



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

---

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

**INSEGNAMENTO DI Elettrotecnica**  
**MANUALE DELLE ESPERIENZE DI LABORATORIO**  
**A.A. 2020-2021**

23/03/21

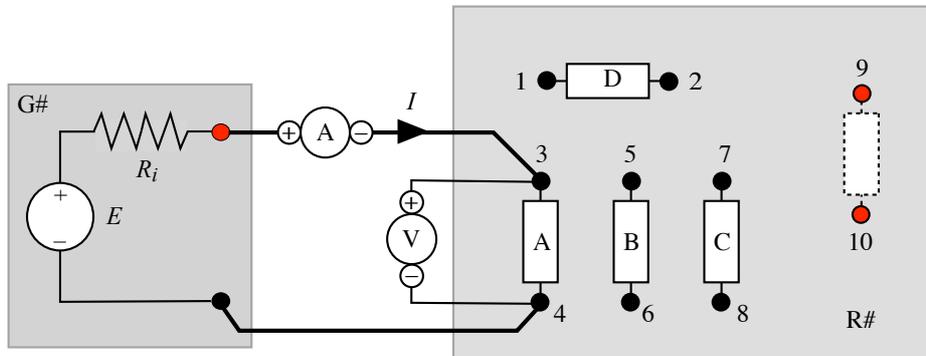
Laboratorio 1 – bipoli adinamici - in regime stazionario .....	pag 3
Laboratorio 2 – doppi bipoli e regime sinusoidale .....	Pag 9
Laboratorio 3 – regimi sinusoidale e variabile.....	pag 15
Appendice: Componenti in dotazione e Istruzioni per l'uso degli strumenti .....	pag 21

## LABORATORIO 1 – BIPOLI ADINAMICI - IN REGIME STAZIONARIO

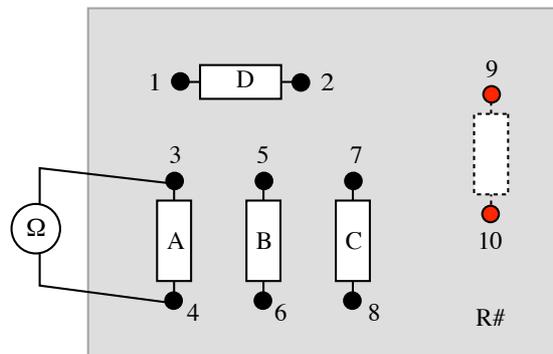
Si usano le scatole G# e R# e i multimetri. Le istruzioni per l'uso di questi strumenti e dei componenti sono in appendice.

### ESPERIENZA 1 - Misura di resistenza

Riportare i risultati in sezione 1 della scheda di lavoro #1



1.A



1.B

#### ESPERIENZA 1.A – resistore singolo

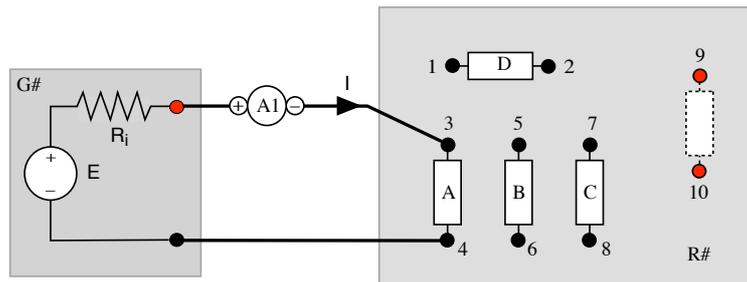
1. Impostare un multimetro in funzione voltmetro DC e uno in funzione amperometro DC
2. Collegare il generatore G#, il carico R#, l'amperometro e il voltmetro come in figura 1.A
3. Misurare la tensione V e la corrente I del bipolo A e ricavare il valore della sua resistenza R dalla relazione  $V = R I$  (metodo voltamperometrico). Riportare le misure nella scheda.
4. Scollegare il circuito e impostare un multimetro in funzione ohmmetro ( $\Omega$ )
5. Collegare la scatola R# all'ohmmetro  $\Omega$  come in figura 1.B per eseguire la misura diretta della resistenza del bipolo A. Riportare la misura nella scheda.
6. Rispondere alla domanda sulla differenza tra i valori di resistenza ottenuti con i due metodi.

#### ESPERIENZA 1.B – più resistori

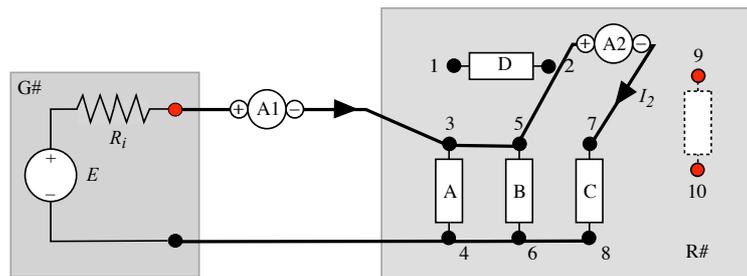
7. Ripetere i punti 4 e 5 per i bipoli seguenti, riportando i valori nella scheda:
  - B
  - C
  - A, B e C in serie
  - A, B e C in parallelo
8. Usando i valori misurate delle singole resistenze **calcolare** i valori delle resistenze equivalenti dei resistori in serie  $R_s = \sum R_i$  e in parallelo  $R_p = 1/(\sum 1/R_i)$
9. Rispondere alle domande sulle differenze relative tra i valori di resistenza misurati e calcolati, usando le espressioni  $\varepsilon = (R_m - R_{cal})/R_{cal}$

## ESPERIENZA 2 - Misure di corrente – partitori di corrente e di tensione

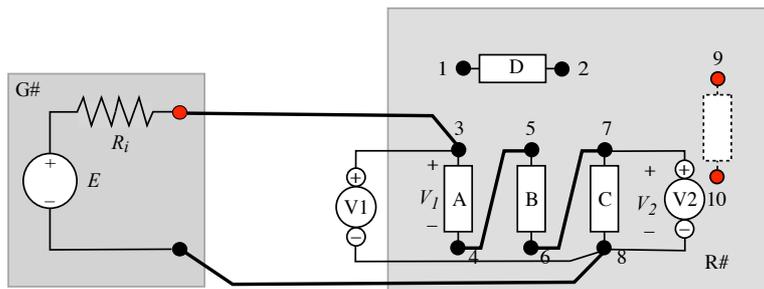
Riportare i risultati in sezione 2 della scheda di lavoro #1



2.A



2.B



2.C

### ESPERIENZA 2.A – misure di corrente

1. Impostare i due multimetri in funzione amperometro DC (A1 e A2)
2. Collegare il generatore G#, il carico R# e l'amperometro A1 come in figura 2.A
3. Misurare la corrente  $I_A$
4. Riportare in Tabella 2.A il valore della corrente  $I_A$  in corrispondenza del "carico A"
5. Ripetere la misura nelle seguenti configurazioni di carico e riportare i valori misurati in sezione 2.A
  - a. Con i bipoli A e B collegati in modo che la corrente  $I_A'$  risulti **inferiore** a quella misurata al punto 3
  - b. Con i bipoli A e B collegati in modo che la corrente  $I_A''$  risulti **superiore** a quella misurata al punto 3

### ESPERIENZA 2.B – partitore di corrente

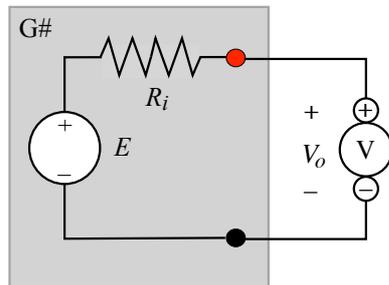
6. Collegare il generatore G#, il carico R# e i due amperometri A1 e A2 come in figura 2.B
7. Misurare le correnti  $I_1$  e  $I_2$
8. Riportare le misure  $I_1$  e  $I_2$  in sezione 2.B
9. **Calcolare**  $I_{2c}$  con la formula del partitore di corrente  $I_k = (G_k / \sum G_i) I_p$  e valutare la differenza relativa.

### ESPERIENZA 2.C – partitore di tensione

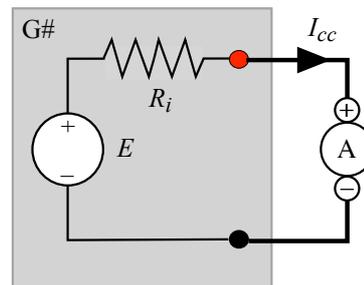
10. Impostare i due multimetri in funzione voltmetro DC (V1 e V2)
11. Collegare il generatore G#, il carico R# e i due voltmetri V1 e V2 come in figura 2.C.
12. Misurare le tensioni  $V_1$  e  $V_2$
13. Riportare in sezione 2.B le misure  $V_1$  e  $V_2$
14. **Calcolare**  $V_{2c}$  con la formula del partitore di tensione  $V_k = (R_k / \sum R_i) V_s$  e valutare la differenza relativa.

### ESPERIENZA 3 - Generatore affine

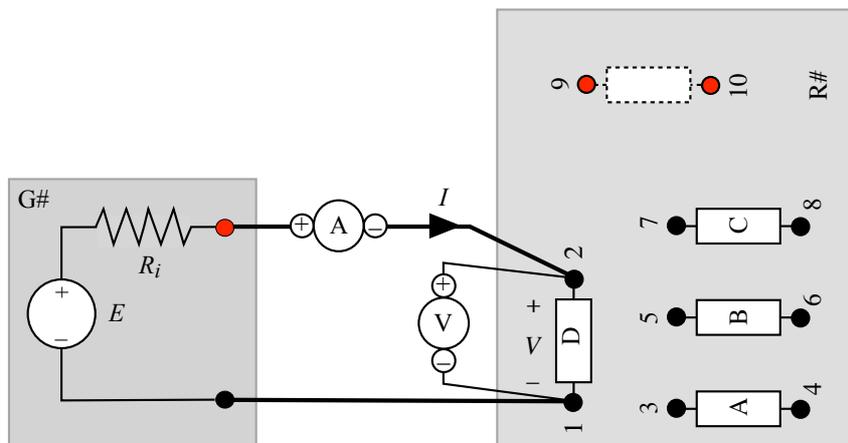
Riportare i risultati in sezione 3 della scheda di lavoro #1



3.A



3.B



3.C

#### ESPERIENZA 3.A - misure a vuoto e in cortocircuito

1. Impostare un multimetro in funzione voltmetro DC e connetterlo a G# come in figura 3.A.
2. Misurare la tensione a vuoto  $V_o = E$  del generatore affine e riportare la misura in sezione 3.
3. Impostare un multimetro in funzione amperometro DC e connetterlo a G# come in figura 3.B.
4. Misurare la corrente di cortocircuito  $I_{cc} = J$  del generatore affine e riportare la misura.

**n.b.: la prova in cortocircuito deve essere eseguita rapidamente e il circuito deve essere subito aperto per non scaricare la batteria a secco del generatore affine.**

#### ESPERIENZA 3.B - misure a carico

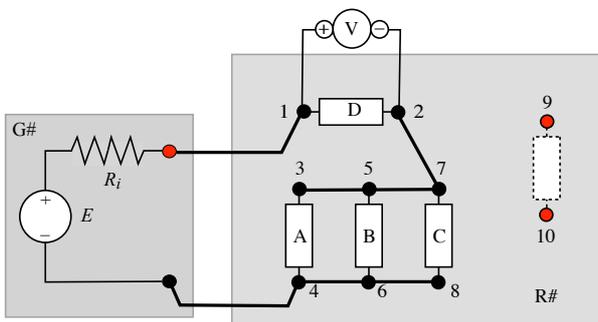
5. Collegare il generatore G#, il carico R#, l'amperometro e il voltmetro come in figura 3.C
6. Misurare la corrente I e la tensione V a carico e riportare le misure in sezione 3.

#### Identificazione dei parametri del generatore affine

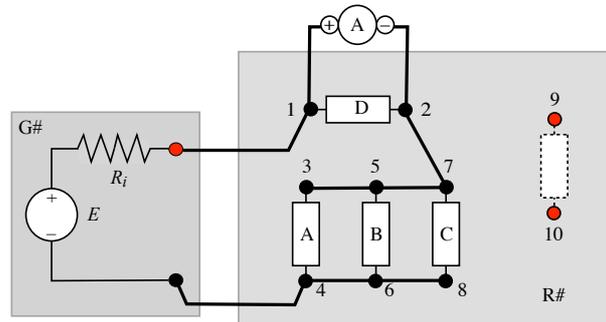
7. Calcolare la resistenza interna del generatore affine  $R_i'$  dalle misure della tensione a vuoto  $V_o$  e della corrente di cortocircuito  $I_{cc}$  come  $R_i' = V_o/I_{cc} = E/J$
8. Calcolare la resistenza interna del generatore affine  $R_i''$  dal valore della tensione impressa  $E = V_o$  e dalle misure V e I a carico, utilizzando l'equazione caratteristica  $V = E - R_i \cdot I$ , ossia come:  $R_i'' = (E - V)/I$
9. Valutare la differenza relativa tra i due valori  $R_i'$  e  $R_i''$  così ottenuti.

## ESPERIENZA 4 - Generatori equivalenti di Thévenin

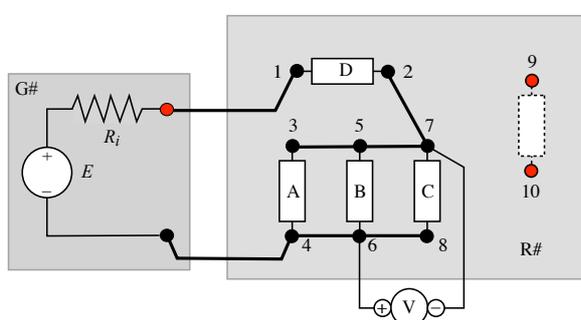
Riportare i risultati in sezione 4 della scheda di lavoro #1



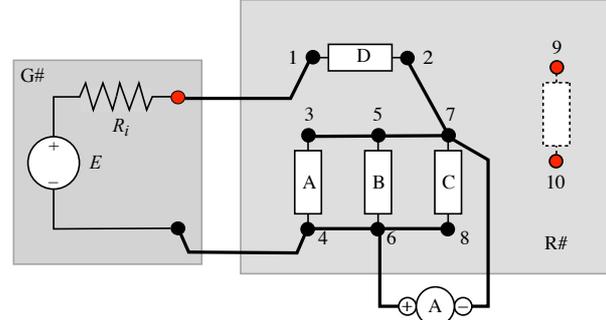
4.A



4.B



4.C



4.D

Costruire la rete delle figure 4.A-B-C-D con le scatole G# e R#. Di tale rete si vogliono determinare i generatori equivalenti di Thévenin alle porte 1-2 e 6-7.

### ESPERIENZA 4.A-B - misure a vuoto e in cortocircuito alla porta 1-2

1. Impostare un multimetro in funzione voltmetro DC e connetterlo ai morsetti 1 e 2 come in figura 4.A.
2. Si misura così la tensione a vuoto  $V_o$  della rete alla porta 1-2: riportare il valore  $E_{eq} = V_o$  nella scheda.
3. Impostare il multimetro in funzione amperometro DC lasciandolo connesso ai morsetti 1 e 2 come in figura 4.B.
4. Si misura così la corrente di cortocircuito  $I_{cc}$  della rete alla porta 1-2: riportare la misura.
5. Valutare la  $R_{eq}$  della rete alla porta 1-2 come rapporto  $V_o/I_{cc}$  e riportare il valore.

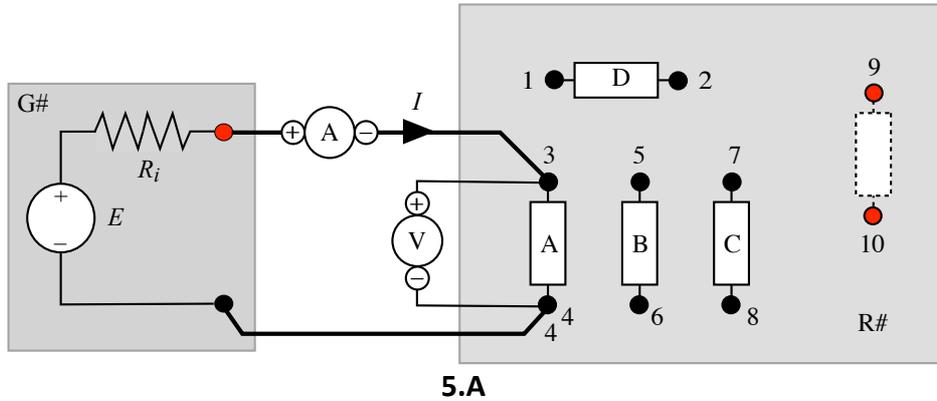
### ESPERIENZA 4.C-D - misure a vuoto e in cortocircuito alla porta 6-7

6. Impostare un multimetro in funzione voltmetro DC e connetterlo ai morsetti 6 e 7 come in figura 4.C.
7. Si misura così la tensione a vuoto  $V_o$  della rete alla porta 6-7: riportare il valore  $E_{eq} = V_o$ .
8. Impostare il multimetro in funzione amperometro DC lasciandolo connesso ai morsetti 6 e 7 come in figura 4.D.
9. Si misura così la corrente di cortocircuito  $I_{cc}$  della rete alla porta 6-7: riportare la misura
10. Valutare la  $R_{eq}$  della rete alla porta 6-7 come rapporto  $V_o/I_{cc}$  e riportare il valore.
11. Verificare che la stessa rete a due porte diverse 1-2 e 6-7 presenta generatori equivalenti diversi, ossia con  $E_{eq}$  diverse e  $R_{eq}$  diverse.

**ESPERIENZA 5 – potenza erogata da un bipolo attivo**

**ESPERIENZA 5.A – curva di potenza erogata**

Riportare i risultati in sezione 5 della scheda di lavoro #1



Il generatore G# viene collegato a carichi diversi, costituiti dai resistori interni della scatola R# e dai 3 resistori R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub> della bustina che vanno connessi ai morsetti 9 e 10 (ove non è connesso alcun resistore interno).

1. Impostare un multimetro in funzione voltmetro DC e uno in funzione amperometro DC.
2. Collegare il generatore G#, il carico R#, l'amperometro e il voltmetro come in figura 5.A.
3. Misurare la tensione V e la corrente I e riportare tali misure in Tabella 5.
4. Ripetere la misura per gli altri carichi elencati nella tabella successiva (Usare le resistenze R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub> fornite a parte).

	<b>Bipolo</b>
<b>Carico 1</b>	A (usare le misure ricavate nell'Esperienza 1)
<b>Carico 2</b>	D (usare le misure ricavate nell'Esperienza 3)
<b>Carico 3</b>	Serie A, D
<b>Carico 4</b>	Parallelo A, B
<b>Carico 5</b>	R <sub>1</sub> (morsetti 9-10)
<b>Carico 6</b>	R <sub>2</sub> (morsetti 9-10)
<b>Carico 7</b>	R <sub>3</sub> (morsetti 9-10)

5. Per ogni condizione di funzionamento calcolare la resistenza di carico  $R = V/I$  e la potenza ad essa erogata  $P = V I$  e riportare i valori calcolati in Tabella 5.
6. Riportare i punti (R,P) nel diagramma  $P = P(R)$  (potenza P in asse y, resistenza di carico R in asse x) e tracciare la curva di interpolazione.
7. Individuare graficamente il valore di R corrispondente al massimo della potenza erogata.

**ESPERIENZA 5.B – Teorema del massimo trasferimento di potenza**

8. Confrontare tale valore di resistenza di carico con quello previsto dal teorema del massimo trasferimento di potenza. Rispondere all'ultima domanda.

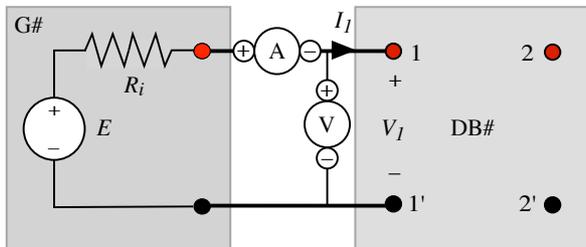


## LABORATORIO 2 – DOPPI BIPOLI E REGIME SINUSOIDALE

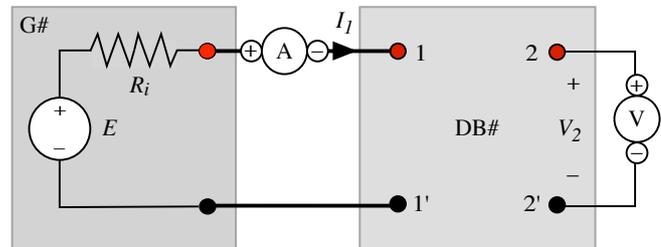
Si usano le scatole G# e DB# e i multimetri. Le istruzioni sono in appendice.

### ESPERIENZA 6 – Caratterizzazione di un doppio bipolo adinamico

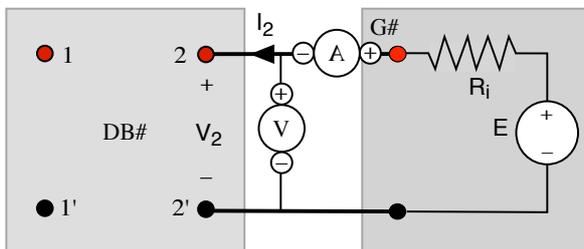
Riportare i risultati in sezione 6 della scheda di lavoro #2



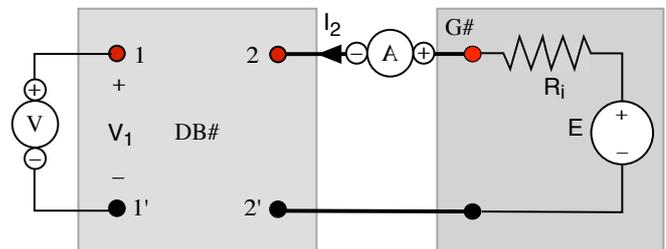
6.A



6.B



6.C



6.D

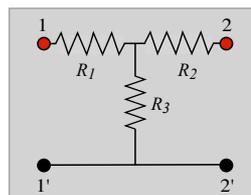
#### ESPERIENZA 6.A – identificazione dei parametri

1. Impostare un multimetro in funzione voltmetro DC e uno in funzione amperometro DC.
2. Collegare G#, DB#, il voltmetro e l'amperometro in modo da formare i quattro circuiti indicati nelle figure da 6.A a 6.D ed eseguire le seguenti misure riportandole nella sezione 6.A:
  - Circuito 6.A (figura 6.A): misurare la corrente  $I_1$  e la tensione  $V_1$
  - Circuito 6.B (figura 6.B): misurare la corrente  $I_1$  e la tensione  $V_2$
  - Circuito 6.C (figura 6.C): misurare la corrente  $I_2$  e la tensione  $V_2$
  - Circuito 6.D (figura 6.D): misurare la corrente  $I_2$  e la tensione  $V_1$
3. Valutare i parametri di resistenza  $R_{11}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{21}$  e  $R_{22}$  del doppio bipolo resistivo della rappresentazione controllata in corrente,

$$\begin{cases} V_1 = R_{11}I_1 + R_{12}I_2 \\ V_2 = R_{21}I_1 + R_{22}I_2 \end{cases}$$

utilizzando le misure eseguite e le definizioni dei parametri stessi di volta pertinenti (ad esempio nel caso 6.a:  $R_{11} = V_1/I_1$  con  $I_2 = 0$ ). Riportare i valori  $R_{11}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{21}$  e  $R_{22}$  nella sezione 6.B.

4. Verificare che il doppio bipolo rispetti le condizioni di doppio bipolo resistivo (reciprocità, passività e non amplificazione).
5. Calcolare i valori delle resistenze  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  della sintesi a T rappresentata in figura 6.E e riportarli nella sezione 6.C.



$$\begin{cases} R_1 = R_{11} - R_{12} \\ R_2 = R_{22} - R_{21} \\ R_3 = R_{12} \end{cases}$$

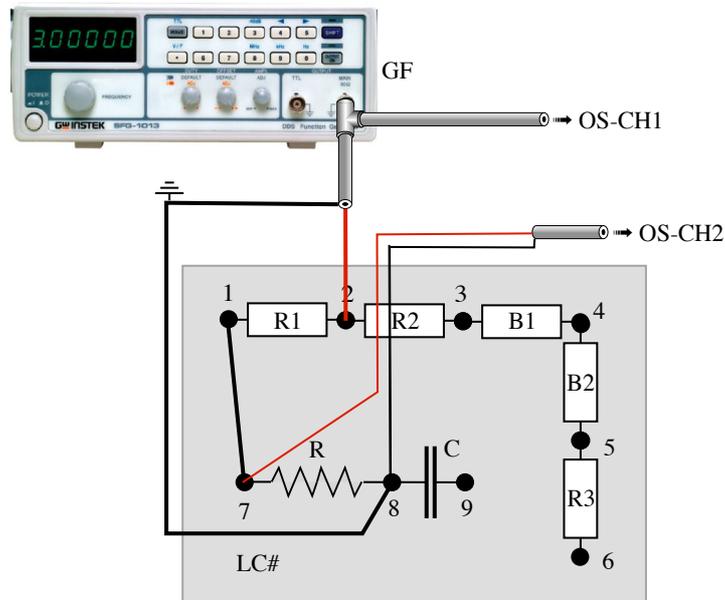
6.E

Nelle esperienze successive si usano la scatola LC#, il generatore di funzioni GF e l'oscilloscopio OS. Le istruzioni per l'uso di questi strumenti sono in appendice.

## **ESPERIENZA 7 - Caratteristiche dinamiche di bipoli**

**Riportare i risultati nella sezione 7 della scheda di lavoro #2**

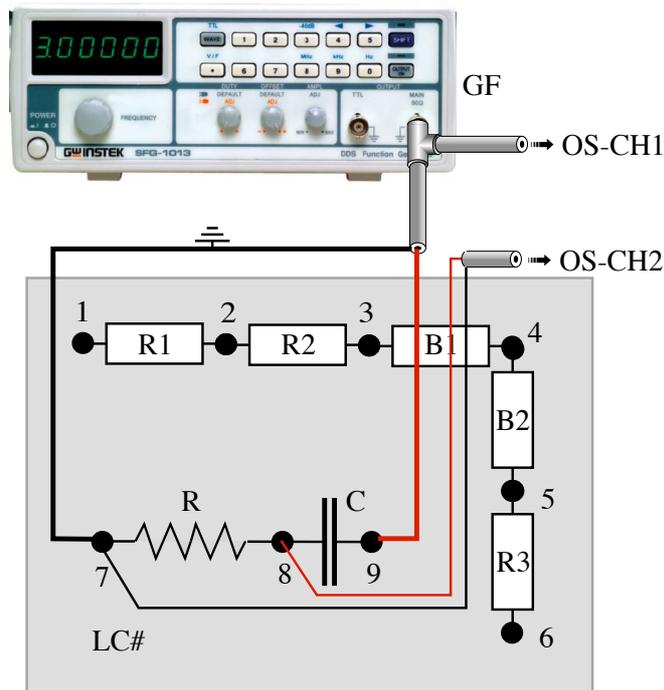
### **ESPERIENZA 7.A – bipolo resistivo (adinamico) con ingresso periodico**



**7.A**

1. Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola R#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 9.A, in modo da alimentare la serie di R1 e R (vedere le modalità di connessione in appendice): il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando R come shunt di corrente Rs.
2. Impostare GF su **onda sinusoidale a 1 kHz**
3. Visualizzare nell'oscilloscopio i segnali di tensione CH1 e corrente CH2 regolando OS in modo che entrambe le onde siano completamente visualizzate nello schermo di OS. Che sfasamento hanno le sinusoidi di tensione e corrente? Rispondere al quesito 7.A.1.
4. Variare la **frequenza** dell'onda sinusoidale del GF (ad esempio 50-100 Hz e 10-50 kHz). Cambia lo sfasamento delle sinusoidi di tensione e corrente? Rispondere al quesito 7.A.2.
5. **Solo se si usa l'OS:** attivare il 'Formato' 'XY' di OS (vedere la procedura in appendice) per visualizzare la caratteristica dinamica, variare la frequenza di GF e rispondere al quesito 7.A.3.
6. Riportare OS in 'Formato' 'Normale' e impostare GF su **forma d'onda triangolare a 1 kHz**. Come si presentano le due onde? Rispondere al quesito 7.A.4.
7. Variare la **frequenza** dell'onda triangolare del GF (ad esempio 50-100 Hz e 10-50 kHz). Cambia lo sfasamento delle sinusoidi di tensione e corrente? Rispondere al quesito 7.A.5.
8. **Solo se si usa l'OS:** attivare il 'Formato' 'XY' di OS (vedere la procedura in appendice) per visualizzare la caratteristica dinamica, variare la frequenza di GF e rispondere al quesito 7.A.6.
9. Riportare OS in 'Formato' 'Normale' e impostare GF su **forma d'onda quadrata a 1 kHz**. Come si presentano le due onde? Rispondere al quesito 7.A.7.
10. Variare la **frequenza** dell'onda quadrata del GF (ad esempio 50-100 Hz e 10-50 kHz). Cambia lo sfasamento delle sinusoidi di tensione e corrente? Rispondere al quesito 7.A.8.
11. **Solo se si usa l'OS:** attivare il 'Formato' 'XY' di OS (vedere la procedura in appendice) per visualizzare la caratteristica dinamica, variare la frequenza di GF e rispondere al quesito 7.A.9.

## ESPERIENZA 7.B – bipolo ohmico-capacitivo (dinamico) con ingresso periodico



7.B

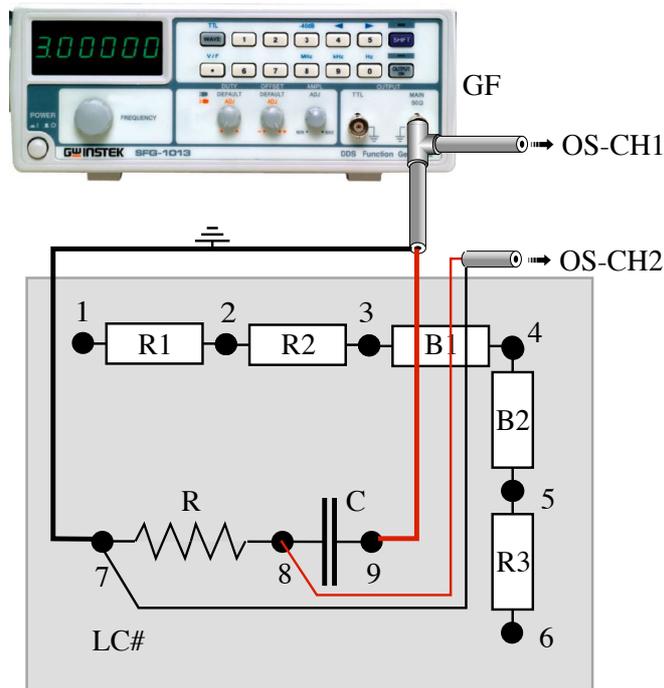
Tabella di f per GF	
LC#	f [Hz]
LCB1	1500
LCB2	700
LCB3	1200
LCB4	1000
LCB5	500
LCB6	500
LCB7	1000
LCB8	1000
LCB9	500
LCB10	500
LCB11	500
LCB12	1000
LCB13	500
LCB14	500
LCB15	1000
LCB16	400
LCB17	1500
LCB18	500

Realizzare il circuito di prova dell'esperienza 6.A (riprodotto in 7.B) con le medesime impostazioni, ovvero realizzarlo seguendo i seguenti punti 1, 2 e 3.

1. Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola LC#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 7.B in modo da alimentare la serie di R e C: il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando R come shunt di corrente  $R_s$ .
2. Impostare GF su **onda sinusoidale alla frequenza indicata in tabella** per la LC# in uso.
3. Visualizzare nell'oscilloscopio i segnali di tensione CH1 e corrente CH2 regolando OS in modo che entrambe le onde siano completamente visualizzate nello schermo di OS. Che sfasamento hanno le sinusoidi di tensione e corrente? Rispondere al quesito 7.B.1.
4. Variare la **frequenza** dell'onda sinusoidale del GF (ad esempio 50-100 Hz e 10-50 kHz). Cambia lo sfasamento delle sinusoidi di tensione e corrente? Rispondere al quesito 7.B.2.
5. **Solo se si usa l'OS:** attivare il 'Formato' 'XY' di OS (*vedere la procedura in appendice*) per visualizzare la caratteristica dinamica, variare la frequenza di GF e rispondere al quesito 7.B.3.
6. Riportare OS in 'Formato' 'Normale' e impostare GF su **forma d'onda triangolare a 1 kHz**. Come si presentano le due onde? Rispondere al quesito 7.B.4.
7. Variare la **frequenza** dell'onda triangolare del GF (ad esempio 50-100 Hz e 10-50 kHz). Cambia lo sfasamento delle sinusoidi di tensione e corrente? Rispondere al quesito 7.B.5.
8. **Solo se si usa l'OS:** attivare il 'Formato' 'XY' di OS (*vedere la procedura in appendice*) per visualizzare la caratteristica dinamica, variare la frequenza di GF e rispondere al quesito 7.B.6.
9. Riportare OS in 'Formato' 'Normale' e impostare GF su **forma d'onda quadrata a 1 kHz**. Come si presentano le due onde? Rispondere al quesito 7.B.7.
10. Variare la **frequenza** dell'onda quadrata del GF (ad esempio 50-100 Hz e 10-50 kHz). Cambia lo sfasamento delle sinusoidi di tensione e corrente? Rispondere al quesito 7.B.8.
11. **Solo se si usa l'OS:** attivare il 'Formato' 'XY' di OS (*vedere la procedura in appendice*) per visualizzare la caratteristica dinamica, variare la frequenza di GF e rispondere al quesito 7.B.9.

## ESPERIENZA 8 - Misure di tensione e corrente sinusoidali con l'oscilloscopio

Riportare i risultati nella sezione 8 della scheda di lavoro #2



8

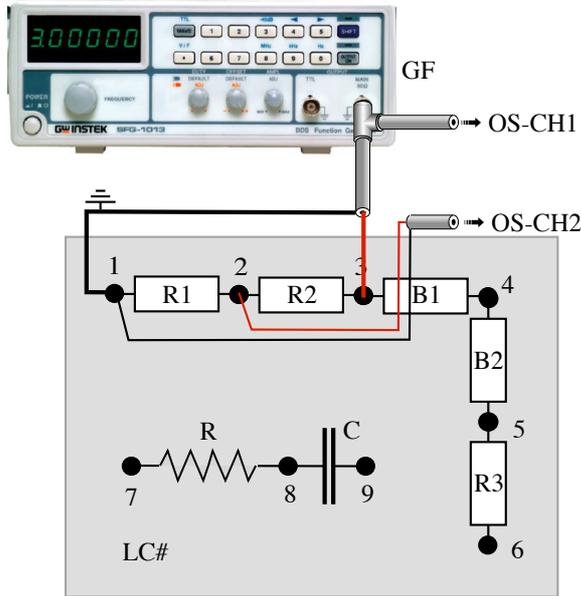
Tabella di f per GF	
LC#	f [Hz]
LCB1	1500
LCB2	700
LCB3	1200
LCB4	1000
LCB5	500
LCB6	500
LCB7	1000
LCB8	1000
LCB9	500
LCB10	500
LCB11	500
LCB12	1000
LCB13	500
LCB14	500
LCB15	1000
LCB16	400
LCB17	1500
LCB18	500

- Misurare mediante il voltmetro il valore della resistenza R di LC#.
- Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola LC#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 8 in modo da alimentare la serie di R e C: il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando R come shunt di corrente  $I_s$ .
- Impostare GF su **onda sinusoidale alla frequenza indicata in tabella** per la LC# in uso.
- Visualizzare nell'oscilloscopio i segnali di tensione CH1 e corrente CH2 regolando OS in modo che entrambe le onde siano completamente visualizzate nello schermo di OS.
- Visualizzare il valore rms  $V_{ch1}$  della sinusoide di tensione mediante la funzione 'measurement' (vedere la procedura in appendice).
- Visualizzare il valore massimo  $V_{Mch1}$  della sinusoide di tensione (vedere la procedura in appendice) e calcolare il rapporto  $V_{ch1}/V_{Mch1}$  (fattore di merito).
- Visualizzare il valore rms  $V_{ch2}$  della sinusoide che rappresenta la corrente mediante la funzione 'measurement'.
- Visualizzare il valore rms della corrente mediante  $V_{ch2}/R$ .
- Valutare lo sfasamento tra le due sinusoidi seguendo la seguente procedura.
  - Individuare le coordinate temporali di due zeri successivi delle due sinusoidi visualizzate in OS-CH1 e OS-CH2 (vedere la procedura in appendice).
  - Valutare l'intervallo di tempo  $\Delta t$  tra due zeri successivi della prima e della seconda sinusoide (vedere la procedura in appendice).
  - Calcolare lo sfasamento  $\varphi$  (in gradi) tra le due sinusoidi usando la relazione  $\varphi=360^\circ\Delta t/T$ , ove  $\Delta t$ =intervallo tra due zeri successivi delle sinusoidi e  $T=1/f$ , periodo delle sinusoidi. Riconoscere se la tensione è in anticipo sulla corrente ( $\varphi > 0$ , comportamento ohmico-induttivo) oppure se la tensione è in ritardo sulla corrente ( $\varphi < 0$ , comportamento ohmico-capacitivo).

**PROVA 9 - Potenza istantanea e potenza attiva**

Riportare i risultati nella sezione 9 della scheda di lavoro #2

**ESPERIENZA 8.A – primo carico:  $R_1 + R_2$**

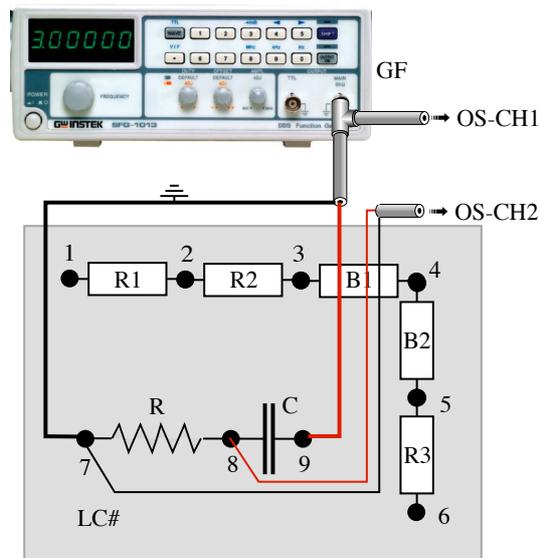


**9.A**

	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$R_2$ [ $\Omega$ ]	$f$ [Hz]
LCB1	988	27	500
LCB2	1786	10	300
LCB3	980	27	500
LCB4	1500	33	400
LCB5	1200	27	500
LCB6	988	25.6	300
LCB7	1500	37	500
LCB8	1500	27	500
LCB9	980	15.6	500
LCB10	1200	27	500
LCB11	1200	33	500
LCB12	1500	37	500
LCB13	987	15.6	500
LCB14	1500	20	500
LCB15	1500	27	400
LCB16	1800	15.6	400
LCB17	1200	27	400
LCB18	1500	37	400

1. Collegare la scatola bipoli dinamici LCB#, il generatore di funzioni GF e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 9.B in modo da alimentare la serie dei bipoli  $R_1$  e  $R_2$ ; il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando  $R_1$  come shunt di corrente  $R_s$  (vedi tabella).
2. Col generatore di funzioni GF produrre una tensione sinusoidale alla frequenza indicata in Tabella.
3. Attivare la funzione "Math" dell'oscilloscopio (vedere la procedura in appendice).
4. Selezionare l'operatore prodotto 'X' tra CH1 e CH2 (vedere la procedura in appendice). La terza traccia, rossa, rappresenta il prodotto dei due segnali, proporzionale alla potenza istantanea:
 
$$v_{ch1}(t) v_{ch2}(t) = v(t) i(t) R_1 = p(t) R_1 \rightarrow p(t) = v_{ch1}(t) v_{ch2}(t) / R_1$$
5. Che caratteristiche ha la potenza istantanea?
6. Attivare il valore medio "MEDIA" tramite la funzione "Math" dell'oscilloscopio e calcolare la potenza media come  $P_m = MEDIA / R_1$  (vedere la procedura in appendice).
7. Determinare i valori efficaci (rms) di tensione e corrente e il loro sfasamento (come in ESPERIENZA 8) e calcolare la potenza attiva  $P = VI \cos \varphi$ .
8. Confrontare la potenza media  $P_m$  ottenuta al punto 6 con la potenza attiva  $P$  ottenuta al punto 7.

## ESPERIENZA 9.B – secondo carico: R + C



9.B

1. Collegare la scatola bipoli dinamici LCB#, il generatore di funzioni GF e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 9.B in modo da alimentare la serie dei bipoli R e C; il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando R come shunt di corrente  $R_s$  (vedi tabella).
2. Col generatore di funzioni GF produrre una tensione sinusoidale alla frequenza indicata in Tabella.
3. Attivare il canale Math dell'oscilloscopio (vedere la procedura in appendice).
4. Selezionare l'operatore prodotto 'X' tra CH1 e CH2 (vedere la procedura in appendice). La terza traccia, rossa, rappresenta il prodotto dei due segnali, proporzionale alla potenza istantanea:
 
$$v_{ch1}(t) v_{ch2}(t) = v(t) i(t) R = p(t) R \rightarrow p(t) = v_{ch1}(t) v_{ch2}(t) / R$$
5. Che caratteristiche ha la potenza istantanea?
6. Attivare il valore medio "MEDIA" tramite la funzione "Math" dell'oscilloscopio e calcolare la potenza media come  $P_m = \text{MEDIA} / R$  (vedere la procedura in appendice).
7. Determinare i valori efficaci (rms) di tensione e corrente e il loro sfasamento (come in ESPERIENZA 8) e calcolare la potenza attiva  $P = VI \cos \varphi$ .
8. Confrontare la potenza media  $P_m$  ottenuta al punto 6 con la potenza attiva  $P$  ottenuta al punto 7.

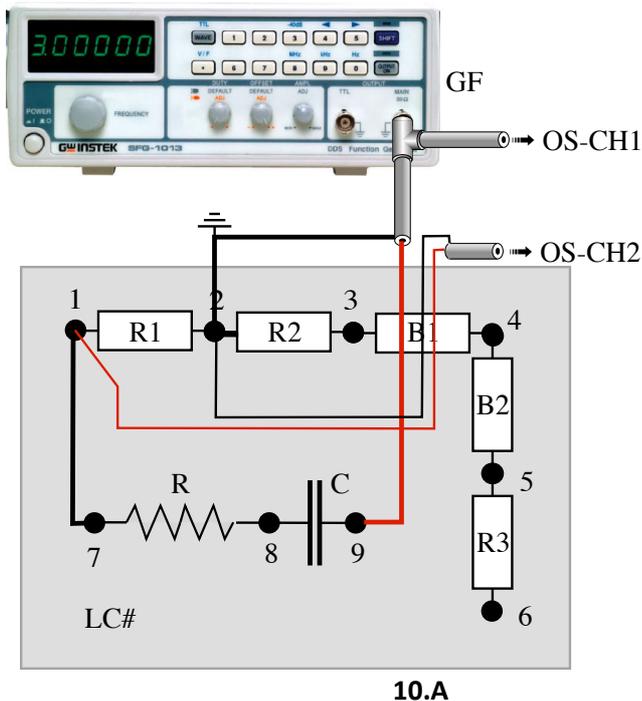
## LABORATORIO 3 – REGIMI SINUSOIDALE E VARIABILE

### ESPERIENZA 10 - Misure di impedenza

**Riportare i risultati nella sezione 10 della scheda di lavoro #2**

*n.b.: l'esperienza di identificazione di impedenza ricorre al GF e all'OS, invece che ad un wattmetro a frequenza industriale (come spiegato a lezione). Ciò permette di operare in bassa tensione (non pericolosa) e a frequenza variabile.*

**ESPERIENZA 10.A – impedenza con primo carico:  $R1 + Z=(R,C)$**



**Tabella di R1 e f per 10.A**

LC#	R1 [Ω]	f [Hz]
LCB1	988	1500
LCB2	1786	700
LCB3	980	1200
LCB4	1500	1000
LCB5	1200	500
LCB6	988	500
LCB7	1500	1000
LCB8	1500	1000
LCB9	980	500
LCB10	1200	500
LCB11	1200	500
LCB12	1500	1000
LCB13	987	500
LCB14	1500	500
LCB15	1500	1000
LCB16	1800	400
LCB17	1200	1500
LCB18	1500	500

1. Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola LC#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 10.A in modo da alimentare la serie di  $R1$  e  $Z=(R,C)$ : il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando  $R1$  come shunt di corrente  $R_s$  (il valore di  $R1$  per la LC# in uso è indicato in tabella).
2. Impostare GF su onda sinusoidale alla frequenza indicata in tabella per la LC# in uso.
3. Regolare OS in modo che siano visibili 2 periodi delle sinusoidi.
4. Valutare il valore efficace (rms) delle sinusoidi di tensione corrente utilizzando la funzione 'measure' di OS (vedere la procedura in appendice). Riportare i valori nella scheda.
5. Valutare lo sfasamento tra le due sinusoidi seguendo la seguente procedura (come in ESPERIENZA 7).
  - d. Individuare le coordinate temporali di due zeri successivi delle due sinusoidi visualizzate in OS-CH1 e OS-CH2 (vedere la procedura in appendice).
  - e. Valutare l'intervallo di tempo  $\Delta t$  tra due zeri successivi della prima e della seconda sinusoidi. Riportare il valore (vedere la procedura in appendice).
  - f. Calcolare lo sfasamento  $\varphi$  (in gradi) tra le due sinusoidi usando la relazione  $\varphi=360^\circ \Delta t/T$ , ove  $\Delta t$ =intervallo tra due zeri successivi delle sinusoidi e  $T=1/f$ , periodo delle sinusoidi. Riconoscere se la tensione è in anticipo sulla corrente ( $\varphi > 0$ , comportamento ohmico-induttivo) oppure se la tensione è in ritardo sulla corrente ( $\varphi < 0$ , comportamento ohmico-capacitivo). Riportare il valore
6. Calcolare la parte reale e immaginaria dell'impedenza  $Z=(R,C)$  (ovvero i parametri della sintesi serie R e X) usando le seguenti relazioni e il valore noto di  $R1$ ; riportarne i valori.

$$I = V_{CH2} / R_1 \quad (\text{valori efficaci})$$

$$Z_{tot} = V_{CH1} / I \quad (\text{valori efficaci e modulo})$$

$$Z_{totR} = Z_{tot} \cos \varphi$$

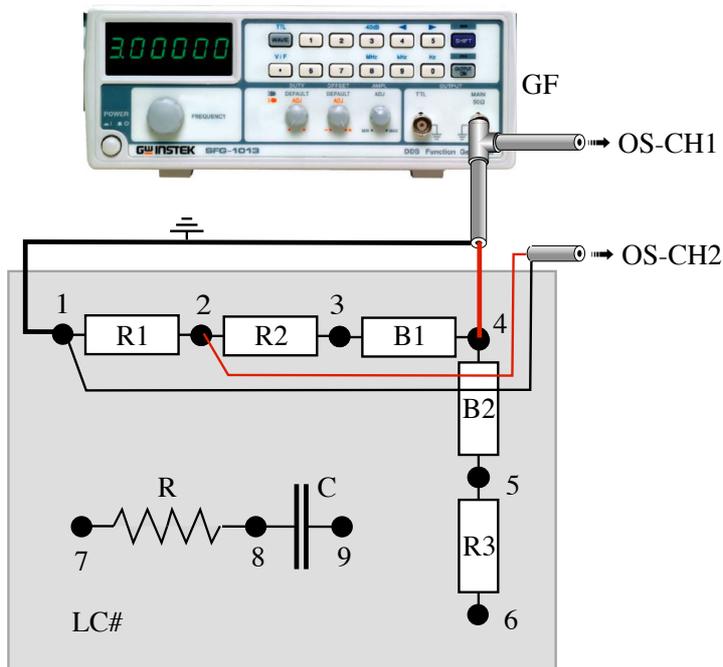
$$Z_{totS} = -Z_{tot} \sin \varphi$$

$$R_1 + R = Z_{totR} \Rightarrow R = Z_{totR} - R_1$$

$$X = Z_{totS}$$

7. Misurare la resistenza R col multimetro e confrontare la misura col valore trovato al punto 6.
8. Ricavare il valore della capacità del condensatore  $C = -1/(2\pi f X)$ .

### ESPERIENZA 10.B – secondo carico: R1 + R2 + B1



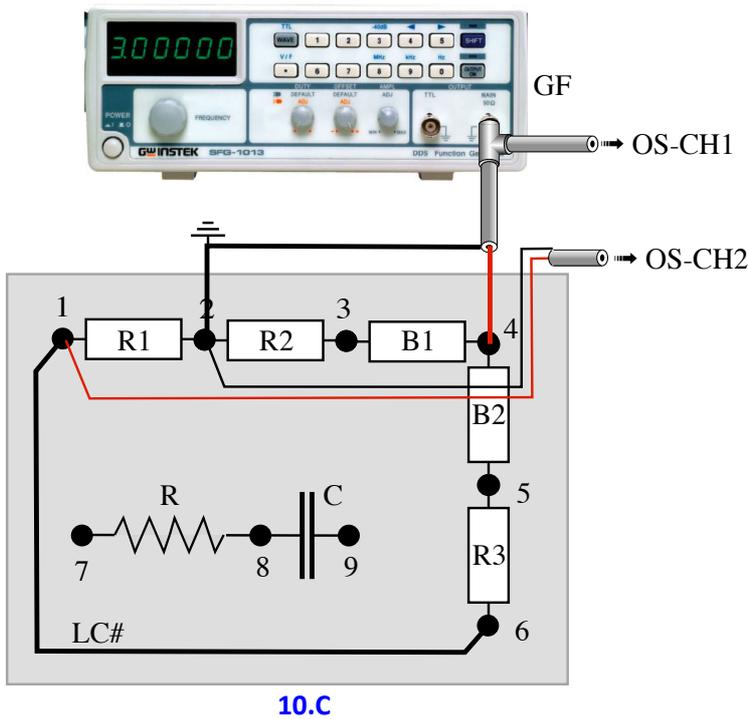
10.B

Tabella di R1 e f per 10.B

LC#	R1 [Ω]	f [Hz]
LCB1	988	500
LCB2	1786	300
LCB3	980	500
LCB4	1500	400
LCB5	1200	500
LCB6	988	300
LCB7	1500	500
LCB8	1500	500
LCB9	980	500
LCB10	1200	500
LCB11	1200	500
LCB12	1500	500
LCB13	987	500
LCB14	1500	500
LCB15	1500	400
LCB16	1800	400
LCB17	1200	400
LCB18	1500	400

1. Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola LC#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 10.B in modo da alimentare la serie di R1, R2 e B1: il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando R1 come shunt di corrente Rs (il valore di R1 per la LC# in uso è indicato in tabella).
2. Impostare GF su onda sinusoidale alla frequenza indicata in tabella per la LC# in uso.
3. Regolare OS in modo che siano visibili 2 periodi delle sinusoidi.
4. Dire se la corrente è in anticipo o ritardo sulla tensione. Che tipo di bipolo è B1?

**ESPERIENZA 10.C – terzo carico: R1 + R3 + B2**



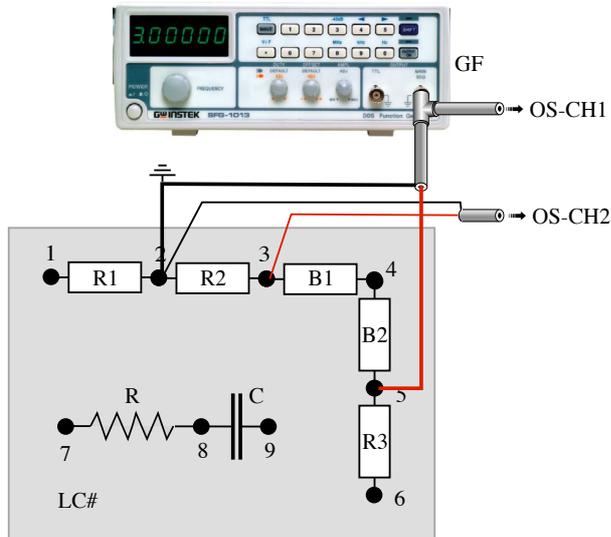
**Tabella di R1 e f per 10.C**

	<b>R1 [Ω]</b>	<b>f [Hz]</b>
<b>LCB1</b>	988	25000
<b>LCB2</b>	1786	40000
<b>LCB3</b>	980	30000
<b>LCB4</b>	1500	25000
<b>LCB5</b>	1200	35000
<b>LCB6</b>	988	28000
<b>LCB7</b>	1500	25000
<b>LCB8</b>	1500	30000
<b>LCB9</b>	980	35000
<b>LCB10</b>	1200	16000
<b>LCB11</b>	1200	27000
<b>LCB12</b>	1500	26000
<b>LCB13</b>	987	30000
<b>LCB14</b>	1500	35000
<b>LCB15</b>	1500	35000
<b>LCB16</b>	1800	40000
<b>LCB17</b>	1200	40000
<b>LCB18</b>	1500	25000

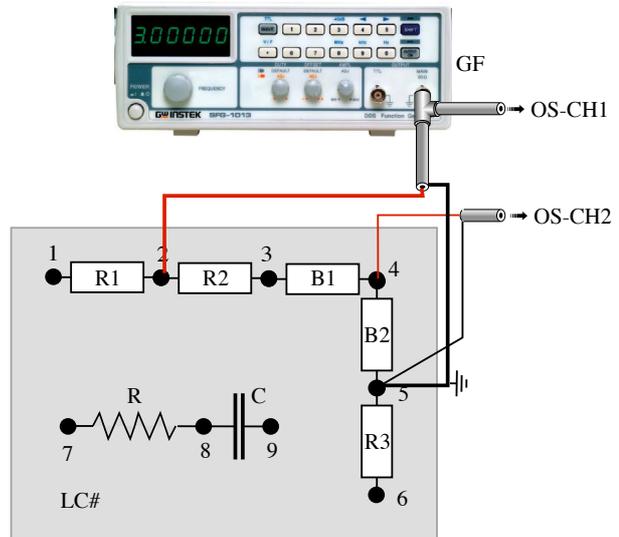
1. Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola LC#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 10.C in modo da alimentare la serie di R1, R3 e B2: il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando R1 come shunt di corrente  $R_s$  (vedi tabella).
2. Impostare GF su onda sinusoidale alla frequenza indicata in tabella per la LC# in uso.
3. Regolare OS in modo che siano visibili 2 periodi delle sinusoidi.
4. Dire se la corrente è in anticipo o ritardo sulla tensione. Che tipo di bipolo è B2?

## ESPERIENZA 11 – Risonanza serie

Riportare i risultati in sezione 11 della scheda di lavoro #3



11.A



11.B

### ESPERIENZA 11.A

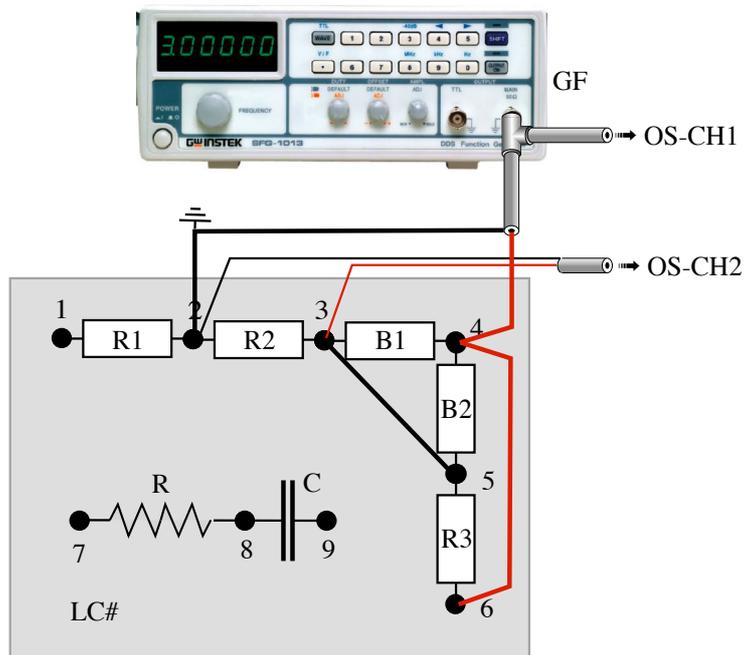
1. Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola LC#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 11.A: in modo da alimentare la serie dei bipoli R2, B1 e B2; il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando R2 come shunt di corrente  $R_s$ .
2. Col generatore di funzioni GF produrre una tensione sinusoidale e, agendo sulla manopola, farne variare la frequenza tra 100 Hz e 10 kHz;
3. Osservare come variano le due sinusoidi dei canali CH1 e CH2.
4. Individuare la frequenza di risonanza  $f_0$ , alla quale lo sfasamento è nullo. Riportare  $f_0$ , e i valori efficaci di tensione della serie e di corrente nella scheda.
5. Osservare e giustificare il comportamento del bipolo serie R2+B1+B2 per frequenze inferiori e superiori a quella di risonanza:  $f < f_0$  e  $f > f_0$ .
6. Come si presentano la tensione della serie V (CH1) e la corrente (CH2/R2) alla frequenza di risonanza?

### ESPERIENZA 11.B

7. Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola LC#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 11.B: in modo da misurare la serie dei bipoli R2, B1 e B2; il canale CH1 acquisisce la tensione della serie; il canale CH2 acquisisce la tensione di B2.
8. Impostare il generatore di funzioni GF alla frequenza di risonanza trovata nella ESPERIENZA 11.A.
9. Misurare la tensione delle due sinusoidi e riportare i valori efficaci nella scheda.
10. Individuare i valori efficaci e la relazione di fase delle due sinusoidi. Commentare tali valori.

## ESPERIENZA 12- Risonanza parallelo

Riportare i risultati nella sezione 12 della scheda di lavoro #3



12.A

1. Collegare il generatore di funzioni GF, la scatola LC#, e i due canali dell'oscilloscopio OS-CH1 e OS-CH2 come in figura 12.A: in modo da alimentare il parallelo di B3, B4 e B5 con in serie B2; il canale CH1 ne acquisisce la tensione; il canale CH2 esegue la misura amperometrica usando R2 come shunt di corrente  $R_s$ .
2. Con GF produrre una tensione sinusoidale con ampiezza di 1-3 V;
3. Agendo sulla manopola di GF, fare variare la frequenza tra 100 Hz e 10 kHz;
4. Osservare come variano le due sinusoidi dei canali CH1 e CH2.
5. Individuare la frequenza di antirisonanza  $f_0$ .
6. Osservare e giustificare il comportamento del bipolo parallelo per frequenze inferiori e superiori a quella di risonanza:  $f < f_0$  e  $f > f_0$ .
7. Come si presentano le sinusoidi dei canali CH1 (= tensione della serie V) e CH2 (=corrente del parallelo) alla frequenza di risonanza?



# Appendice

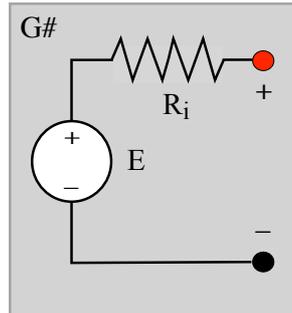
## Componenti in dotazione

### Scatole multicomponente

Si usano 4 tipi di scatole dotate di morsetti per connettori a banana.

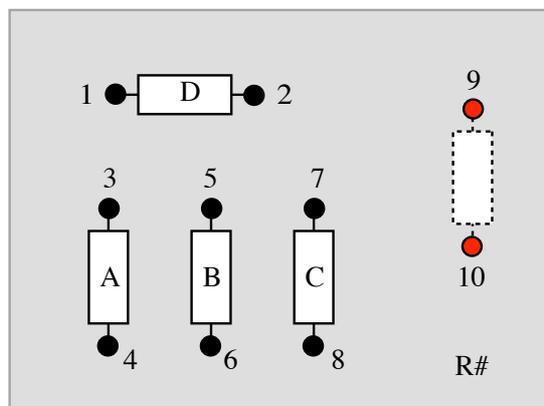
#### **Generatore (G#)**

Contiene una pila a secco in serie con un resistore (di resistenza più grande di quella interna della pila). Esternamente presenta un morsetto rosso (corrispondente al morsetto +) e uno nero.



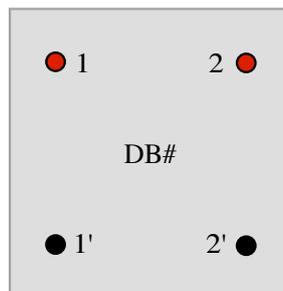
#### **Resistenze (R#)**

Contiene 4 resistori A, B, C e D, ciascuno accessibile tramite due morsetti e due morsetti liberi (9-10) con connessione a banana e a vite per collegare altri componenti.



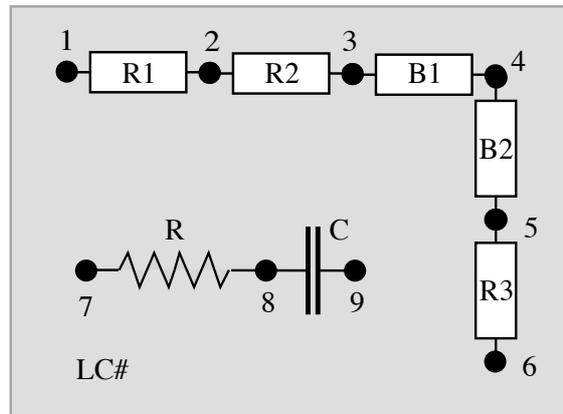
#### **Doppio bipolo (DB#)**

È un doppio bipolo resistivo costituito da 3 resistori connessi a T. Presenta due morsetti 1-1' che formano la porta 1 e due morsetti 2-2' che formano la porta 2.



### Bipoli dinamici (identificata dalla sigla LCB#)

Contiene 4 resistori R, R1, R2, R3, un condensatore C e due bipoli B1 e B2 che sono un secondo condensatore e un induttore (non necessariamente in quest'ordine). I 9 morsetti permettono diverse modalità di connessione.



### Cavetti di interconnessione

Sono di tre tipi, a seconda dei connettori che impiegano alle due estremità:

1. banana-banana
2. BNC-BNC
3. BNC-banana



Banana



BNC

# Istruzioni per l'uso degli strumenti

## MULTIMETRI

Il multimetro permette di effettuare misure di:

- Tensione in continua (DC) e alternata (AC)
- Corrente in continua (DC) e alternata (AC)
- Resistenza
- Altre misure a seconda del modello dello strumento

Per il particolare multimetro da usare, bisogna individuare i morsetti ohmmetrici e voltmetrici e quelli amperometrici (che spesso differiscono dai primi), le posizioni del selettore ed eventualmente i pulsanti per selezionare la funzione desiderata: voltmetro DC, voltmetro AC, amperometro DC, amperometro AC, ohmmetro. L'immagine mostra due multimetri del laboratorio, dei quali sono evidenziate le funzioni principali, che si trovano anche in altri modelli.



Nota: nelle esperienze in regime periodico lo strumento indica il valore efficace (RMS, root mean square) della grandezza sinusoidale. Se invece la grandezza è periodica ma non sinusoidale, non è detto che l'indicazione ne sia rigorosamente il valore efficace: ciò avviene solo se lo strumento misura il "true rms".

## GENERATORI DI FUNZIONE

Per eseguire esperienze in regime variabile si usa come **generatore di tensione variabile** un apparecchio elettronico chiamato generatore di funzione (GF), in grado di erogare tensioni, correnti e potenze limitate. L'immagine mostra un generatore di funzione del laboratorio, del quale sono evidenziate le funzioni che si trovano anche in altri modelli (magari in diverse posizioni).

Lo strumento produce in uscita una tensione con forme d'onda da usare come ingressi alle reti in prova: sinusoidale, triangolare, quadrata. Di essa sono regolabili l'ampiezza (fino a 10 volt) e la frequenza (da 1 Hz a 3 MHz). Come la maggior parte degli strumenti elettronici, esso è dotato di una massa (simbolo  $\perp$ ) sulla tensione prodotta e il suo corretto funzionamento richiede che essa sia connessa nel circuito secondo precise regole.



## OSCILLOSCOPI

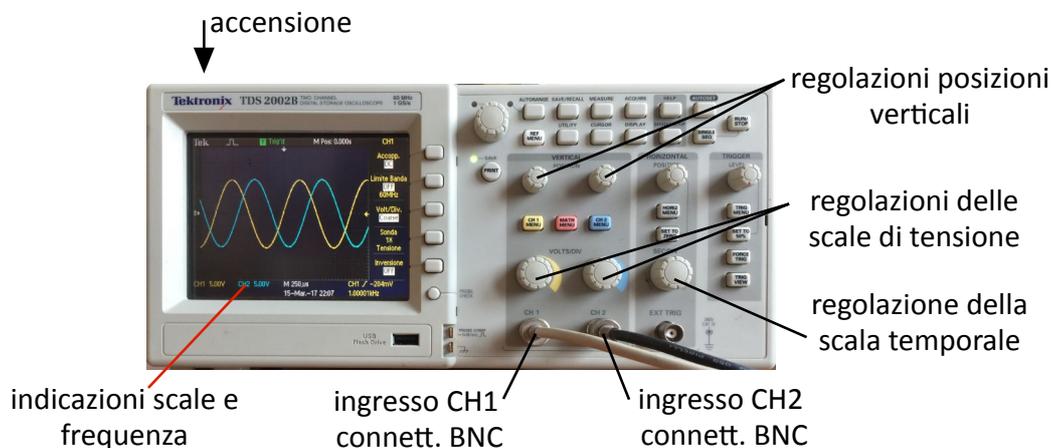
L'oscilloscopio (OS) è uno strumento elettronico che visualizza due o più tensioni tempo-varianti acquisite tramite altrettanti canali (CH). Di ogni segnale visualizzato possono essere calcolati e mostrati vari parametri, in particolare:

- ampiezza
- frequenza (o periodo)

### Funzioni di base

I nostri oscilloscopi hanno tipicamente due canali (CH1 = traccia gialla, CH2 = traccia azzurra), dotati di connettori coassiale BNC, e possono acquisire solo tensioni di valore limitato. Anche gli oscilloscopi sono dotati di massa (simbolo  $\perp$ ) sui canali in ingresso e il loro corretto funzionamento richiede che esse siano connesse nel circuito secondo precise regole (le due masse devono essere connesse a punti equipotenziali nel circuito di misura). La visualizzazione normale mostra le tensioni dei due canali in ordinata (y1 e y2) in funzione del tempo, che è in ascissa (x). Le scale del tempo e delle tensioni e le posizioni degli zeri delle tensioni sono regolabili agendo sui relativi controlli come indicato in figura.

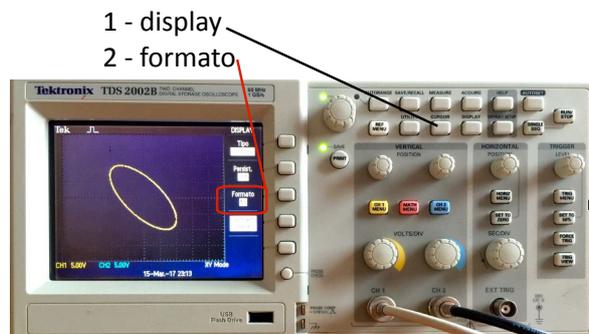
n.b.: Non toccate il tasto autorange.



### Altre funzioni

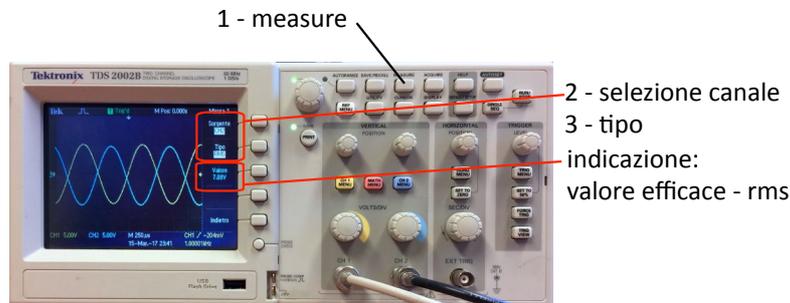
#### Caratteristica dinamica - Formato XY:

- 1) premere il tasto 'DISPLAY';
- 2) premere il tasto a fianco di 'Formato' nel monitor → la visualizzazione commuta da 'Normale' a 'XY', che mostra in ascissa  $y1 \rightarrow X$  e in ordinata  $y2 \rightarrow Y$ : così si visualizza la caratteristica dinamica del bipolo (e si può vedere come essa varia al cambiare dell'ingresso applicato);
- 3) per tornare alle visualizzazioni temporali premere nuovamente il tasto a fianco dell'indicazione 'Formato' in modo da commutare da 'XY' a 'Normale'.



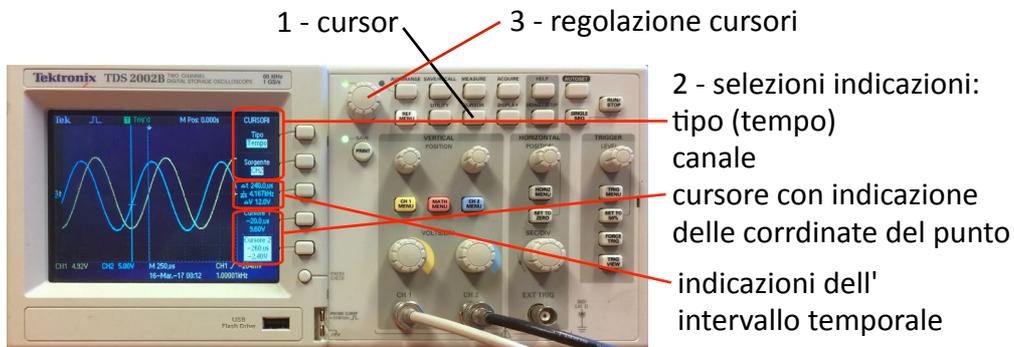
### Valori efficaci (RMS) - Measure:

- 1) premere il tasto 'MEASURE' → nella colonna a destra nel monitor appaiono i valori efficaci delle grandezze periodiche (RMS); se non appaiono premere un qualsiasi tasto funzione a fianco del monitor;
- 2) premere il tasto a fianco di 'Sorgente' nel monitor per selezionare il canale;
- 3) premere il tasto a fianco di 'Tipo' per selezionare RMS → appena sotto appare il valore efficace;
- 4) premendo più volte 'Tipo' appaiono altri parametri (massimo, minimo, periodo, frequenza, ...).



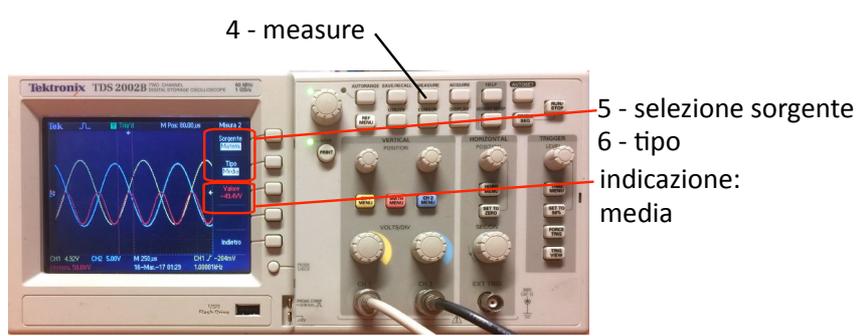
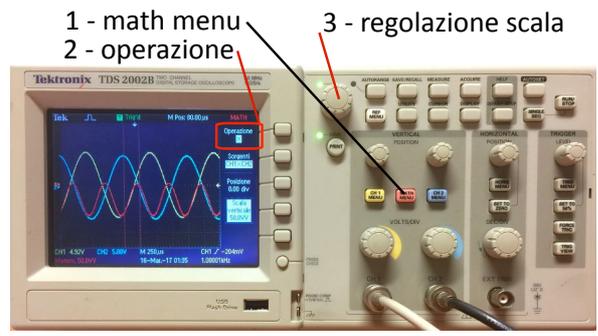
### Coordinate di punti - Cursor:

- 1) premere il tasto funzione 'CURSOR';
- 2) premere il tasto a fianco di 'Tipo' nel monitor per selezionare 'tempo' → appaiono i cursori temporali (linee verticali: selezionando 'Ampiezza' appaiono i cursori orizzontali);
  - col tasto 'Sorgente' si seleziona il canale;
  - coi tasti 'Cursore 1' e 'Cursore 2' si attiva l'uno o l'altro cursore;
- 3) ruotare la regolazione cursori fino a porre il cursore sul punto desiderato dell'onda → sotto ad esso sono indicate le coordinate del punto; a metà della colonna di destra del monitor è indicato l'intervallo temporale tra le posizioni dei due cursori.



**Prodotto dei due segnali – Math Menu:**

- 1) premere il tasto rosa 'MATH MENU';
- 2) premere il tasto a fianco di 'Operazione' nel monitor per selezionare "X" → appare in rosso la onda prodotto dei due canali;
- 3) usare la manopola per regolare la scala verticale del prodotto;
- 4) premere 'MEASURE';
- 5) premere il tasto a fianco di 'Sorgente' nel monitor per selezionare 'Matem.';
- 6) premere il tasto a fianco di 'Tipo' per selezionare 'Media' → appena sotto appare in rosso il valore medio del prodotto dei due canali.



## UTILIZZO DEL GENERATORE DI FUNZIONE E DELL'OSCILLOSCOPIO

Per potere misurare tensioni elevate (non previste nelle esperienze di laboratorio) e correnti (previste nelle esperienze di laboratorio) gli oscilloscopi richiedono quindi specifici trasduttori di segnale, capaci di trasformare la grandezza da acquisire in una tensione idonea per l'oscilloscopio. Per la misura delle correnti il più semplice (e molto usato) trasduttore è costituito da un resistore di shunt ( $R_s$ ) avente resistenza di valore piccolo e noto con precisione, che, percorso dalla corrente da misurare  $I$ , del quale viene acquisita la tensione  $V_s$  così da dedurre la corrente come  $I=V_s/R_s$ . L'immagine mostra un circuito di misura che comprende un GF e un OS, connessi in modo da misurare la tensione e la corrente del bipolo in prova. I conduttori spessi costituiscono il circuito di misura, quelli sottili i circuiti di misura. Inoltre quelli rossi sono in tensione, mentre quelli neri interconnettono le masse di OS e di GF ( $\text{---}$ ): come indicato nel disegno, esse devono essere equipotenziali. In pratica la connessione fornisce sul canale 1 (OS-CH1) la tensione del bipolo in prova e sul canale 2 (OS-CH2) la sua corrente (tramite la tensione di  $R_s$ ), come mostra la figura successiva. Affinché OS-CH1 fornisca un'indicazione fedele della tensione  $V$  del bipolo in prova, la tensione  $V_s$  di  $R_s$  deve essere molto minore di  $V$  stessa, in modo che sia  $V_{\text{CH1}} \approx V_s$ . a tal fine  $R_s$  deve essere adeguatamente piccola.

