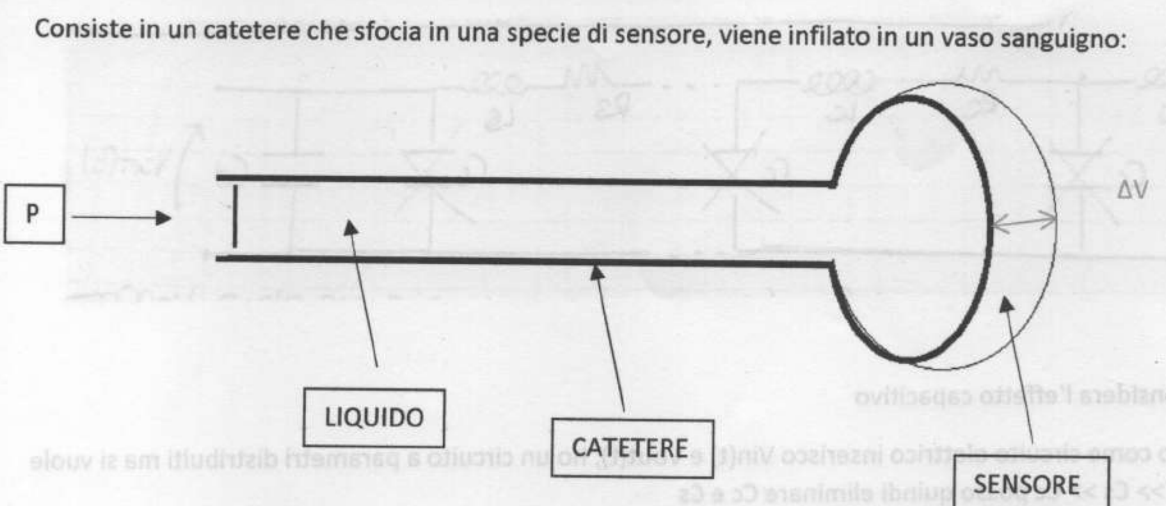
MISURATORE DI PRESSIONE DEL SANGUE (IN MODO INVASIVO)

Consiste in un catetere che sfocia in una specie di sensore, viene infilato in un vaso sanguigno:



P = pressione

Il catetere è riempido di liquido, a valle del catetere c'è un diaframma mobile

A seconda della pressione c'è una variazione di volume del diaframma del sensore, ΔV può diventare una variazione elettrica.

Il catetere ha:

- **Lunghezza L**
- **Diametro di raggio**

Il sensore traduce la variazione di pressione ΔP in varaizione di volume ΔV

L'oggetto studiato può essere diviso in tre sottoinsiemi:

- **Catetere**
- **Sensore**
- **Diaframma**

NEL CATETERE, ESSENDO MOLTO LUNGO I PARAMETRI SONO DISTRIBUITI, TUTTAVIA PRENDENDO UNA SINGOLA CELLA POSSO CONSIDERARLA A PARAMETRI CONCENTRATI

CARATTERISTICHE FISICHE DEL CATETERE

- **Resistenza dovuta alle particelle di fluido**
- **Resistenza delle pareti rispetto al fluido**
- **Resistenza tra le particelle di fluido stesse**

Il moto delle particelle è lineare.

- **RESISTENZA → Parlando di resistenza si parla di attrito, caratteristica del fluido è la sua VISCOSITA' che incide sulla resistenza. La resistenza è un fenomeno dissipativo**
- **INERZIA → il catetere risponde a ΔP in funzione del tempo Lc (tempo di propagazione)**
- **RIGIDITA'→ dipende dal materiale plastico utilizzato (tendenza a dilatarsi)→ COMPLIANCE Cc (cambiamento volume)**

CARATTERISTICHE FISICHE DEL SENSORE E DEL DIAFRAMMA

Come per il catetere anche il sensore e il diaframma avranno una loro:

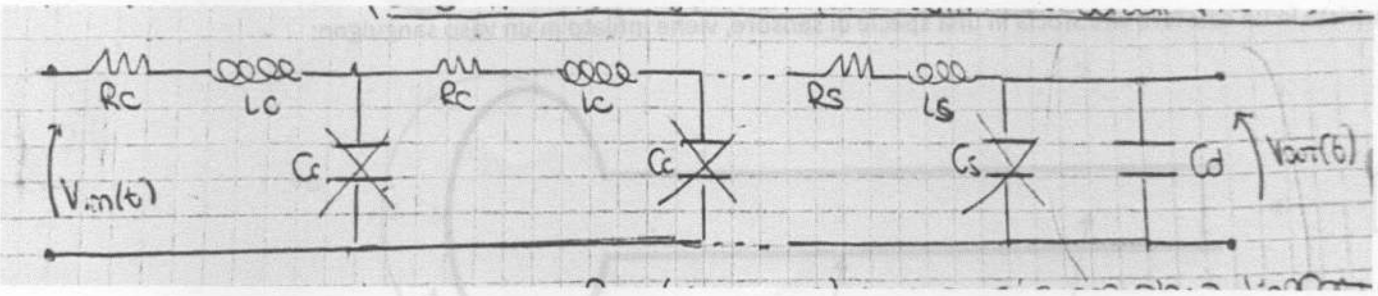
- **RESISTENZA Rs/Rd**
- **INERZIA Ls/Ld**
- **COMPLIANCE Cs/Cd**

Si vuole ricavare un equivalente elettronico del misuratore. In queste condizioni è possibile trovare più facilmente una equazione che leghi ΔP e ΔV.

- **L'area del catetere è data da $A=\pi R^2$**
- la massa è $m=\rho LA$
- il flusso $F=vA$

(ceeca)

PER IL CATETERE: per ogni segmento infinitesimo ci saranno Rc,Lc eCc



Anlogo per il SENSORE

Per la MEMBRANA si considera l'effetto capacitivo

Considerando il modello come circuito elettrico inserisco Vin(t) e Vout(t), ho un circuito a parametri distribuiti ma si vuole semplificarlo: sicuro Cd >> Cs >> Cc posso quindi eliminare Cc e Cs

LA COMPLIANCE DEL DIAFRAMMA È DECISAMENTE MAGGIORE DELLE ALTRE CHE QUINDI POSSO TRASCURARE

L'impedenza di un condensatore è data da Z=1/SC

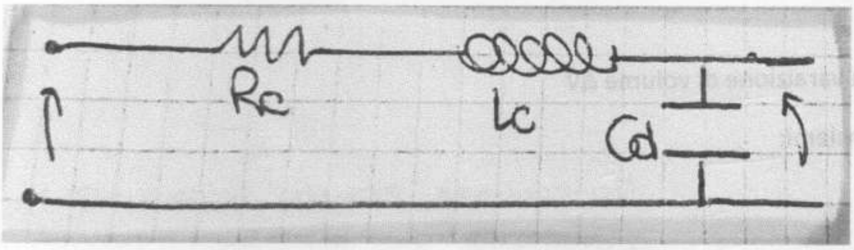
Per C → 0, Z→inf → circuito aperto

Quindi posso eliminare, tutte le Cc perché sono approssimabili come circuiti aperti a << Cd.

Posso considerare tutte le resistenze e le impedenze (INDUTANZE) in serie come un'unica resistenza e un'unica impedenza (INDUTTANZA)

E' un circuito di secondo ordine, trovo il circuito equivalente semplificato

2 ordine = 1 cond + 1 indut.



Cc = 0 PARETI DEL CATETERE RIGIDE

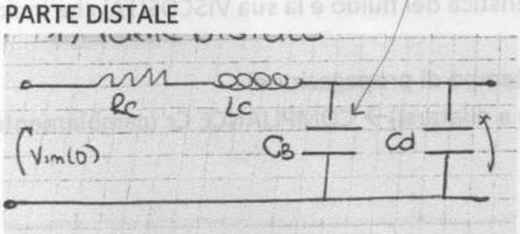
Eliminando le Cc si è presupposto che il catetere abbia pareti rigide, cioè incomprimibili, le pareti del diaframma invece si possono espandere → Cd>>Cc

Scorrendo liquido è possibile che si formi una bolla d'aria (con più probabilità nel catetere perché è l'elemento più lungo) bisogna sempre tenere conto della compliance dell'aria → POSSIBILI FORMAZIONE DI BOLLE

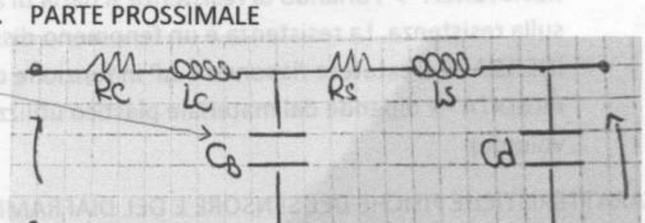
MODELLO NEL CASO DI BOLLA D'ARIA

Bisogna capire se la bolla si forma nella parte prossimale o distale del catetere:

1. PARTE DISTALE



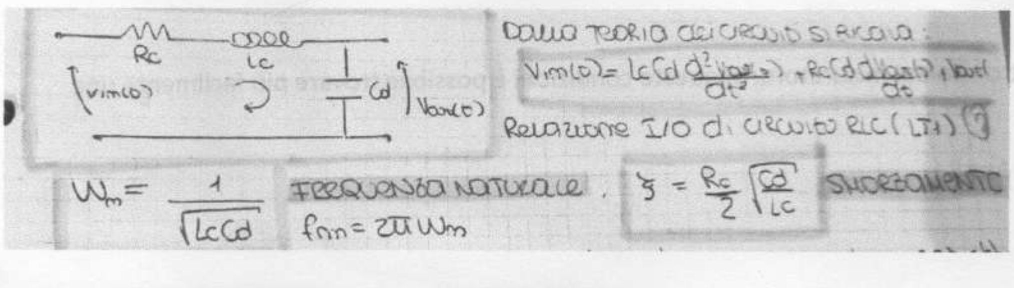
2. PARTE PROSSIMALE



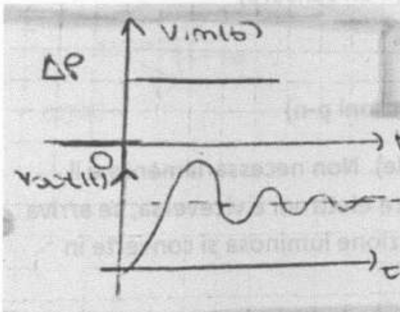
Consideriamo la trattazione del caso più semplice in assenza di bolle d'aria

CASO SEMPLICE:

$$V_{in}(t) = L_C C_d \frac{d^2 V_{out}(t)}{dt^2} + R_C C_d \frac{dV_{out}}{dt} + V_{out}$$



La risposta al gradino di un circuito di secondo ordine potrebbe essere una risposta smorzata. La frequenza naturale indica la risonanza del sistema



Considero ora Rc : $Re = \frac{\Delta P}{F}$ $[Pa \cdot \frac{s}{m^3}]$ (F = flusso)

ΔV $1 Pa = \frac{N}{m^2}$ pascal $[F] = [m^3/s]$

$Rc = \frac{\Delta P}{vA}$ (A = area) $\longrightarrow$ $\boxed{Rc = \frac{L}{\pi r^4} 8\mu}$ (μ = viscosità)

Questo passaggio è possibile perché è presente un flusso laminare (eq di Poisenille)

Più il fluido è denso più resistenza esercita sulle particelle → più il tubo è lungo più resistenza è esercitata

Analogamente considero Lc : $\boxed{Lc = \frac{\Delta P}{dF/dt}}$ $[Pa \cdot \frac{s^2}{m^3}]$

Se si considera $P = \frac{Forza}{A} = \frac{ma}{A} = \frac{m\,dv}{A\,dt}$, $F = vA \Rightarrow \frac{dF}{dt} = \frac{dvA}{dt}$

$$\Rightarrow Lc = \frac{ma}{AaA} = \frac{m}{A^2} = \frac{\rho L A}{A^2} = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{\pi r^2} \Rightarrow \boxed{Lc = \frac{\rho L}{\pi r^2}}$$

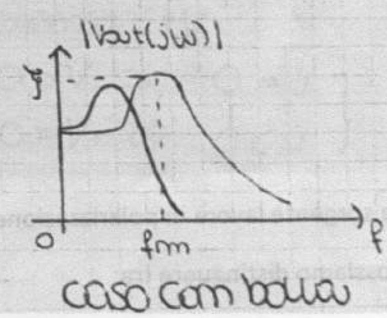
Considero Cd (che dipende dal materiale del diaframma):

$\boxed{Cd = \frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{1}{Ed}}$, Ed = modulo elastico del diaframma

Si possono sostituire i valori trovati in ω_n e ξ:

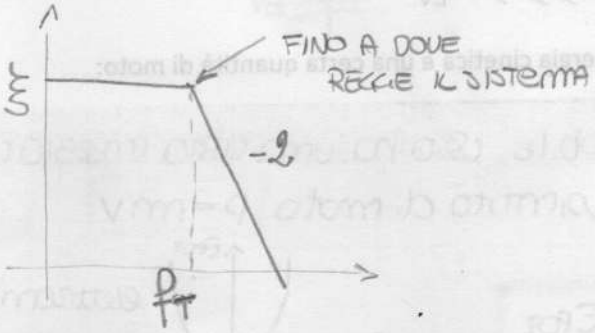
$\xi = \frac{4\mu}{r^3}\sqrt{\frac{L(\Delta V/\Delta P)}{\pi\rho}}$ SMORZAMENTO

$f_n = \frac{r}{2}\sqrt{\frac{1}{\pi\rho L}\frac{\Delta P}{\Delta V}}$ FREQUENZA NATURALE



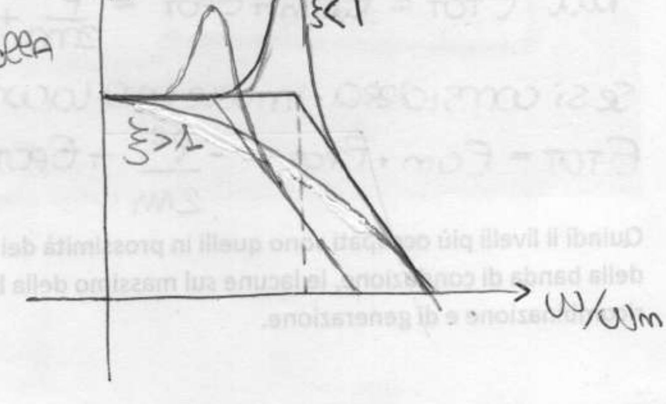
caso con bolla

Grafico asintotico di risposta in frequenza per sys di grado 2:

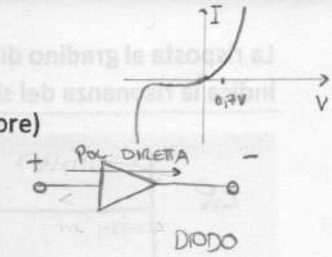


$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{LcCd}}$$

$$\xi = \frac{Rc}{2}\sqrt{\frac{Cd}{Lc}}$$



Con la bolla aumenta ξ
diminuisce ω_n



FOTOPLETISMOGRAFO

Da un lato è presente una sorgente di radiazione luminosa, dall'altra un fotorilevatore (è un sensore)

Parlando di luce visibile: λ 0,4 – 0,7 μm

Entrambi gli oggetti vengono fatti con componenti a semiconduttori (in particolare giunzioni p-n)

La sorgente muta un passaggio di elettroni di elettroni in fotoni (LED light emitting diode). Non necessariamente è il silicio. Se scorre corrente diodo (POLARIZZAZIONE DIRETTA) allora il diodo può emettere elettroni e viceversa, se arriva un elettrone al fotorilevatore allora passa corrente (EFFETTO FOTO-ELETTRICO) la radiazione luminosa si converte in corrente elettrica.

Il silicio è un buon fotorilevatore

SORGENTE → fenomeno radioattivo (da corrente a luce)

FOTORILEVATORE → fenomeno inverso (da luce a corrente)

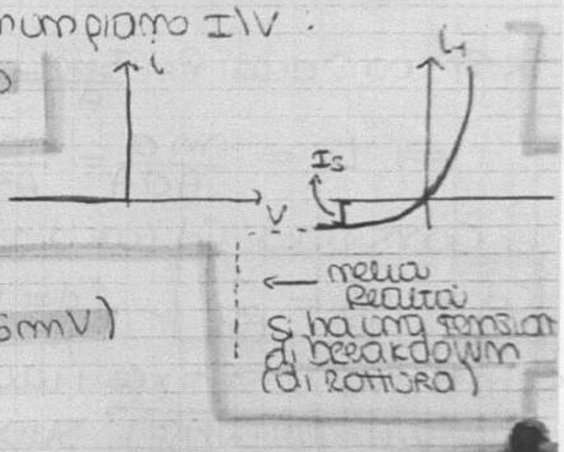
A, B, anodo, V, catodo

Modello di un diodo: tensione V da B a A

Il diodo ideale in un piano I/V:

per $V < 0 \Rightarrow I = 0$

per $V > 0$



In realtà si ha $i_1 = I_S\left(e^{+\frac{V}{V_T}} - 1\right)$

con $I_S = \text{cost}$

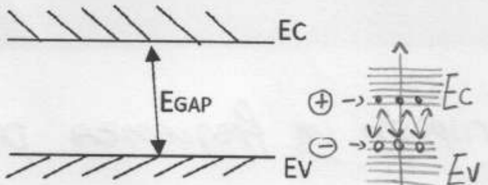
V_T = tensione termica (per Si ≥ 26 mV)

$$\begin{cases} i = 0 & \text{per } V < 0.6V \\ i > 0 & \text{per } V = 0.6V \end{cases}$$

La sorgente lavora in polarizzazione diretta, il fotorilevatore in polariazzazione inversa.

Possiamo distinguere tra:

1. Semiconduttori a gap 'diretti'
2. Semiconduttori a gap 'indiretti'



Se si considera un elettrone mobile, esso ha una certa energia cinetica e una certa quantità di moto:

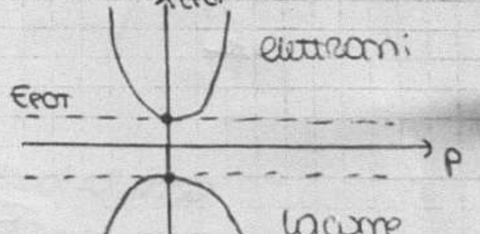
Se si considera un elettrone mobile, esso ha una certa energia cinetica $E_{cin} = \frac{1}{2} m V^2$ e una certa quantità di moto $p = mV$

$\Rightarrow E_{cin} = \frac{p^2}{2m}$

Ma $E_{TOT} = E_{cin} + E_{POT} = \frac{p^2}{2m} + E_{POT}$

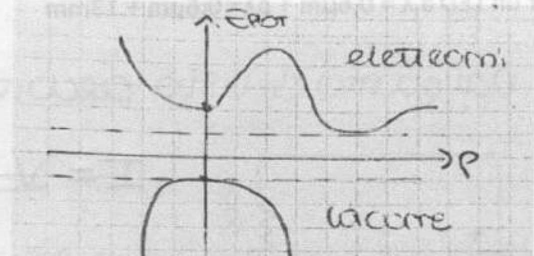
Se si considera invece una lacuna:

$E_{TOT} = E_{cin} + E_{POT} = -\frac{p^2}{2m} + E_{POT}$



Quindi il livelli più occupati sono quelli in prossimità dei vertici (GAP DIRETTO): gli elettroni tendono a stare sel minimo della banda di conduzione, le lacune sul massimo della banda di valenza. E' facile quindi che avvengano fenomeni di ricombinazione e di generazione.

Per il silicio la struttura è diversa: lo zero non è detto che sia un punto di minimo assoluto, potrebbe essere un minimo locale: è il caso di una struttura a GAP INDIRETTO.

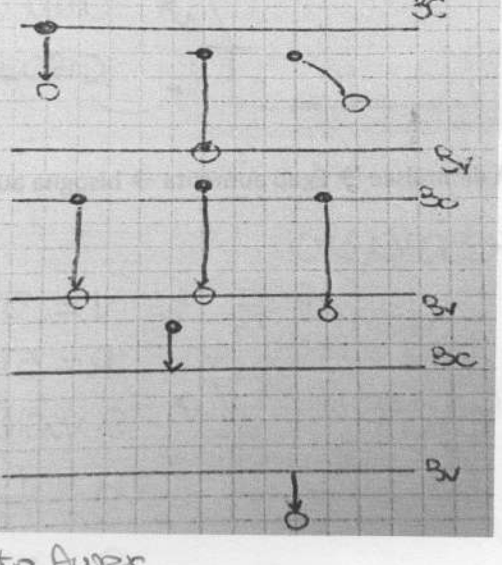


Quindi per un fotorilevatore la situazione non cambia:
sono valdidi sia il silicio che altri materiali.

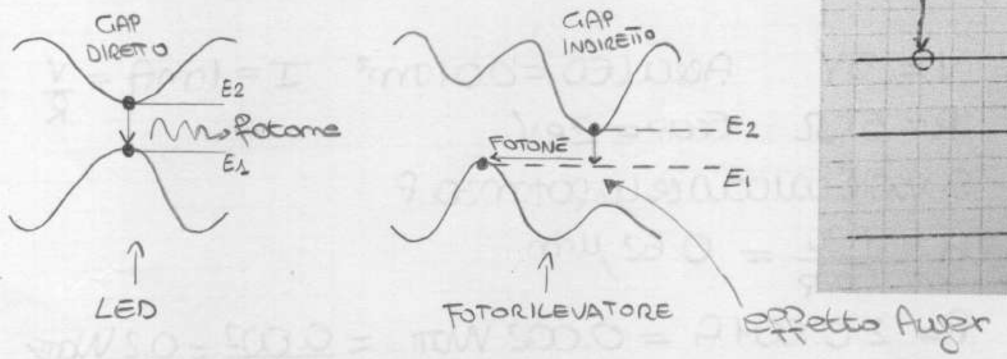
SILICIO → gap indiretto → OK PER FOTORILEVATORE

Per una sorgente cambia: il silicio non va bene.

Possono verificarsi 3 casi. Questi fenomeni vengon definiti come TRANSIZIONI ASSOCIATE A IMPUREZZE CHIMICHE.



Gli altri 3 casi sono detti TRANSIZIONI INTERBANDA (conivolgono sia Bc che Bv). In queste transizioni elettroni e lacune non si ricombinano.

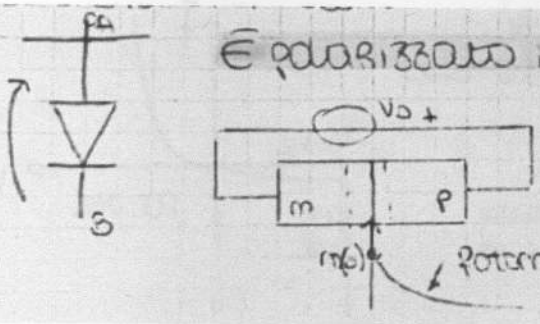


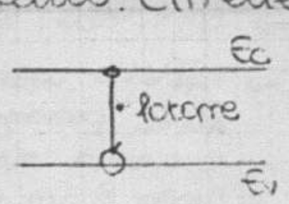
Tra le due bande avvengono transizioni RADIOATTIVE e NON RADIOATTIVE (effetto Auger)

FUNZIONAMENTO DI UN LED:
il diodo è un dispositivo lineare
i materiali utilizzati solitamente sono <u>Arseniuro di Gallio (GaAs), Fosfuro di Gallio (GaP) e GaAsP</u>

Si sceglie l'oppurtuno materiale per avere la lunghezza d'onda desiderata in uscita:

È polarizzato in diretta. Emette fotoni





La ricombinazione tra elettrone-lacuna genera un fotone

IDEALE

REALE

$\boxed{\Phi = \frac{i}{q}}$ idealmente. Nella realtà $\boxed{\Phi = \eta_i \frac{i}{q}}$. η_i efficienza intrinseca

Quindi non tutta la corrente si trasforma in fotoni.

$\boxed{P = \Phi \frac{hc}{\lambda}}$ [Watt] POTENZA DELLA RADIAZIONE LUMINOSA

$\boxed{\frac{hc}{\lambda}}$ energia del singolo fotone, Φ sono i fotoni

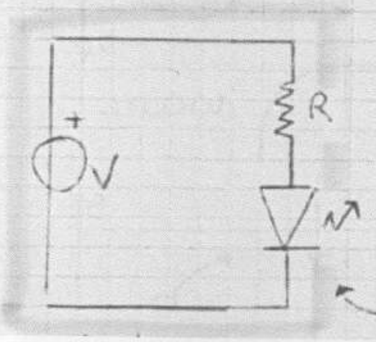
Si può definire la RESPONSIVITÀ $R = \frac{P}{i} = \eta_i \frac{hc}{q} \frac{1}{\lambda}$ $\left[\frac{Watt}{A}\right]$ ← Ampere

Inoltre $\lambda = \frac{hc}{E_{gap}} = \frac{1.24}{E_{gap}\,[eV]}$ [μm]

L'energia di GAP è tabulata e dipende dal materiale, bisogna ricordare ΔE=KT=26Mv

Per un LED a λ = 0,6μm + Δλ= 0,6μm + 13mm

Dal punto di vista circuitale:



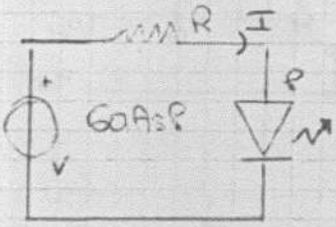
$I = \frac{V - V_{diodo}}{R}$ (quando conduce $V_{diodo}=0$)

la resistenza serve per proteggere la giunzione p-n dall'eccesso di corrente

CIRCUITO DI POLARIZZAZIONE DI UN LED

Se λ dmnuisce → Egap aumenta → bisogna aumentare la tensione con cui si polarizza il LED

ESERCIZIO



$V = 5V$ Area LED $= 0.01 cm^2$ $I = 1mA = \frac{V}{R}$

$R = 5k\Omega$ $E_{gap} = 2eV$

Si vuole calcolare la potenza P

$\lambda = \frac{1.24}{E_{gap}} = 0.62\ \mu m$

$P = 2 \cdot 0.001A = 0.002\ Watt = \frac{0.002}{0.01} = 0.2\ Watt/cm^2$

! $P_{sole} = 0.13\ Watt/cm^2$, $P_{plenilunio} = 6 \cdot 10^{-9}\ Watt/cm^2$

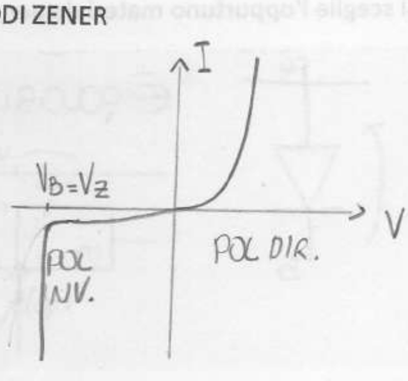
la potenza può anche essere espressa in LUMEN o in LUX = $\frac{LUMEN}{m^2}$

Esistono diodi per stabilizzare la tensione che funzionano in polarizzazione inversa: DIODI ZENER

POL. DIRETTA → come diodo normale

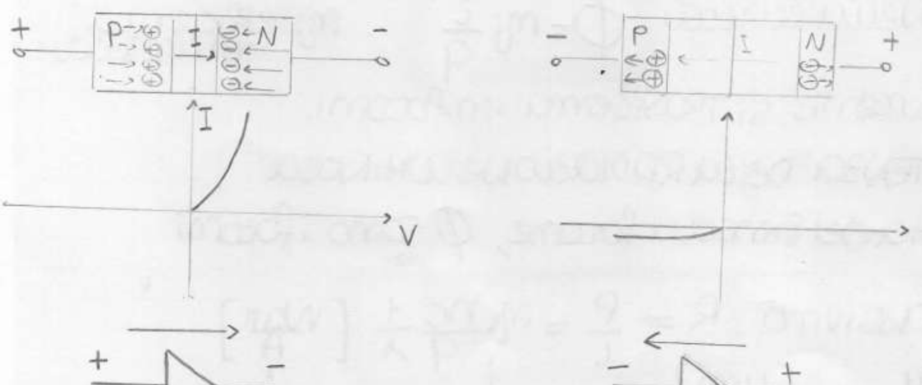
TRA $0 \div V_Z$ → interdetto (interruttore OFF)

POL. INVERSA → effetto valanga,
$V > V_Z$ forte passaggio di corrente che questo DIODO è in grado di reggere



POLARIZZAZIONE:

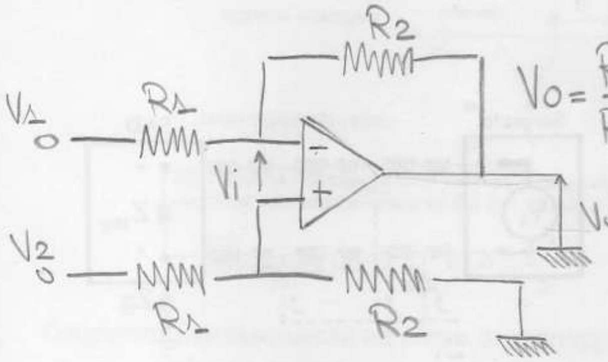
- DIRETTA   - INVERSA



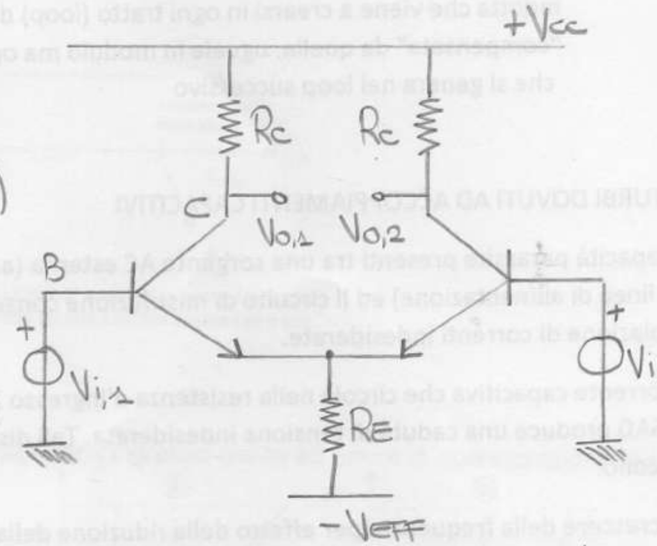
AMPLIFICATORE DIFFERENZIALE

→ amplifica la differenza dei 2 segnali in ingresso

$$\boxed{V_{OUT} = \underbrace{A_d}_{\text{GUADAGNO DI MODO DIFFERENZIALE}}(V_{in}^+ - V_{in}^-) + \underbrace{A_c}_{\text{GUADAGNO DI MODO COMUNE}}\left(\frac{V_{in}^+ + V_{in}^-}{2}\right)}$$



$$V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$$



Per rendere il circuito immune ai disturbi devo far tendere $A_c \to 0$, questo perché supponendo che il disturbo si verifiche in ugual modo su V^+ e V^-:

$A_d(V_{in}^+ - V_{in}^-)$ annulleremo tale rumore

$\left(\frac{V_{in}^+ + V_{in}^-}{2}\right)A_c$ amplifica il rumore

RAPPORTO DI REIEZIONE DI MODO COMUNE → $\boxed{CMRR = \frac{A_d}{A_c}}$ quando $A_c \to 0$ $CMRR \to \infty$

Per un amplificatore differenziale perfettamente simmetrico

$A_c = 0 \to V_{OUT} = A_d V_d = A_d(V_{in}^+ - V_{in}^-)$

per avere ciò la resistenza dell'emittitore deve essere più elevata possibile: $R_E \to \infty$

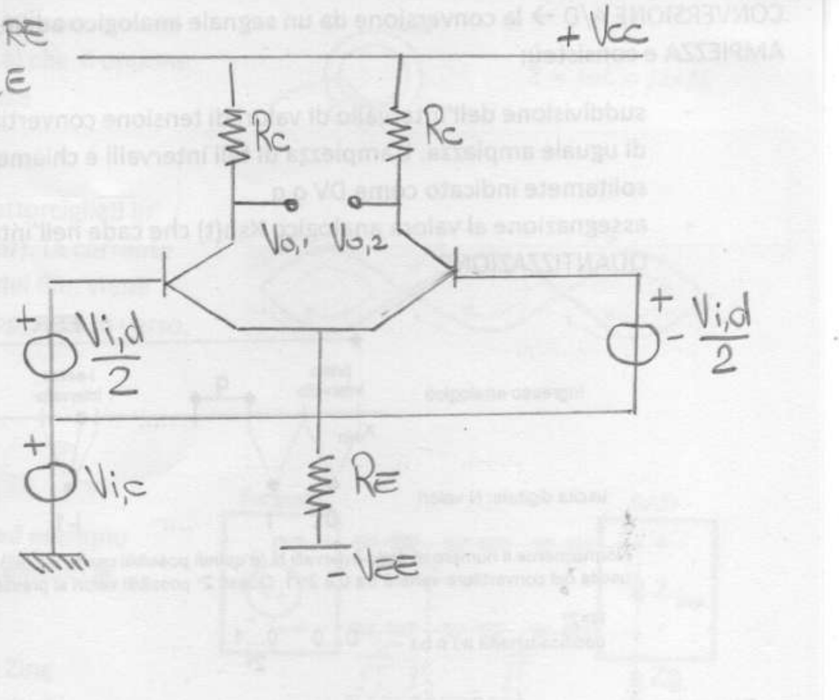
$$A_c = -\frac{R_C g_m}{1 + 2R_E r_\pi + g_m}$$

↑ TRANSCONDUTTANZA

AMPLIFICATORE DIFFERENZIALE

$$\begin{cases} V_{o,d} = V_{o,1} - V_{o,2} \\ V_{o,c} = \dfrac{V_{o,1} + V_{o,2}}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{i,d} = V_{i,1} - V_{i,2} \\ V_{i,c} = \dfrac{V_{i,1} + V_{i,2}}{2} \end{cases}$$



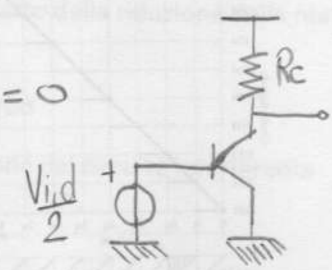
$$V_{i,1} = V_{i,d} + V_{i,2} = \frac{V_{i,d}}{2} + V_{i,c}$$

$$V_{i,2} = 2V_{i,c} - V_{i,1} = 2V_{i,c} - \frac{V_{i,d}}{2} - V_{i,c} = V_{i,c} - \frac{V_{i,d}}{2}$$

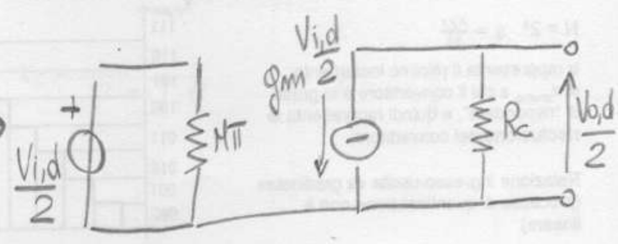
$$\begin{cases} V_{o,d} = A_d V_{i,d} \\ V_{o,c} = A_c V_{i,c} \end{cases}$$

$\boxed{\text{CASO DM:}}$

$$A_{v,c} = 0 \rightarrow V_{o,c} = 0$$

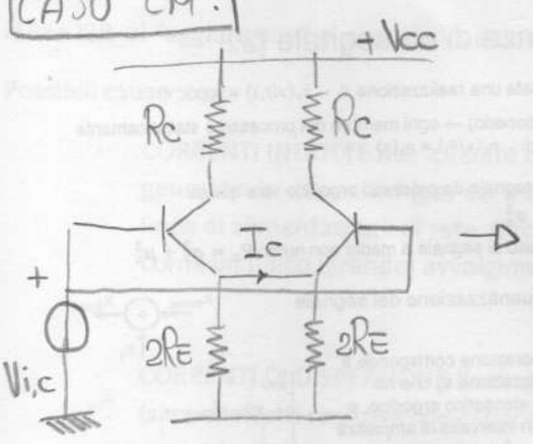


$\rightarrow$

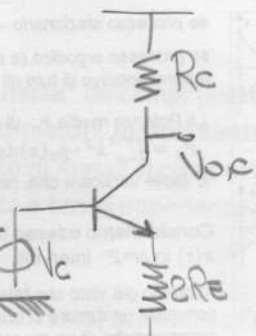


$$\frac{V_{o,d}}{2} = g_m R_C \frac{V_{i,d}}{2} \qquad \frac{V_{o,d}}{V_{i,d}} = g_m R_C = A_d$$

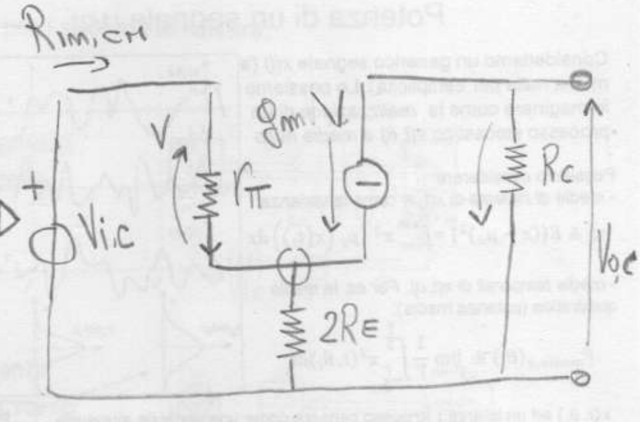
$\boxed{\text{CASO CM:}}$



$\rightarrow$



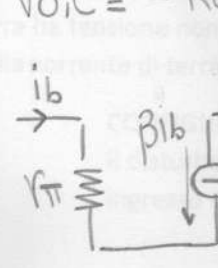
$\rightarrow$



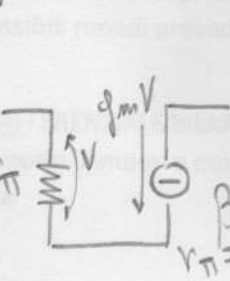
$$V_{i,c} = V + 2R_E\left(\frac{V}{r_\pi} + g_m V\right) \qquad A_c = \frac{V_{o,c}}{V_{i,c}} = \frac{-R_C g_m \cancel{V}}{\cancel{V}\left(1 + \frac{2R_E}{r_\pi} + g_m\right)}$$

$$V_{o,c} = -R_C g_m V$$

$$= -\frac{R_C g_m r_\pi}{r_\pi + 2R_E + g_m r_\pi}$$



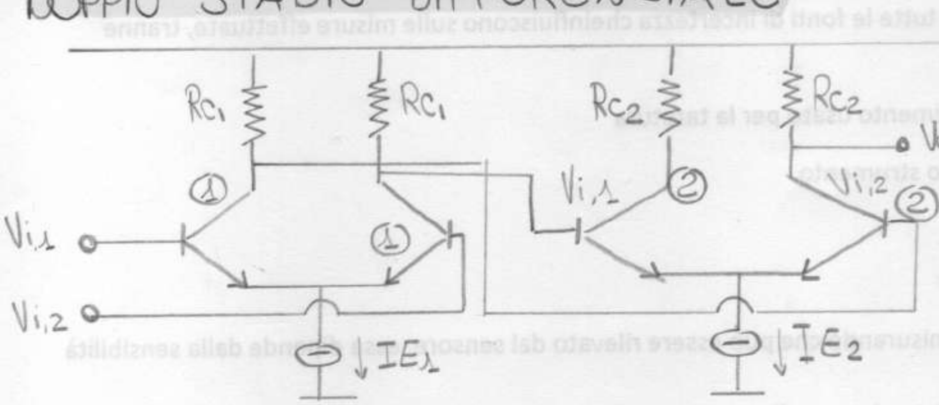
$\Leftrightarrow$



$$\beta i_b = g_m V \qquad r_\pi = V/i_b = \beta/g_m$$

A_c lo voglio $\rightarrow 0$ infatti nel caso ideale $R_E \rightarrow \infty$

DOPPIO STADIO DIFFERENZIALE



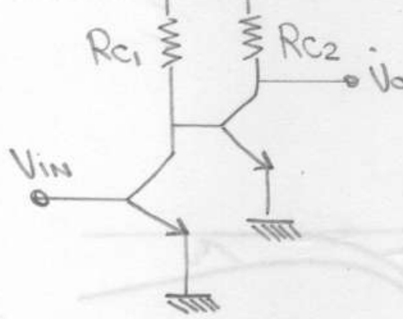
$V_{id1} = V_{i1} - V_{i2}$

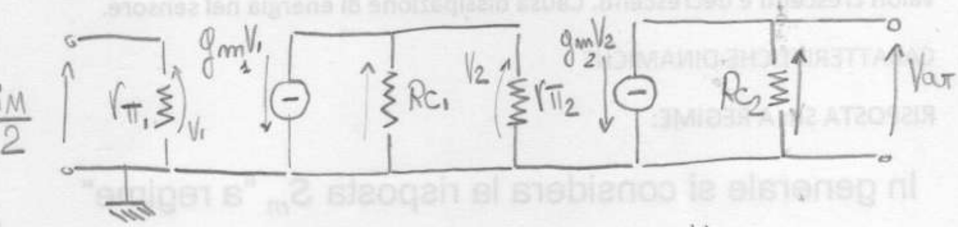
$V_{od_{①}} = V_{o1_{①}} - V_{o2_{①}}$

↓

invio in ingresso a Vid②

$A_{vc1} = 0$





$$V_{OUT} = R_{C2}\left(-g_{m2}\, R_{C1} \parallel r_{\pi 2}\right)\left(-g_{m1}\right)\frac{V_{im}}{2}$$

$$V_{OUT} = -V_{RC2} = -g_{m2}\, V_2 \cdot R_{C2}$$

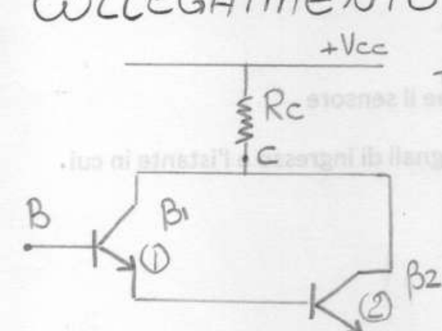
$$V_2 = (R_{C1} \parallel r_{\pi 2}) \cdot g_{m1} V_1 \qquad \text{sostituendo}$$

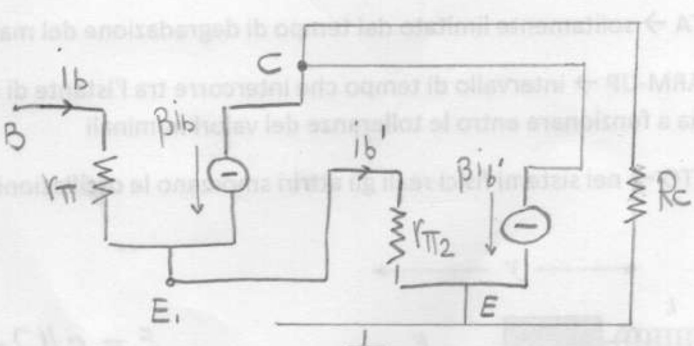
$$V_O = -g_{m2}\,(R_{C1} \parallel r_{\pi 2})(-g_{m1})\frac{V_{im}}{2} \cdot R_{C2}$$

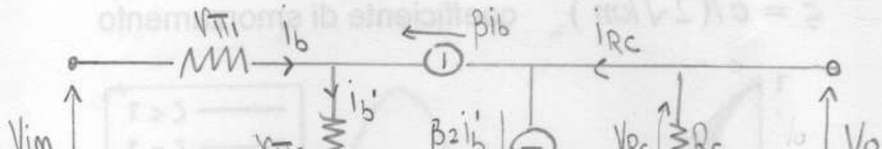
$$A_V \triangleq \frac{V_{OUT}}{V_{im}} = \frac{1}{2} R_{C2} \frac{R_{C1}\, r_{\pi 2}}{R_{C1} + r_{\pi 2}}\, g_{m1}\, g_{m2} = \frac{1}{2}\, \frac{R_{C2}\, R_{C1}\, \beta\, g_{m1}}{R_{C1} + r_{\pi 2}} \xrightarrow{\text{aumento}} A_V$$

COLLEGAMENTO DARLINGTON (aumentare Rin)

TRANSISTOR IN CASCATA





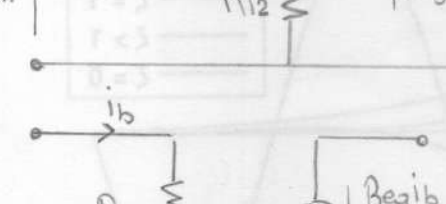


$I_{RC} = \beta_1 i_b + \beta_2 i_b'$

$i_b' = \beta_1 i_b + i_b = i_b(1+\beta_1)$

$I_{RC} = \beta_1 i_b + \beta_2 i_b(1+\beta_1)$

$\quad = i_b\underbrace{(\beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2)}_{\beta_{eq}} = i_b \beta_{eq}$



HO AUMENTATO RIM

$$R_{im} = \underbrace{r_{\pi 1} + r_{\pi 2}(\beta_1 + 1)}$$

RESISTENZA DELL' EMETTITORE RIPORTATA IN BASE

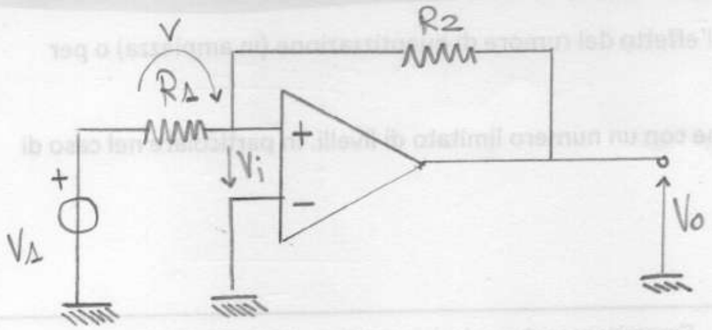
$$\beta_{eq} \triangleq \frac{I_{RC}}{i_b} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2$$

$V_{OUT} = -V_{RC} = -R_C \beta_{eq} i_b$

$V_{im} = R_{im}\, i_b$

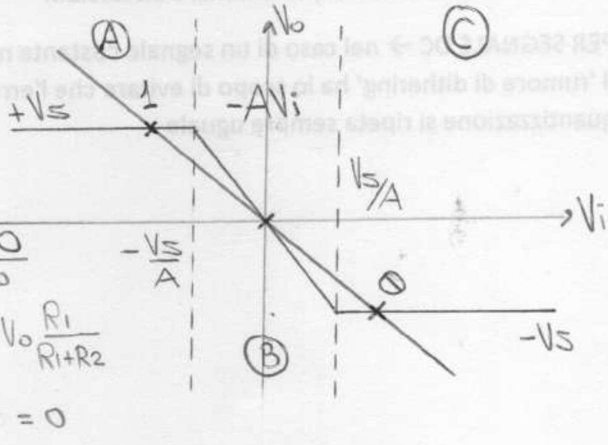
$$\frac{V_{OUT}}{V_{im}} \triangleq A_V = \frac{-R_C \beta_{eq}}{R_{im}} = \frac{-(\beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2) R_C}{r_{\pi 1} + r_{\pi 2}(\beta_1 + 1)}$$

MULTIVIBRATORE BISTABILE (usato come memorizzatore di 1 e 0)

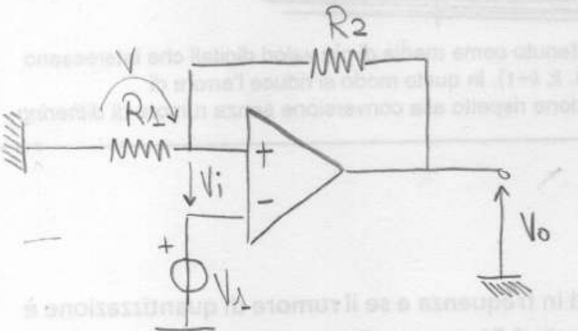


circuito che può trovarsi in due stati di funzionamento e con entrambi gli stati stabili (HO RETROAZIONE POSITIVA)

$$V_i = -V_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$ → RETTA RESISTIVA



CIRCUITO CON COMANDO PER PASSARE DA 1-0



VAR. DI CONSISTENZA

comando

$$V_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$V_i - V_1 + V = 0$$

$$V_i = V_1 - V_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

VINCOLI:

$$-V_S \leq V_o \leq V_S$$

$$V = V_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

condizione per cui ho il passaggio da 1 a 0

$$V_i = V_1 - V_o \frac{R_1}{R_1+R_2} \geq \frac{V_S}{A} \rightarrow \boxed{V_1 \geq \frac{V_S}{A} + V_o \frac{R_1}{R_1+R_2}}$$

STABILITÀ DEL CIRCUITO

guadagno in f.ne della frequenza (ZONA B) ⇒ $A = \dfrac{A_o}{1+S/W_o}$

conosco: $\begin{cases} V_o = -AV_i \\ V_i = -V_o \dfrac{R_1}{R_1+R_2} \end{cases} \rightarrow V_o = -\dfrac{A_o}{1+\dfrac{S}{W_o}}\left[-V_o \dfrac{R_1}{R_1+R_2}\right]$

$$1+\frac{S}{W_o} = A_o \frac{R_1}{R_1+R_2} \rightarrow S = W_o\left(A_o \frac{R_1}{R_1+R_2} - 1\right) < 0$$

per STABILITÀ

$$1 > A_o \frac{R_1}{R_1+R_2} \rightarrow \frac{R_1+R_2}{R_1} > A_o$$

succede raramente infatti tale circuito non lavora quasi mai come amplificatore