

AMPLIFICATORI

L'AMPLIFICATORE è un dispositivo che prende in ingresso un segnale qualsiasi e lo porta in uscita amplificato.

Esempio pratico: con una piccola forza apriamo un rubinetto ed esce più o meno acqua a seconda della forza applicata; questo vuol dire che con una piccola potenza controlliamo una grande energia.

AMPLIFICATORI OPERAZIONALI

Gli amplificatori operazionali sono integrati facili da usare.

Troviamo tre tipi di amplificatori:

- **Amplificatori di corrente** amplificano l'intensità di corrente;
- **Amplificatori di tensione** (amplificano la tensione);
- **Amplificatori di potenza** (amplificano la potenza)

AMPLIFICATORI DI TENSIONE

LE CARATTERISTICHE DI QUESTI AMPLIFICATORI SONO:

- RESISTENZA DI INGRESSO $R_i \rightarrow \infty$ (per amplificatori ideali);
- RESISTENZA DI USCITA $R_o \rightarrow 0$ (per amplificatori ideali);
- LARGHEZZA DI BANDA $B \rightarrow \infty$ (per amplificatori ideali);
- AMPLIFICAZIONE $A \rightarrow \infty$ (per amplificatori ideali)

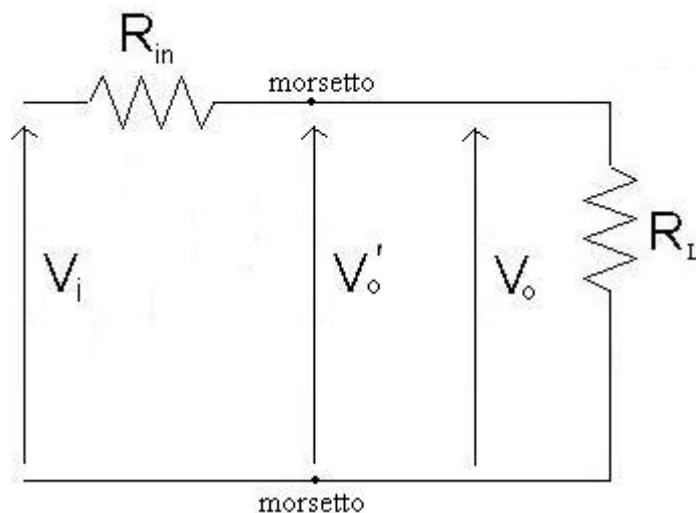
Analizziamo queste caratteristiche una per volta:

I^a CARATTERISTICA (RESISTENZA DI INGRESSO $R_i \rightarrow \infty$)

E' teoricamente possibile amplificare qualsiasi segnale; in realtà noi non amplifichiamo da 0 a ∞ perché non abbiamo tensioni infinite; infatti, in laboratorio l'alimentazione dell'amplificatore operazionale varia entro un certo range di tensione (da + 15 V a - 15 V).

Esempio: supponiamo di voler amplificare a 1000000 V; se mettiamo 1 V in ingresso, in uscita non avremo 10^6 V, ma avremo un valore leggermente minore della tensione di alimentazione (avremo tensioni tra - 13 V e + 13 V); pertanto, noi dobbiamo sempre stare dentro il range della V di alimentazione.

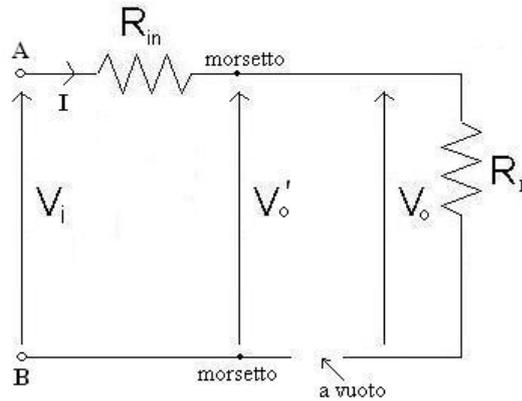
Consideriamo un circuito con un generatore qualsiasi v_i ed il nostro amplificatore (figura sottostante)



Dove:

- 1) V_i è il generatore qualsiasi;
- 2) R_{in} è la resistenza di ingresso;
- 3) V_o' e V_o sono tensioni di uscita
- 4) R_L è il carico (per intenderci ciò che attacchiamo al nostro circuito per essere alimentato: lampadina, ferro da stiro ecc. ecc..)

A) Vogliamo calcolare V'_o quando $R_L = 0$; il circuito diventa:



Applicando Kirchhoff alla maglia A-B-morsetto-morsetto, avremo:

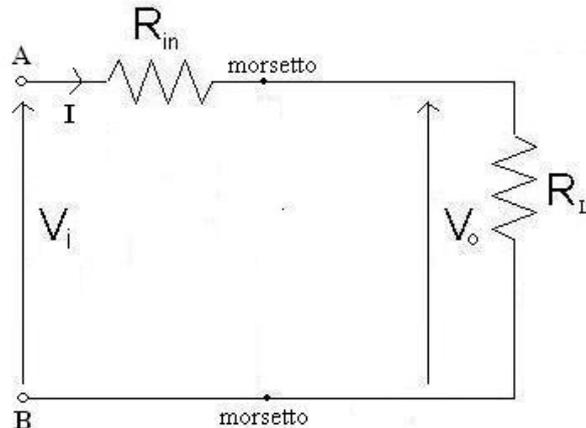
$$V_i - I \cdot R_i - V'_o = 0$$

$$V'_o = V_i - I \cdot R_i$$

il circuito è a vuoto, quindi $I = 0$, per cui :

$$V'_o = V_i \text{ (la tensione di uscita è uguale a quella del generatore)}$$

B) Ora attacchiamo il carico R_L , il circuito diventa:



Applicando il **partitore di tensione** avremo che:

$$V_o = \frac{V_i \cdot R_L}{R_i + R_L} \quad \text{formula a)}$$

quando attacchiamo la R_L la V_o diminuisce ; però, la condizione richiesta è che :

$$V_o = V_i$$

per avere valida la formula a) poniamo che il carico R_L sia molto grande rispetto ad R_i in modo da rendere trascurabile la R_i stessa; con questa ipotesi

la R_L del numeratore si semplifica con la R_L del denominatore e quindi otterremo :

$$V_o = V_i \quad \text{formula b)}$$

bisogna comunque notare che la R_i è trascurabile rispetto alla R_L per cui per avere valida la formula b) dobbiamo considerare $R_i \rightarrow \infty$ nella formula a); in questo modo, infatti, non avremo caduta di tensione su tale resistenza e la condizione $V_o = V_i$ risulta soddisfatta.

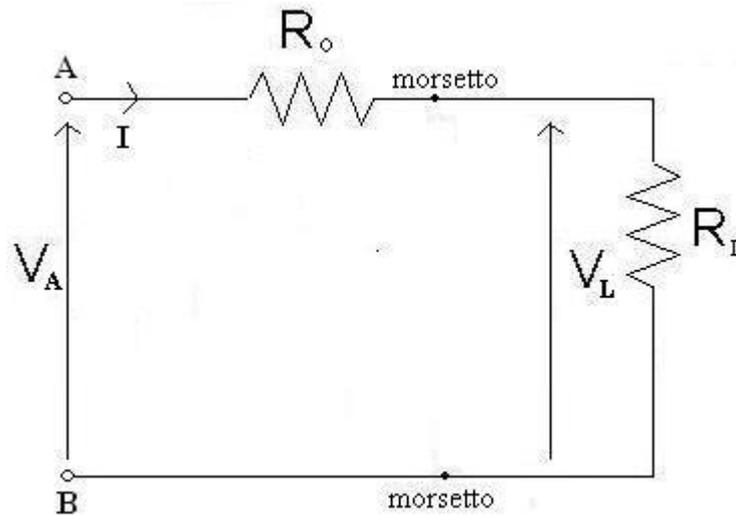
QUINDI IL NOSTRO AMPLIFICATORE HA LA RESISTENZA DI INGRESSO

$$R_i \rightarrow \infty$$

La $R_i \rightarrow \infty$ vale per amplificatori ideali, in realtà i valori per la R_i sono di 400 – 500 G Ω .

II^a CARATTERISTICA (RESISTENZA DI USCITA $R_o \rightarrow 0$)

Supponiamo che tra A e B ci sia la V_A del nostro amplificatore:



R_o = resistenza di uscita dell' amplificatore;

R_L = carico;

V_L = tensione sul carico;

V_A = tensione dell' amplificatore;

Noi sappiamo che $V_L = \frac{V_A \cdot R_L}{R_o + R_L}$

la condizione richiesta è che :

$V_L = V_A$ (tensione di carico uguale alla tensione di amplificazione)

per avere valida questa condizione poniamo che :

$R_o = 0$; otterremo :

$V_L = V_A$ valida per qualsiasi carico R_L inserito in uscita

QUINDI IL NOSTRO AMPLIFICATORE HA LA RESISTENZA DI USCITA

$R_o \rightarrow 0$

In realtà la resistenza di uscita R_o non è mai uguale a zero, ma comunque sarà molto piccola e quindi trascurabile.

III^a CARATTERISTICA (LARGHEZZA DI BANDA INFINITA)

L'AMPLIFICATORE IDEALE deve funzionare per una banda di frequenze molto ampia quindi poniamo B (banda) = ∞ .

IV^a CARATTERISTICA (AMPLIFICAZIONE O GUADAGNO DI TENSIONE INFINITA)

L'AMPLIFICATORE IDEALE deve avere un'amplificazione che deve essere la più grande possibile per soddisfare tutte le richieste [A (amplificazione) = ∞].

TABELLA RIASSUNTIVA

	Av Amplificatore di tensione	Ai Amplificatore di corrente	Ap Amplificatore di potenza
Ri	∞	0 NOTA 1	- NOTA 2
Ro	0	∞	-
B	∞	∞	∞
A	∞	∞	∞

NOTA 1: la $A_i = 0$ perchè $V = R * I$ quindi se: $R_i \rightarrow \infty$ segue che $I = 0$ non passa corrente I ed il circuito è un circuito aperto.

NOTA 2: Sappiamo che $A_p = V * I$, quindi, il valore di A_p dipende dal tipo di amplificatore

CIRCUITO EQUIVALENTE DEGLI AMPLIFICATORI OPERAZIONALI DI TENSIONE E CORRENTE (A_v ; A_i)

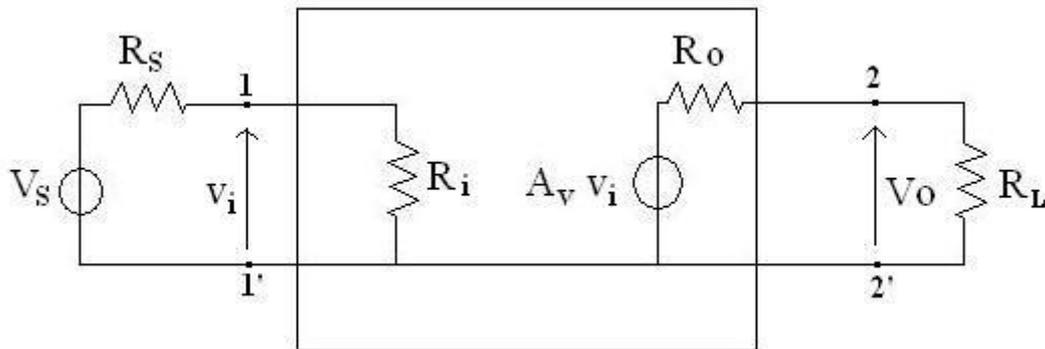
CIRCUITO DI TENSIONE

Questi circuiti indicano come si comporta l'amplificatore stesso.

Disegniamo il circuito rappresentando l'amplificatore come una scatola che ha due punti di ingresso e due punti di uscita; pertanto il nostro amplificatore è un quadripolo perché avrà 4 morsetti (2 di ingresso e 2 di uscita).

Il quadripolo da solo non funziona: all'ingresso mettiamo un generatore V_s .

NOTA BENE: Molte volte 1' e 2' sono collegati a massa, per cui il nostro amplificatore è, effettivamente, un tripolo.



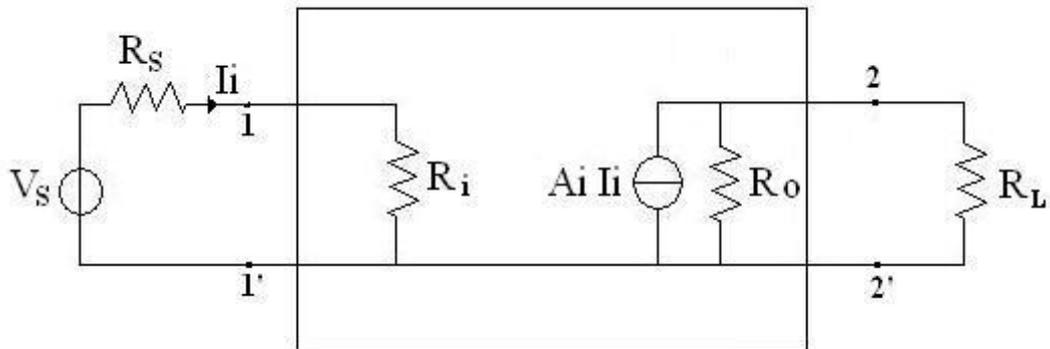
Nel circuito sopra:

- V_s è il generatore del segnale che ci arriva;
- R_s è la resistenza interna del generatore (quindi non la vediamo);
- R_i è la resistenza di ingresso sui morsetti di ingresso (idealmente vale ∞ ; nella realtà vale qualche centinaia di $M\Omega$)

In uscita abbiamo:

- $A_v V_i$ è il generatore dipendente con A_v = amplificazione o guadagno di tensione e V_i = tensione di ingresso;
- R_o è la resistenza di uscita (idealmente vale zero; in realtà basta avere dei fili di rame per avere una piccola resistenza);
- R_L è il carico;
- V_o è la tensione di uscita tra i morsetti 2 e 2'

CIRCUITO DI CORRENTE



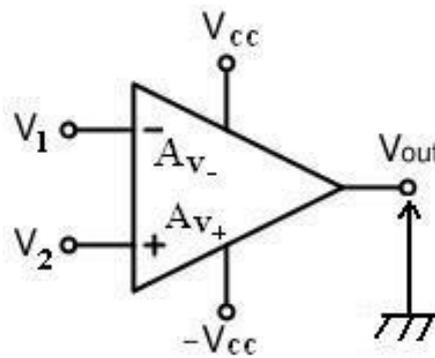
DIFFERENZE RISPETTO AL CIRCUITO DI TENSIONE:

- I_i intensità di corrente;
- $R_i = 0$ (in realtà è molto piccola $< 1\Omega$)

In uscita:

- Abbiamo il generatore di corrente dipendente $A_i I_i$;
- R_o è in parallelo (vedi Norton); R_o vale ∞ e quindi la corrente che esce dal nostro generatore dipendente va tutta sul carico R_L)

SIMBOLO AMPLIFICATORE DI TENSIONE (A_v)



Ci sono:

- 2 ingressi:
 - 1 ingresso indicato con il segno meno che sta ad indicare che ingresso ed uscita hanno segno opposto (ingresso invertente);
 - 1 ingresso indicato con il segno + (ingresso non invertente)
- 1 uscita (totale ingressi + uscita = 3 morsetti);
- 2 alimentazioni opposte V_{cc} e $-V_{cc}$ (alimentazione duale);
- A_{v-} è l'amplificazione di tensione del morsetto negativo
- A_{v+} è l'amplificazione di tensione del morsetto positivo

Vogliamo calcolare l'uscita V_o a partire dai segnali di ingresso V_1 e V_2 ;

Supponendo un comportamento lineare del nostro amplificatore, possiamo calcolare la V_o con il principio di sovrapposizione degli effetti:

$$V_o = -A_{v-} \cdot V_1 + A_{v+} \cdot V_2$$

In generale $A_{v-} \neq A_{v+}$; la differenza però è minima cosicchè le due amplificazioni A_{v-} e A_{v+} si possono considerare quasi uguali, pertanto la nostra amplificazione (detta anche guadagno di tensione) è A_v

Sostituendo avremo:

$$V_o = A_v (V_2 - V_1)$$

Sappiamo che l'amplificazione A_v è elevatissima, ma la tensione di uscita V_o è limitata entro valori che non si discostano molto dalle tensioni di alimentazione (ricordiamo che in laboratorio le tensioni di alimentazione vanno da + 15 V a - 15 V, per cui la nostra uscita V_o assume valori tra + 13 V e - 13 V circa), quindi, avremo che:

se $V_2 > V_1 \Rightarrow V_o$ positiva

se $V_2 < V_1 \Rightarrow V_o$ negativa

se $V_2 = V_1 \Rightarrow V_o = 0$

NOTA :In generale V_2 non è mai uguale a V_1 .

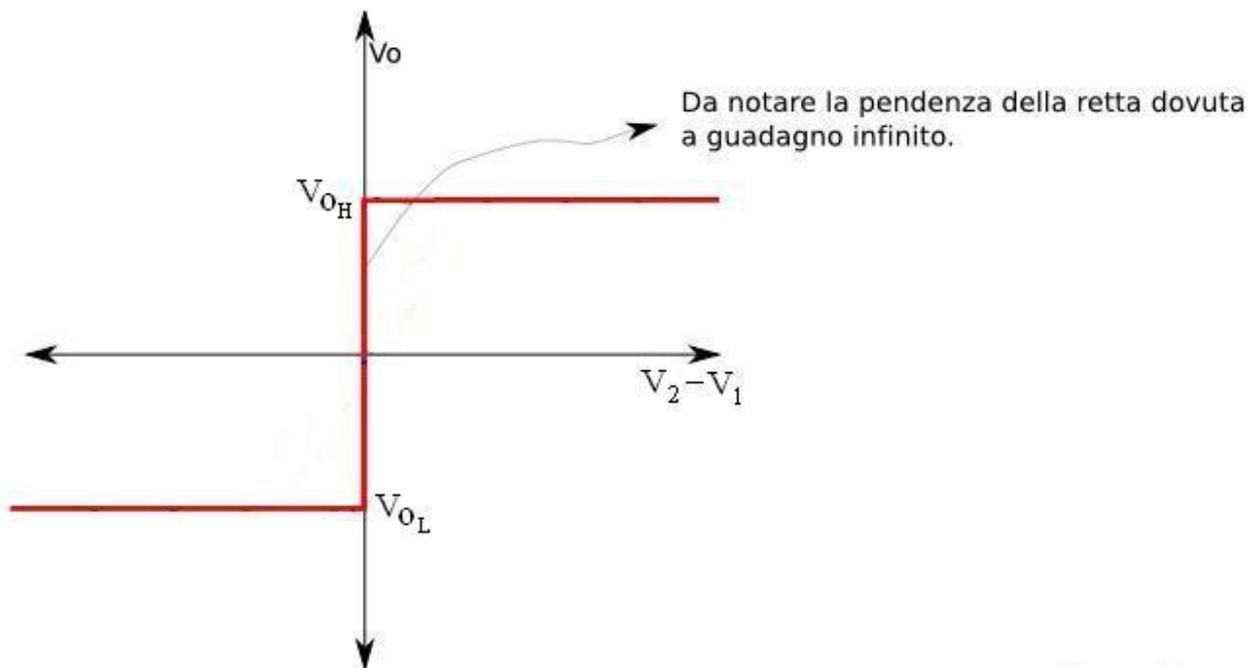
Da queste considerazioni si deduce che l'amplificatore operazionale si può usare come COMPARATORE DI LIVELLI DI TENSIONE.

Il comparatore infatti :

- ha due ingressi ai quali si applicano le due tensioni da confrontare V_2 e V_1 ;
- un'uscita V_o mediante la quale il dispositivo ci informa se $v_1 > v_2$ oppure se $v_1 < v_2$

L'amplificatore operazionale, in questo caso, si chiama COMPARATORE NON REAZIONATO (non reazionato perché l'uscita non è collegata all'ingresso); quindi il COMPARATORE si dice che lavora a **catena aperta**.

Ora studiamo il grafico dell'uscita V_o ; esso è il seguente



Relazione ingresso uscita nel caso Ideale (in rosso)

Si capisce che:

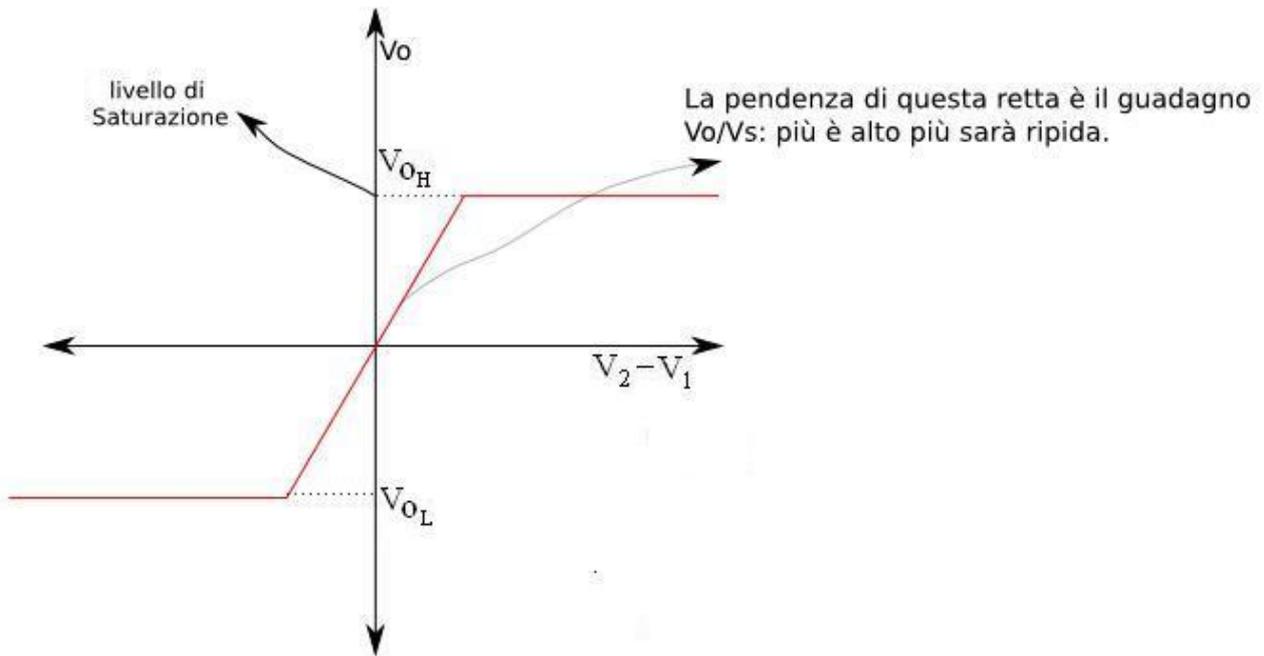
$$\text{se } V_2 > V_1 \Rightarrow V_o = V_{o \max \text{ positivo}}$$

$$\text{se } V_2 < V_1 \Rightarrow V_o = V_{o \max \text{ negativo}}$$

La pendenza della retta rappresenta il valore A_v del nostro amplificatore di tensione che nel caso in questione assume valore infinito.

Dal grafico si capisce che l'uscita V_o oscilla tra il valore massimo positivo e quello massimo negativo; i valori intermedi non li assume mai; per questo motivo, i COMPARATORI NON REAZIONATI si usano poco.

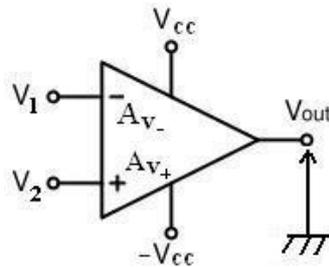
Ad ogni modo, il passaggio tra $V_{O_{max\ positivo}}$ e $V_{O_{max\ negativo}}$ (nel grafico sotto chiamate rispettivamente V_{OH} e V_{OL}) non è istantaneo; pertanto, l'amplificazione A_v è data dal coefficiente angolare della retta (per intenderci: è data dalla pendenza della retta).



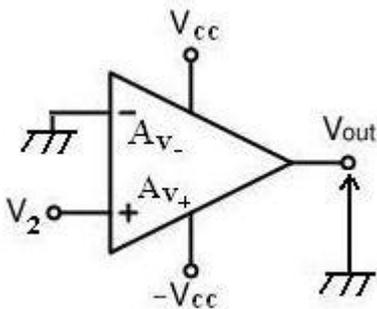
NOTA: $V_2 - V_1 = V_s$

CASI PARTICOLARI

Abbiamo visto che in generale $V_o = A_v(V_2 - V_1)$;



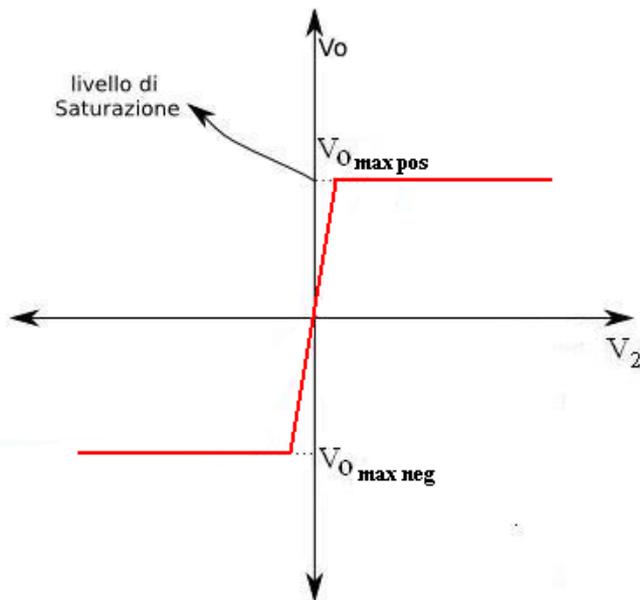
CASO 1) Supponiamo V_1 a massa ($V_1 = 0$)



$$V_1 = 0$$

se $V_2 > 0 \Rightarrow V_o = V_{O \max \text{ positivo}}$

se $V_2 < 0 \Rightarrow V_o = V_{O \max \text{ negativo}}$



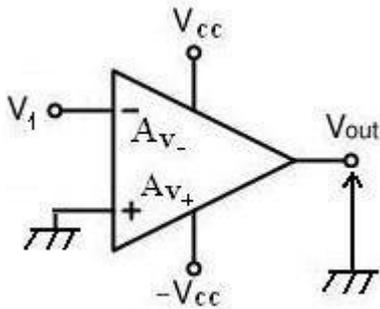
Dal grafico a destra si capisce che l'amplificatore operazionale a catena aperta può essere usato come **COMPARATORE DI LIVELLI DI TENSIONE**: per es., il circuito in fig, fornisce in uscita un livello V_o massimo positivo quando $V_2 > 0$ ed un livello massimo negativo quando $V_2 < 0$; costituisce, pertanto, un rivelatore di passaggio per lo zero del segnale di ingresso.

Come ha detto il Prof:

con un ingresso a zero (V_1 a massa), si ha che quando V_2 passa per lo zero, V_o cambia segno

CASO 2) Supponiamo V_2 a massa ($V_2 = 0$)

Ricordiamo che in generale $V_o = A_v(V_2 - V_1)$;



$$V_2 = 0$$

$$\text{se } V_1 > 0 \Rightarrow V_o = V_{o \text{ max negativo}}$$

$$\text{se } V_1 < 0 \Rightarrow V_o = V_{o \text{ max positivo}}$$

