



## 1. Introduzione

### 1.1 Scopo dell'esercitazione

Gli obiettivi di questa esercitazione sono:

- Analizzare il comportamento e misurare i parametri di moduli amplificatori
- Verificare alcune deviazioni rispetto al comportamento previsto con i modelli di prima approssimazione.

E' previsto il confronto tra i risultati dei calcoli e le misure. In questa esperienza alcuni dei comportamenti rilevati sperimentalmente mettono in evidenza i limiti dei modelli semplificati utilizzati nelle lezioni.

#### *Nota:*

Alcuni punti della relazione sono precompilati. Procedendo nella sequenza di esercitazioni si riduce via via la parte di relazione già predisposta, fino ad arrivare alla stesura completa da parte dello studente.

### 1.2 Moduli e strumenti da utilizzare

I circuiti richiesti sono premontati; durante l'esercitazione devono solo essere collegati gli strumenti sui punti di misura (alimentatore, generatore di segnale all'ingresso, oscilloscopio e multimetro). Viene utilizzato solo il modulo A2 (si veda a pagina 11 lo schema circuitale dettagliato del modulo).

#### *Nota:*

Qualunque relazione di misure sperimentali deve contenere informazioni che permettano di ricostruire la situazione in cui sono state eseguite le misure. È quindi necessario specificare le caratteristiche degli strumenti usati (marca, modello, serial number). Prima di avviare le misure deve essere verificata (almeno qualitativamente) la funzionalità degli strumenti e la rispondenza dei dati di targa a quanto richiesto per l'esperimento.

### 1.3 Predisposizione delle basette

I circuiti su cui eseguire le misure sono premontati su piastre a circuito stampato realizzate appositamente per queste esercitazioni. Le variazioni nella configurazione circuitale si ottengono tramite interruttori, come indicato nella descrizione di ciascuna esperienza. La **posizione** e il **nome** degli interruttori sono indicati da una serigrafia sul circuito stampato. Codici, significati e uso degli interruttori sono descritti nel testo di ogni esperienza.

Per i collegamenti con l'esterno sono predisposti connettori coassiali (ingresso segnali), boccole/morsetti (alimentazioni, quando richieste), e ancoraggi sui punti di misura (per collegare le sonde dell'oscilloscopio o altri strumenti).

Di norma non devono essere inseriti o cambiati componenti durante l'esercitazione.

La basetta di questa esercitazione comprende due amplificatori; per l'ingresso ( $V_i$ ) è presente un connettore BNC seguito dai gruppi R-C-interruttori di ingresso; il deviatore S1 permette di inviare il segnale al modulo invertente o a quello non invertente. Le uscite dei due moduli, selezionate tramite S2, vanno ai



gruppi  $R$ - $C$ - $SW$  d'uscita e da questi al morsetto di uscita  $V_u$  secondo lo schema a blocchi di principio di Figura 1.

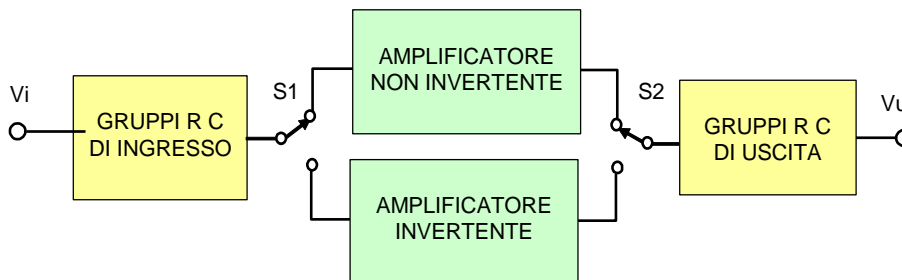


Figura 1: Schema a blocchi di principio

### 1.4 Uso dell'alimentatore duale

Sui banchi sono disponibili alimentatori doppi o tripli. Per questa esercitazione occorre usare un alimentatore doppio, predisposto in modo da fornire rispetto a massa una tensione positiva di 12 V e una tensione negativa di 12 V (cfr Figura 2).

Un alimentatore doppio (o duale) contiene due generatori di tensione indipendenti, portati su due coppie di morsetti (di solito rosso per il positivo e nero per il negativo) separate. Altri morsetti, marcati GND (Ground o Earth generalmente di colore verde o bianco) sono collegati alla terra della rete elettrica. Massa (nodo scelto come potenziale zero di riferimento nel circuito) e terra (collegamento al "terreno", generalmente attraverso un paletto interrato in zona umida) sono due cose diverse, che vanno considerate nodi indipendenti. Possono essere collegate assieme per motivi di sicurezza elettrica, ma in queste esercitazioni non è necessario eseguire collegamenti tra massa (nodo di riferimento dei circuiti) e terra (morsetto collegato alla terra della rete elettrica).

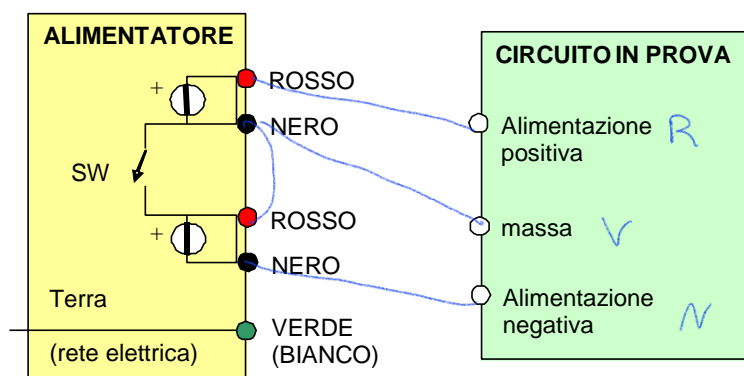


Figura 2: Schema del generatore DC

Alimentatore e circuito in prova vanno collegati in modo tale che i due generatori indipendenti dell'alimentatore forniscano al circuito una tensione positiva e una negativa rispetto a massa.

I comandi dell'alimentatore permettono di impostare la tensione di uscita (al valore nominale richiesto) e la massima corrente.

Le tensioni devono essere predisposte al valore corretto prima di collegare il circuito da alimentare.



La limitazione di corrente interviene in caso di guasti o errori, e va predisposta a un valore tale da non danneggiare il circuito.

In alcuni alimentatori doppi sono presenti anche altri comandi. In particolare, per l'alimentazione bilanciata è utile la modalità detta "Tracking".

#### **Tracking (o "serie"):**

Mette in "inseguimento" uno degli alimentatori; le tensioni fornite dai due diventano eguali, e controllate da un unico comando. Generalmente l'attivazione del tracking chiude l'interruttore SW, e mette in collegamento – all'interno dell'alimentatore – il morsetto positivo di un generatore con il negativo dell'altro (corrispondenti a due morsetti adiacenti sul frontale). Questo nodo deve essere usato come potenziale di riferimento, e va collegato alla massa del circuito. La configurazione tracking va usata quando servono tensioni positive e negative identiche.

In queste esercitazioni non utilizzare i morsetti di terra della rete.

### **1.5 Homework**

Per alcune misure è previsto il confronto con risultati di calcoli. I calcoli vanno eseguiti prima dell'esercitazione, con i dati numerici forniti nella guida.

I dati numerici comprendono i valori nominali e le tolleranze dei componenti; i calcoli possono essere eseguiti usando solo i valori nominali, oppure cercando di determinare il campo di risultati possibili in base alle tolleranze.

Il risultato della misura è a sua volta affetto da errori per l'imprecisione degli strumenti ed altre cause.

È quindi ragionevole aspettarsi una discrepanza tra risultati di calcoli e misure (anzi, valori perfettamente identici inducono perplessità sulla corretta esecuzione delle misure). Le fasce dovute alle tolleranze dei componenti e quella dovuta agli errori di misura devono avere campi di sovrapposizione. In queste esercitazioni non è espressamente richiesta una verifica quantitativa di questa corrispondenza, ma è utile esprimere sintetiche considerazioni qualitative.

### **1.6 Esecuzione delle misure**

Per ciascuna misura viene utilizzato uno dei circuiti premontati sul modulo sperimentale, predisposto secondo la configurazione indicata.

#### **Nota:**

Questa è la prima esercitazione in cui vengono utilizzati circuiti attivi, che richiedono alimentazione. Prima di collegare l'alimentatore, impostare le tensioni di uscita al valore desiderato. Gli strumenti sull'alimentatore generalmente non sono precisi, quindi può essere opportuno verificare le tensioni con uno strumento esterno (tester o multimetro).

Quando si usa un generatore di segnali occorre sempre chiedersi a quale livello di uscita vada impostato. Tensioni troppo basse rendono difficoltosa l'esecuzione delle misure, e tensioni troppo alte potrebbero danneggiare alcuni componenti.

I risultati delle misure eseguite vanno riportati nelle tabelle già predisposte per ciascuna misura e raggruppate nella traccia di relazione, riportata in coda a questo documento. La relazione da consegnare si deve basare sulla traccia completata con i dati richiesti.

## 2 Misure

### 2.1 Parametri di un amplificatore

#### 2.1.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo “A2-amplificatore non invertente”, e configurarlo come di volta in volta indicato. Lo schema indicato nella scatola grigia (Figura 3) è il circuito equivalente dell’amplificatore visto come doppio bipolo; il modulo contiene circuiti attivi (quindi richiede alimentazione), ma i dettagli del circuito interno non sono significativi per questa esercitazione, che è focalizzata sul comportamento rilevabile ai morsetti esterni.

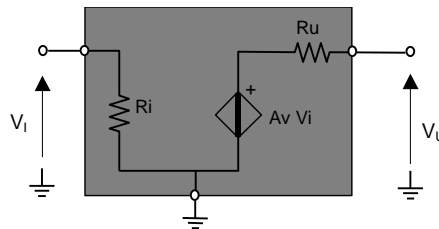


Figura 3: Doppio bipolo equivalente dell’amplificatore non invertente

#### Collegamento degli strumenti

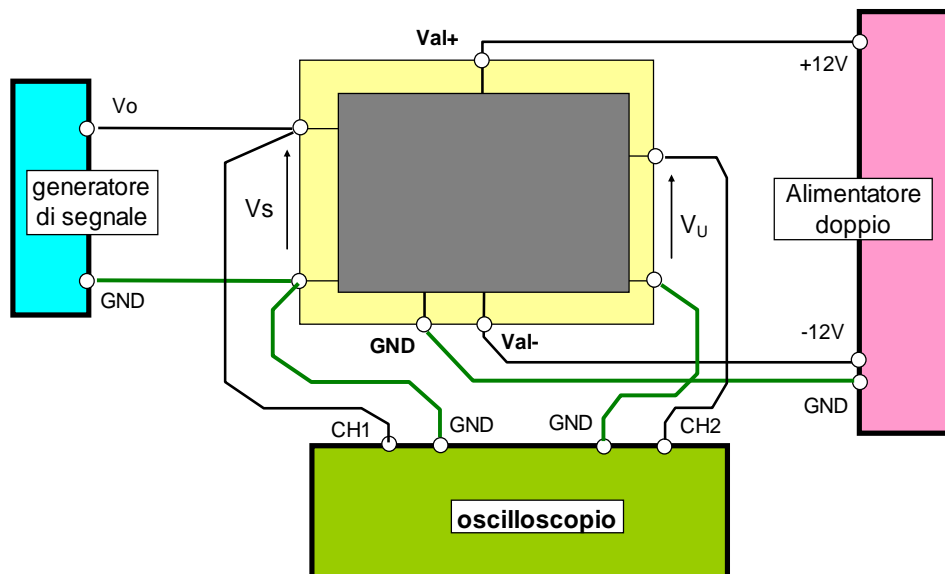


Figura 4: Schema di collegamento per la misura dell’amplificatore non invertente

Il connettore BNC per il segnale di ingresso è marcato J1 sulla piastra.

Il punto di connessione del segnale d’uscita è marcato J6 (massa su J7).



L'alimentazione viene portata tramite il connettore J8. Per queste esperienze le alimentazioni positiva e negativa devono essere entrambe predisposte a 12 V.

### 2.1.2 Homework

I dati nominali dell'amplificatore oggetto delle misure sono:

$$A_v = 9.33 \pm 10\% \quad \text{--- (8.4 - 10.263)}$$

$$R_i = 10 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

$$R_u = 1 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

*misurata:*

$$V_{OUT} = 9 \text{ V (gialla)}$$

$$V_{IN} = 1.2 \text{ V (blu)}$$

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \approx 9 \quad \rightarrow$$

Questi dati dovranno essere confrontati con quelli ricavati dalle misure (tenendo conto della tolleranza sui dati nominali e degli errori di misura).

### 2.1.3 Misura del guadagno

Predisporre la basetta in modo da applicare direttamente la tensione del generatore all'ingresso del modulo, con uscita a vuoto (Figura 5).

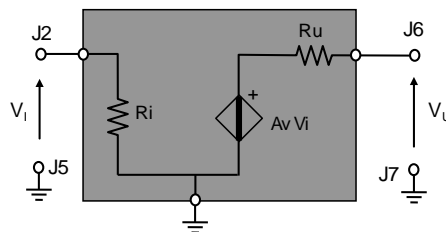


Figura 5: Schema dell'amplificatore non invertente

### Tabella interruttori

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S1	2	
S2	2	
S3	2	chiuso
S4	2	chiuso
S5	2	chiuso
S6	1	aperto
S7	1	aperto
S8	1	aperto
S9	1	aperto

*misurata:*

$$V_{OUT} = 9 \text{ V (gialla)}$$

$$V_{IN} = 1.2 \text{ V (blu)}$$

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \approx 9 \quad \rightarrow$$

- Applicare all'ingresso un segnale sinusoidale, frequenza 0.8 kHz, ampiezza picco picco  $V_{pp} = 1 \text{ V}$
- collegare ai due canali dell'oscilloscopio ingresso e uscita del circuito, e misurare il rapporto  $A_v = V_u/V_i$ ; esprimere  $A_v$  anche in dB



### 2.1.4 Misura della resistenza equivalente di ingresso

Una delle tecniche per misurare la resistenza di ingresso è la seguente: si inserisce una resistenza in serie al generatore (per eseguire una misura più precisa, è preferibile che la resistenza esterna abbia un valore dello stesso ordine di grandezza del valore stimato per la resistenza di ingresso). La resistenza forma un partitore con la resistenza di ingresso del modulo; una resistenza è nota (quella inserita volutamente), l'altra è incognita. Da misure di tensione prima e dopo l'inserimento della resistenza nota, è possibile determinare il valore della resistenza incognita.

Predisporre la basetta in modo da poter inserire in serie all'ingresso la resistenza R9 da 10 kΩ (Figura 6).

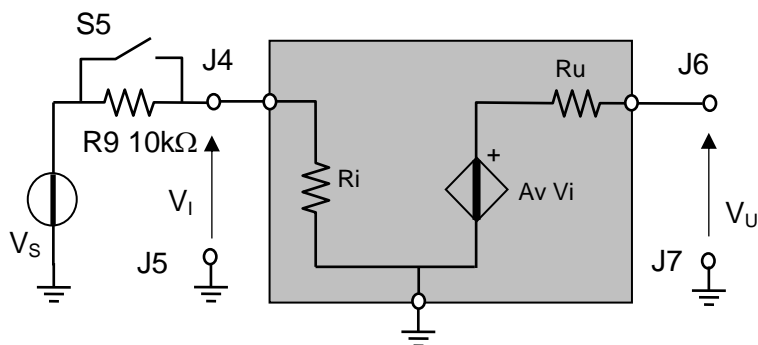


Figura 6: Schema dell'amplificatore invertente nella configurazione adatta per la misura di  $R_i$

### Tabella interruttori

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S1	2	
S2	2	
S3	2	chiuso
S4	2	chiuso
S5	1	R9 inserita
	2	R9 in corto
S6	1	aperto
S7	1	aperto
S8	1	aperto
S9	1	aperto

$$\begin{aligned} & \begin{cases} S4 = 0 \\ S5 = 1 \end{cases} \\ & R9 = 5.3 \text{ k}\Omega \\ & R9 = 10 \text{ k}\Omega \\ & \begin{cases} S4 = 1 \\ S5 = 1 \end{cases} \end{aligned}$$

- Misurare la tensione (AC) in uscita con R9 inserita e cortocircuitata (ingresso sinusoidale,  $V_{pp} = 1 \text{ V}$ , frequenza 800 Hz)
- Dalle misure e dal valore di R9 determinare la resistenza equivalente di ingresso dell'amplificatore ( $R_i$ ). *partitore*

$$V_{OUT} = 9 \text{ V (gialla)} \rightarrow \text{quando } R9 \text{ in corto (come prima)}$$

$$V_{OUT}' = 4.840 \text{ V (gialla)} \rightarrow \text{quando } R9 \text{ inserita}$$



Si sceglie di eseguire la misura sulla tensione d'uscita, invece che su quella d'ingresso, per disporre di valori più elevati. La misura può essere eseguita col multimetro (ACV) o con l'oscilloscopio (misurare il picco-picco).

Il valore della resistenza R9 può essere letto sul componente (usando il codice dei colori).

### 2.1.5 Misura della resistenza equivalente di uscita

La tecnica di misurare tensione a vuoto e corrente di cortocircuito è applicabile sulla carta, ma non in laboratorio: il cortocircuito all'uscita può portare il modulo in zona di funzionamento non lineare (saturazione), dove non è più valido il modello lineare semplificato. È invece possibile inserire un carico (tale da mantenere il modulo in linearità – condizione verificabile osservando il segnale di uscita con un oscilloscopio), e misurare la variazione tra tensione a vuoto e tensione con il carico. Anche qui si tratta di calcolare una delle resistenze di un partitore, date le tensioni e la resistenza di valore noto.

Predisporre la basetta in modo da poter inserire in parallelo all'uscita la resistenza di carico R10 da 1 kΩ (Figura 7).

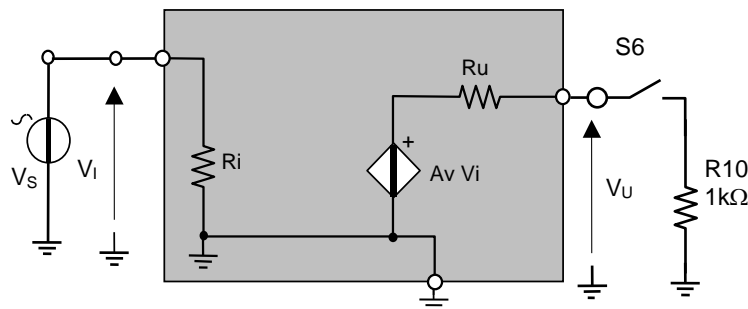


Figura 7: Schema dell'amplificatore invertente nella configurazione adatta per la misura di  $R_u$

### Tabella interruttori

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S1	2	
S2	2	
S3	2	chiuso
S4	2	chiuso
S5	2	chiuso
S6	1	R10 scollegata
	2	R10 inserita
S7	1	aperto
S8	1	aperto
S9	1	aperto

- a) Applicare in parallelo all'uscita la resistenza di carico R10,

$\rightarrow V_{out}'' = 4.840 \text{ V (gialla) con } R10 \text{ inserita}$   
 con R10 non inserita  $\Rightarrow 9 \text{ V}$

- b) Misurare la tensione di uscita  $V_u$  (AC) a vuoto e con la resistenza  $R_{10}$  inserita (ingresso sinusoidale,  $V_{pp} = 1$  V, frequenza di 800 Hz)

Dalle misure e dal valore di  $R_{10}$  determinare la resistenza equivalente di uscita dell'amplificatore ( $R_u$ ).

## 2.2 Risposta in frequenza di un amplificatore con celle RC esterne.

### 2.2.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A2 – amplificatore non invertente, e configurarlo secondo la tabella interruttori seguente (si veda la Figura 8).

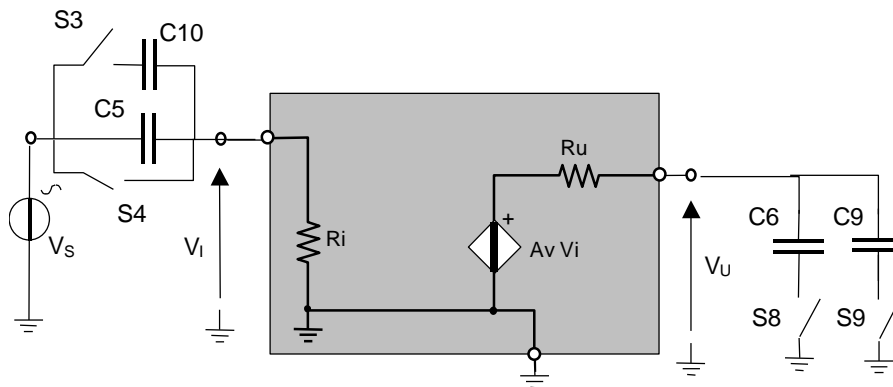


Figura 8: Schema di amplificatore non invertente per l'inserimento delle celle RC esterne

### Tabella interruttori

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S1	2	
S2	2	
S3	2	C10=3.3 nF inserito
S4	1	C5=10 nF non cortocircuitato
S5	2	chiuso
S6	1	aperto
S7	1	aperto
S8	2	C6=10 nF inserito
S9	1	C9=1 nF non inserito

Gli strumenti sono collegati come per l'esperimento precedente.

### 2.2.2 Homework

Calcolare la posizione dei poli e dello zero e la curva di risposta  $|V_u/V_s|$  per questo circuito. Il risultato sia confrontato con le misure.



### 2.2.3 Misure

- a) Eseguire le misure di guadagno per frequenze da 300 Hz a 1 MHz, con due misure per decade (valori 1 e 3); riportare i risultati in tabella e nel grafico (notare che si tratta di un diagramma di Bode del modulo, con asse delle frequenze logaritmico e ampiezza in dB).

Ampiezza consigliata per  $V_s$ :

- $V_{pp} = 1 \text{ V}$  fino a 30 kHz,
- $V_{pp} = 0.2 \text{ V}$  da 100kHz.

- b) Confrontare i risultati della misura con i risultati dei calcoli.



## 2.3 Amplificatore invertente

### 2.3.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A2 -amplificatore invertente, e configurarlo secondo la tabella interruttori seguente (Figura 9).

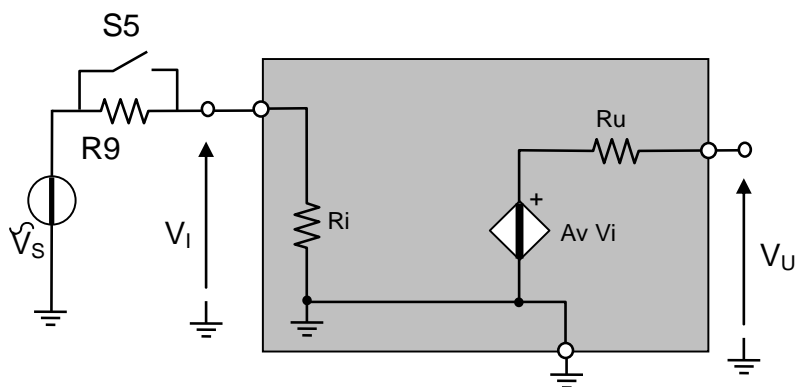


Figura 9: Schema per la misura dell'amplificatore invertente

### Tabella interruttori

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S1	1	
S2	1	

Gli altri interruttori vanno posizionati in modo identico a quanto visto per lo stadio non invertente, a seconda della misura da effettuare:

- guadagno (tabella a pag. 5)
- resistenza equivalente di ingresso (tabella a pag. 6)
- resistenza equivalente di uscita (tabella a pag. 7)

$$V_{OUT} = 10.2$$

$$V_{IN} = 1 \text{ V}$$

$$V_{OUT} = 6.16$$

$$V_{IN} = 1$$

com  $R_{inseiz}$

$$V_{OUT} = 10.2$$

$$V_{IN} = 1$$

### 2.3.2 Misure

Utilizzando un segnale sinusoidale

- a) verificare l'inversione di fase tra  $V_s$  e  $V_u$
- b) determinare il guadagno a 1 kHz



- c) misurare la resistenza equivalente di ingresso  $R_i$  (con la stessa tecnica usata nel punto 2.1). Confrontarla con il valore nominale ( $15 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ ). Il valore della resistenza  $R_9$  può essere letto sul componente (usando il codice dei colori). Il valore misurato per  $R_i$  può essere confrontato con quello calcolato dagli schemi di pag 10 e 11
- d) verificare che la  $R_u$  ha valore trascurabile — *con S6 non cambia valore*

## 2.4 Dentro la scatola nera

I moduli oggetto di misura in questa esercitazione sono realizzati con un amplificatore operazionale reazionato. Di seguito si riporta una descrizione dettagliata dei circuiti contenuti negli stadi della scheda A-2.

**ATTENZIONE:** Gli schemi sono indicativi. I componenti attivi effettivamente montati sulle schede possono essere diversi.

Schema interno per la configurazione con guadagno positivo (usata nei punti 2.1 e 2.2, Figura 10).

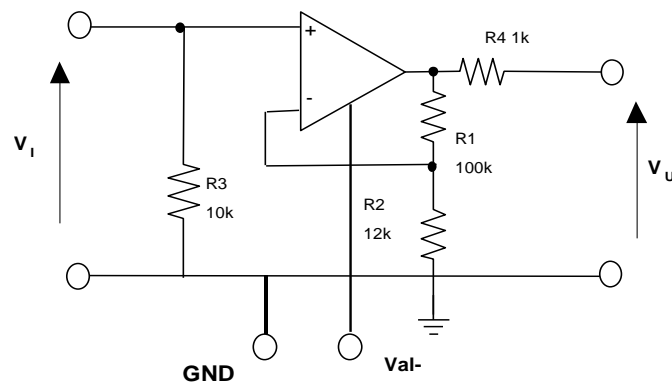


Figura 10: Schema interno per la configurazione non invertente

Schema interno per la configurazione con guadagno negativo (usata nel punto 2.3, Figura 11).

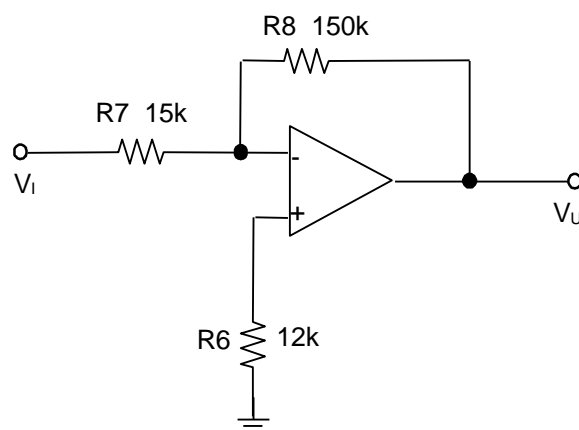
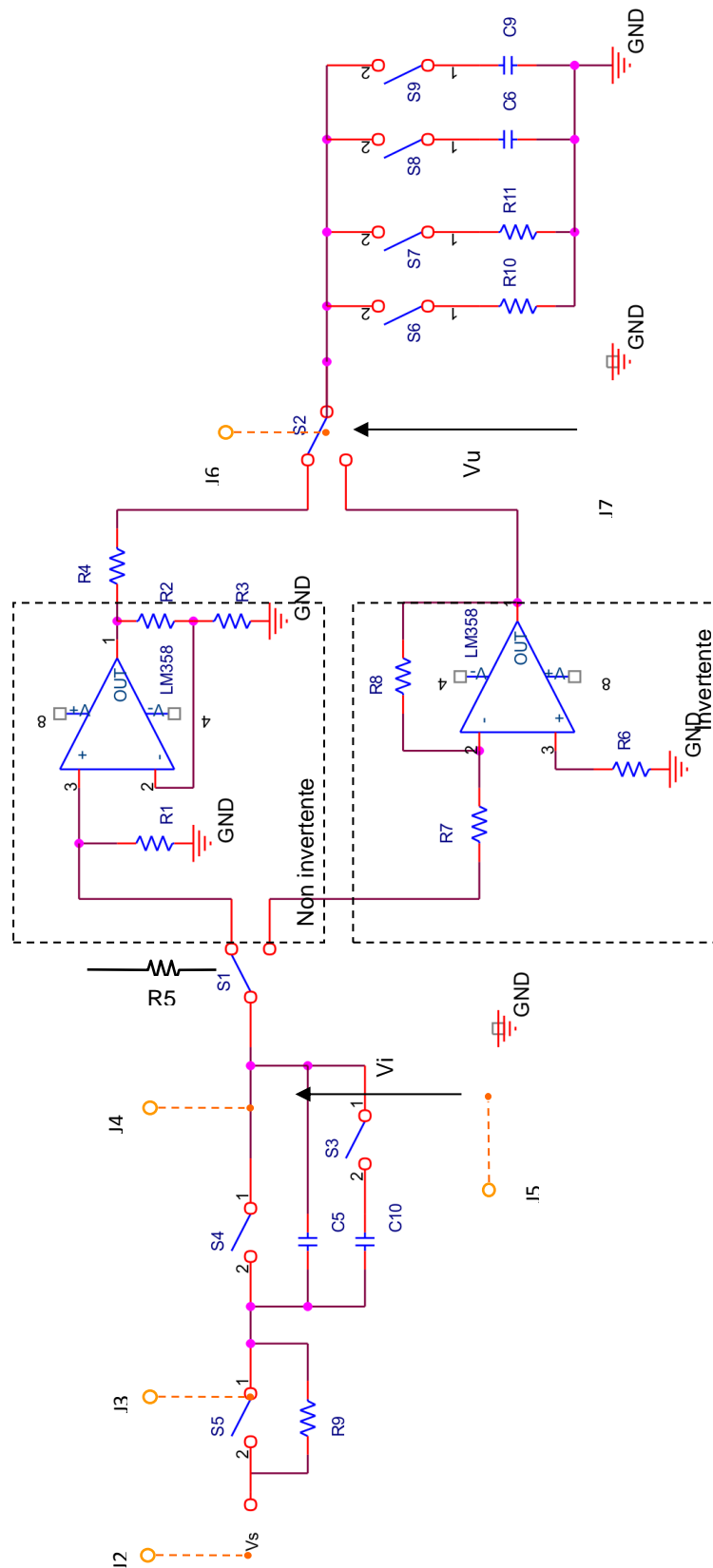


Figura 11: Schema interno per la configurazione invertente



Schema completo della piastra di misura A-2





### 3 Traccia per la relazione

#### Esercitazione 1: Misure su amplificatori

Data:

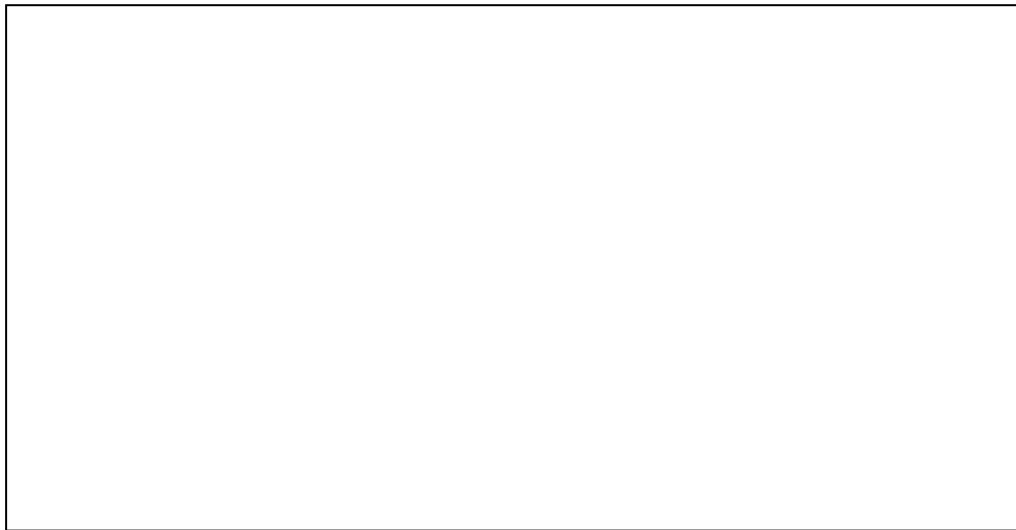
##### 3.1.1 Gruppo .....; composizione:

Nome	Cognome	Firma

##### 3.1.2 Strumenti utilizzati

strumento	Marca e modello	caratteristiche
Generatore di segnali:		
Oscilloscopio		
Alimentatore		
Circuito premontato		

##### 3.1.3 Descrizione sintetica degli obiettivi



### 3.1.4 Parametri di un amplificatore

Guadagno a 800 Hz

	Misura	Calcolo del campo accettabile (da valore nominale)
$A_v$ (rapporto)		
$A_v$ (in dB)		

Resistenza equivalente di ingresso

	Misura	Calcolo del campo accettabile (da valore nominale)
$V_u$ (R9 in corto)		-----
$V_u$ (R9 inserita)		-----
Valore di R9		-----
Valore di $R_i$		



Resistenza equivalente di uscita

	Misura	Calcolo del campo accettabile (da valore nominale)
$V_u$ (R10 scollegata)		-----
$V_u$ (R10 inserita)		-----
Valore di R10		-----
Valore di $R_u$		

### 3.1.5 Risposta in frequenza di amplificatore con celle RC esterne.

$2\pi f$

frequenza (Hz)	pulsazione (rad/s)	$ A_v $ (dB) da calcolo	$ A_v $ (dB) da misura
300			2.32V
1k			5.80V
3k			8.0V
10k			7.36V
30k			4.32V
100k			82 mV
300k			68 mV
1M			17 mV

*fase*

74

44

9.7

- 28.8

- 6.5

- 101

- 140

0

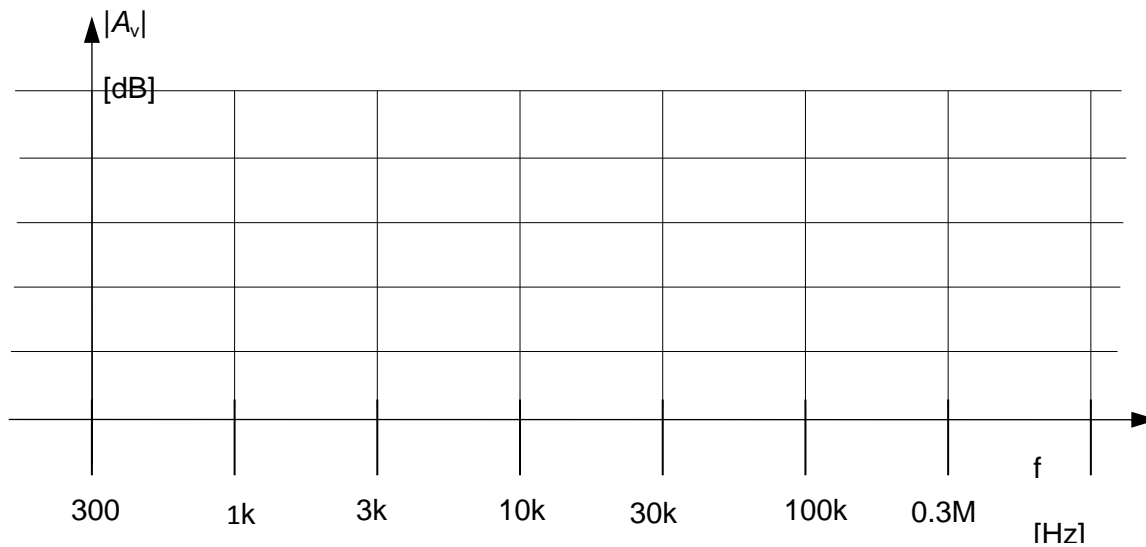
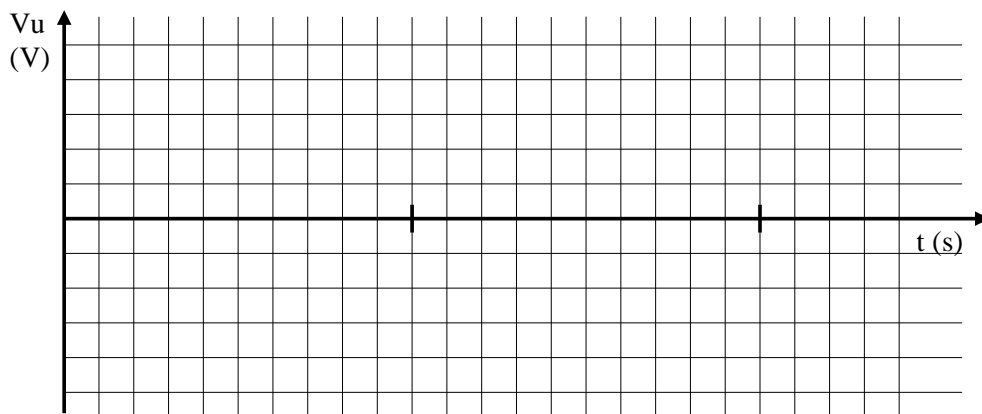


Diagramma di Bode del modulo

### 3.1.6 Amplificatore invertente

Verifica dell'inversione di fase



Misura di  $A_v$

	Misura
Valore $A_v$	

Misura della  $R_i$

	Misura	Calcolo
Valore $R_i$		