo originale (quindi  $A = y/(x - \phi y)$ )*

*retroazione negativa:*

$$y = A(x - \phi y) \quad \longrightarrow \quad Ax = y(1 + A\phi) \quad \longrightarrow$$

$$A_r = \frac{y}{x} = \frac{A}{[1 + A\phi]}$$

$$\text{se } A \gg 1 \quad \longrightarrow \quad A\phi \gg 1$$

$$A_r = \frac{1}{\phi}$$

$\phi$  *dipende solo dalla resistenza di retroazione*  $\longrightarrow$  *guadagno stabile*

# RISPOSTA DELL'AMPLIFICATORE

1

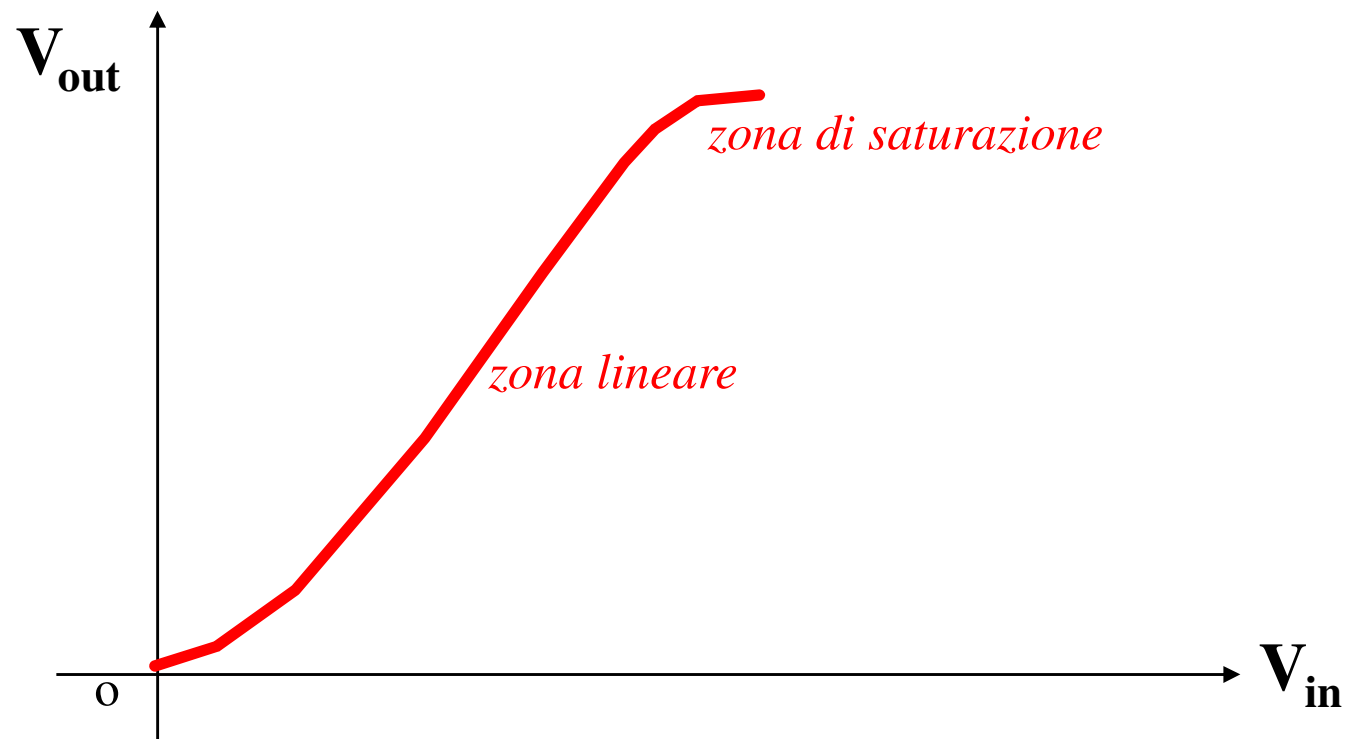
*risposta in ampiezza ( $V_{out}$  in funzione di  $V_{in}$ ):*

- **intervallo di operatività:**

ampiezza (del segnale) in ingresso  $V_{in}$

ampiezza (del segnale) in uscita  $V_{out}$

- limite inferiore dato dal rapporto segnale/rumore
- limite superiore dato dalla distorsione del segnale in uscita



# RISPOSTA AMPLIFICATORE

*risposta in ampiezza (V<sub>out</sub> in funzione di V<sub>in</sub>)*

l'amplificatore lavora bene solo per segnali né troppo piccoli né troppo grandi →

*Per ogni amplificatore si definisce il “range dinamico” R:*

$$R = \frac{\text{massimo segnale amplificabile (senza saturazione)}}{\text{minimo segnale distinguibile dal rumore di fondo}}$$

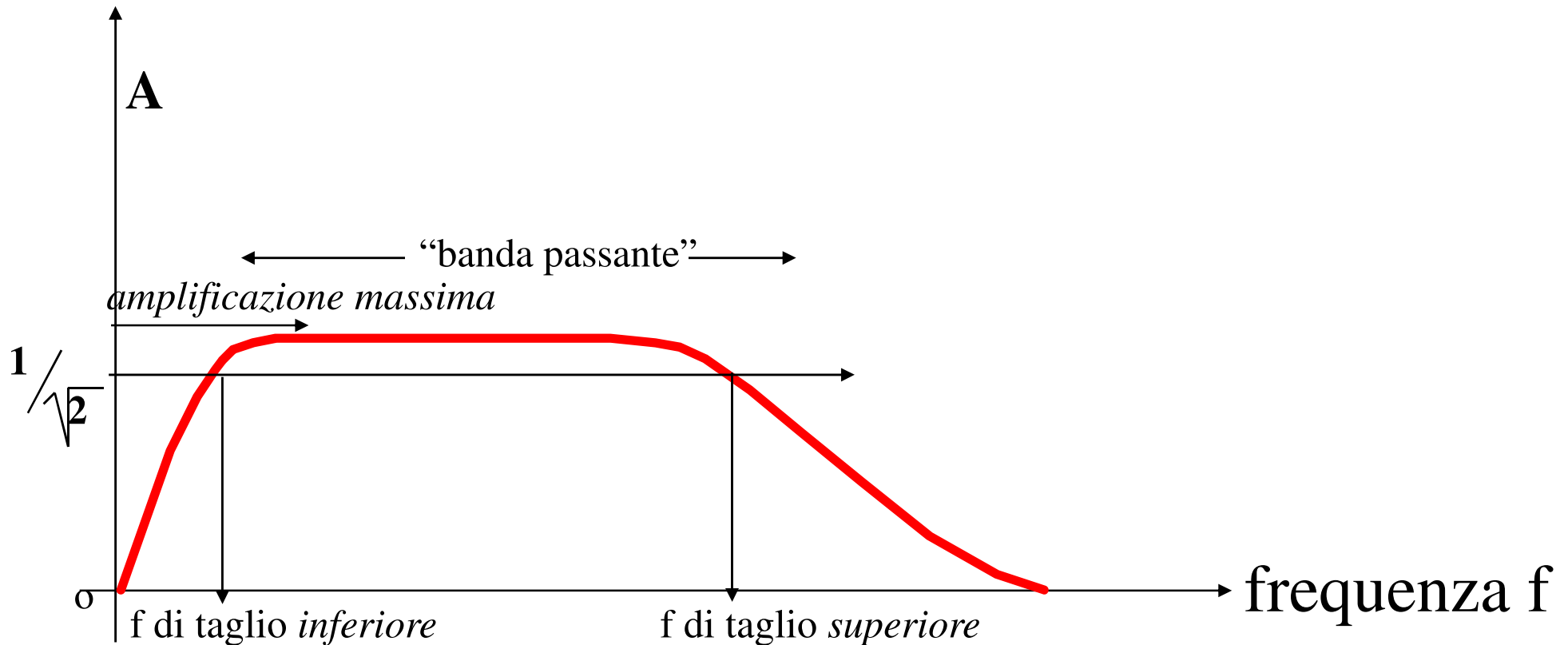


# RISPOSTA AMPLIFICATORE

4

*risposta in frequenza (in funzione della frequenza del segnale  $f$ )*

- idealmente, tutte le “armoniche” (cioè tutte le frequenze) che compongono il segnale dovrebbero essere amplificate allo stesso modo*
- nella realtà, le frequenze basse e quelle alte sono amplificate meno rispetto a quelle intermedie, dando una risposta in frequenza di questo tipo.*



# RISPOSTA AMPLIFICATORE

5

## *risposta in frequenza*

- *la banda passante deve essere sufficiente a prelevare correttamente sal sensore tutta l'informazione diagnostica*
- *bisogna eliminare il “rumore” a bassa e alta frequenza*
- *→ si modifica la banda passante mediante **filtri**, che attenuano le armoniche che non interessano (cioè che non costituiscono segnale)*

