# Esercitazioni di Laboratorio II
# Oscilloscopio Parte A

Salvatore di Maggio
Chiara Santoro

30 aprile 2005

# Indice

# 1 Considerazioni preliminari

Per non ripeterlo ad ogni descrizione, si ritiene utile ricordare in questo luogo una volta per tutte che durante le prove effettuate si è proceduto all'azzeramento degli strumenti prima di ogni sessione di misura.

## 1.1 Azzeramento del tester analogico

Per quanto riguarda il tester analogico si sono fatte due verifiche:

- che a circuito aperto (puntali senza collegamenti) l'indicatore fosse sulla tacca corrispondente a $\infty$;
- che in cortocircuito (puntali a diretto contatto fra di loro) e col valore di f.s. di volta in volta scelto *ad hoc* per il range di misura da effettuare, l'indicatore fosse sullo 0 della scala degli $\Omega$ (figura 1). Si è considerato di valutare l'errore di azzeramento, ma all'atto pratico, essendo le tacche molto distanti fra loro in quella zona, l'errore diventa trascurabile rispetto a quei valori rilevati che sono lontani dallo 0. Diventano invece di interesse quando si misurano valori con indicazioni di tacche non lontane dallo 0.

## 1.2 Azzeramento del tester digitale

Per il tester digitale, l'azzeramento viene effettuato in modo automatico prendendo un f.s. intermedio fra quelli presenti e mettendo in cortocircuito i puntali.

## 1.3 Azzeramento dell'oscilloscopio

Dopo aver scelto l'opportuno valore di V/div della deflessione verticale per le misure che si vanno a effettuare (segnali sinusoidali di ampiezza 5V e 7.5V), per azzerare l'oscilloscopio vengono portati a diretto contatto il coccodrillo della massa e il puntale; la figura che risulta è una linea retta orizzontale che, mediante apposita manopola sullo strumento, viene spostata verticalmente in modo da farla combaciare con la riga orizzontale centrale dello schermo dell'oscilloscopio (vd. figura 2). L'errore che viene commesso in questa misura è pari a $\pm 0.2 \cdot x$, dove $x$ è l'impostazione che viene scelta per i V/div con la relativa manopola e lo 0.2 è pari a 1/5 di una divisione.

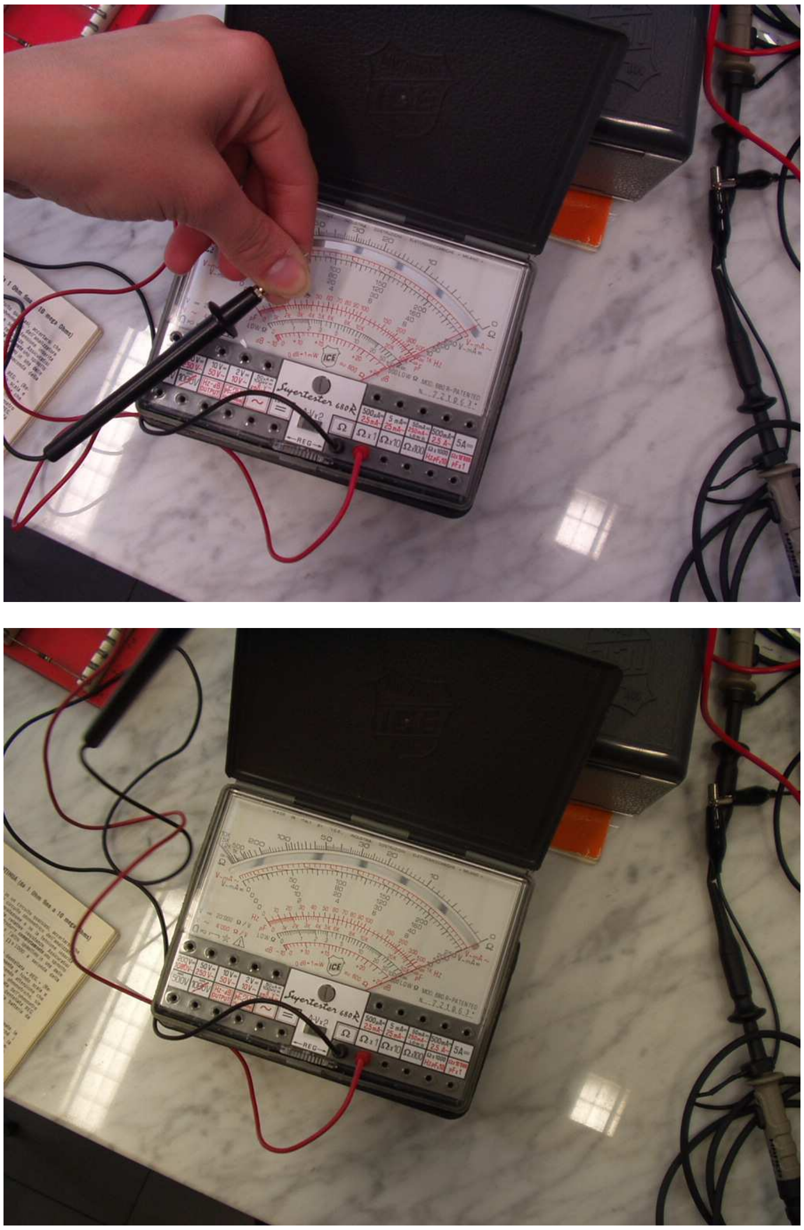

Figura 1: **In alto:** i capi dei due puntali del tester analogico vengono messi in cortocircuito in modo da avere resistenza nulla fra loro e azzerare lo strumento ruotando la rotella in basso. **In basso:** lo strumento indica lo zero dopo l'operazione di azzeramento. Lo specchio presente sulla scala graduata serve a ridurre gli errori di parallasse.

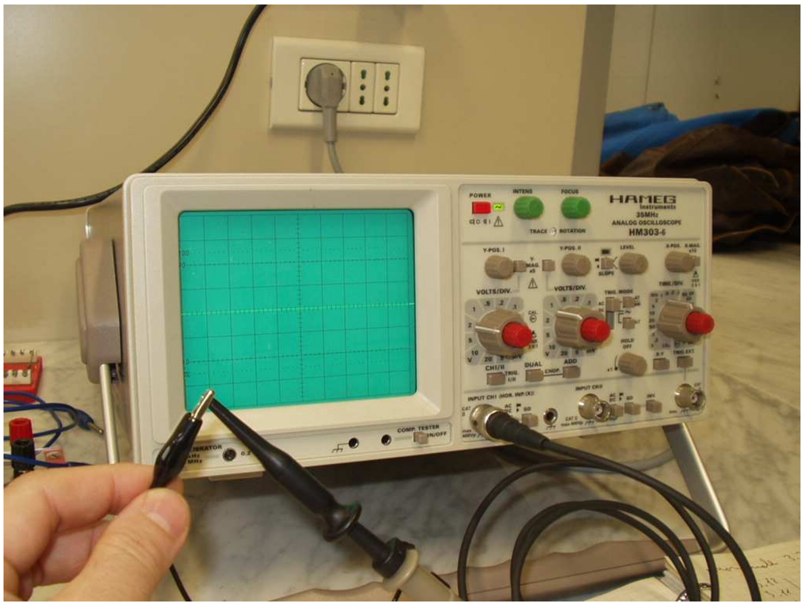

Figura 2: Azzeramento dell'oscilloscopio: mettendo in cortocircuito la massa e il puntale dell'oscilloscopio, la linea orizzontale risultante viene spostata in modo da farla coincidere con la linea orizzontale centrale della scala graduata.

# 2 Svolgimento delle prove

Le prove previste sono di due tipi: misure di resistenza con i tester analogico e digitale, e misure di tensioni alternate con l'oscilloscopio e il tester digitale.

Le misure di resistenza verranno confrontate con i valori nominali ricavati dal codice dei colori presenti sui resistori stessi (vd. tabella 1).

## 2.1 Le misure di resistenza

### 2.1.1 Misure col tester analogico

Una volta azzerato il tester, si sono effettuate diverse sessioni di misura per ognuna delle 3 resistenze. La misura è stata sempre rilevata ponendo i puntali del tester a ridosso dell'elemento resistivo, come indicato in figura 3, per ridurre al massimo l'indicazione delle resistenze di elementi esterni al resistore (come conduttori e saldature).

Per ogni resistenza le diverse sessioni davano i medesimi risultati che sono riportati nella tabella 1. L'incertezza è chiaramente maggiore quando si effettuano letture lontano dallo zero, visto che la scala non è lineare e in

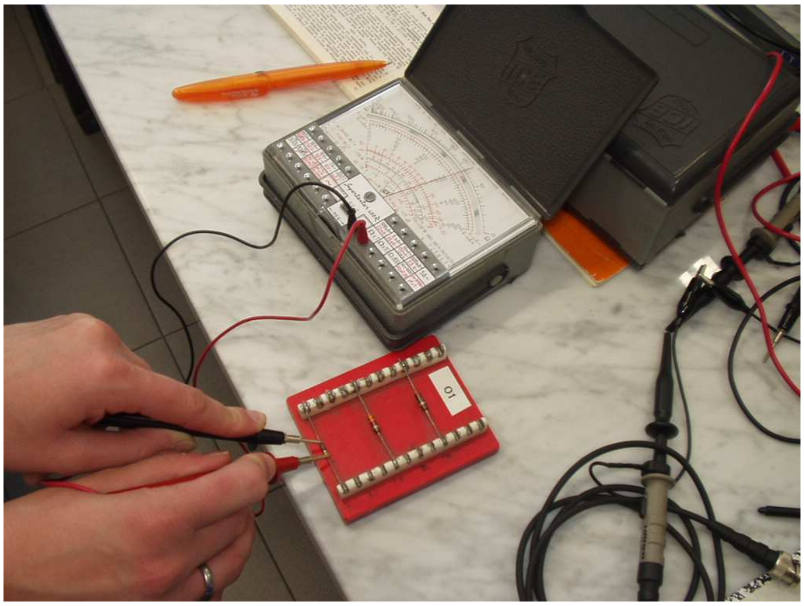

Figura 3: Le misure di resistenza vengono effettuate a ridosso degli ingressi dei capi del resistore per ridurre quanto più possibile gli errori dovuti a resistenze estranee alla misura.

quella zona le tacche sono più ravvicinate. Gli errori di azzeramento di cui si è tenuto conto sono quelli relativi alla misura delle resistenze da $18\,\Omega$ e $3.3\,\mathrm{k}\Omega$: ivi si è tenuto conto di un errore pari a $\pm 0.1$ del valore indicato ($\Omega \times n$).

| Ident. | V. Nom. | Portata | Tacca | Risultato |
|---|---|---|---|---|
| $R_1$ | $18 \pm 10\%$ [$\Omega$] | $\Omega \times 1$ | $16.0 \pm 0.5 \pm 0.1$ | $16.0 \pm 0.6$ [$\Omega$] |
| $R_2$ | $3.3 \pm 10\%$ [k$\Omega$] | $\Omega \times 1000$ | $3.0 \pm 0.2 \pm 0.1$ | $3.0 \pm 0.3$ [k$\Omega$] |
| $R_3$ | $2.2 \pm 10\%$ [M$\Omega$] | $\Omega \times 1000$ | $(3.5 \pm 1.5)$k | $3.5 \pm 1.5$ [M$\Omega$] |

Tabella 1: Valori misurati con il tester analogico per le tre resistenze fornite. Nella colonna indicante la tacca della misura, oltre al valore letto, vengono indicati gli errori di lettura e gli errori sullo zero.

Si nota inoltre che, se per bassi valori delle resistenze le indicazioni sono per difetto rispetto al valore nominale, per gli alti valori le indicazioni sono sensibilmente in eccesso.

### 2.1.2 Misure col tester digitale

Se le misure effettuate col tester analogico tendevano a indicare un valore inferiore, queste prove col tester digitale indicano dei valori tendenzialmente più vicini ai valori nominali, soprattutto verso gli alti valori delle resistenze. Principalmente ciò è imputabile al fatto che non si hanno degli errori di lettura dovuti alla non linearità della scala che possono far deviare anche sensibilmente i valori letti da quelli effettivi, soprattutto nella zona lontana dallo 0.

| N. | $R_1$ [$\Omega$] | $R_2$ [k$\Omega$] | $R_3$ [M$\Omega$] |
|---|---|---|---|
| 1 | $20.3 \pm 0.3$ | $3.12 \pm 0.03$ | $2.22 \pm 0.05$ |
| 2 | $20.4 \pm 0.3$ | $3.11 \pm 0.03$ | $2.21 \pm 0.05$ |
| 3 | $20.0 \pm 0.3$ | $3.11 \pm 0.03$ | $2.21 \pm 0.05$ |
| 4 | $20.3 \pm 0.3$ | $3.11 \pm 0.03$ | $2.21 \pm 0.05$ |
| 5 | $20.2 \pm 0.3$ | $3.11 \pm 0.03$ | $2.21 \pm 0.05$ |
| 6 | $20.4 \pm 0.3$ | $3.12 \pm 0.03$ | $2.21 \pm 0.05$ |
| Media | $20.3 \pm 0.3$ | $3.11 \pm 0.03$ | $2.21 \pm 0.05$ |
| V. Nom. | $18 \pm 10\%$ | $3.3 \pm 10\%$ | $2.2 \pm 10\%$ |
| f.s. | $200\,\Omega$ | $20\,\mathrm{k}\Omega$ | $20\,\mathrm{M}\Omega$ |
| Errore | $\pm 0.5\%$ $\pm 2$ cifre | $\pm 0.5\%$ $\pm 1$ cifra | $\pm 2\%$ $\pm 1$ cifra |

Tabella 2: Valori misurati con il tester digitale per le tre resistenze fornite, la media e il relativo valore nominale.

## 2.2 Le misure all'oscilloscopio

Le prove che verranno condotte all'oscilloscopio riguardano lo studio delle tensioni alternate. Confronteremo i valori delle tensioni misurate da un tester digitale e lette da un oscilloscopio; inoltre vi sarà uno studio di quelle presenti in un circuito RLC.

Le divisioni disegnate sullo schermo dell'oscilloscopio vengono valutate, come da figura 4, tenendo conto che una divisione è suddivisa in 5 sottodivisioni, il cui intervallo pertanto avrà un valore di 0.2 div.

### 2.2.1 Misure delle tensioni alternate

Come si vede dalla figura 5, si è impostato il generatore di onde in modo da avere una frequenza $f = 2\,\mathrm{kHz}$ e un'ampiezza $V_0 = 5\,\mathrm{V}$. La precisione del generatore è a meno di $\pm 1$ cifra, come dichiarato dal costruttore.

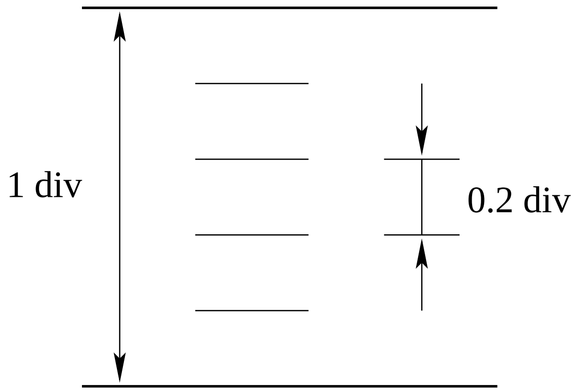


Figura 4: Valore dell'intervallo delle sottodivisioni dell'oscilloscopio.

L'ampiezza dell'onda è stata regolata mediante l'oscilloscopio (vd. figura 6), impostando la suddivisione dei tempi a $0.5\,\mathrm{ms/div}$ e quella delle tensioni a $2\,\mathrm{V/div}$. Gli errori dell'oscilloscopio, secondo quanto riportato dal costruttore, sono del $\pm 3\%$ sia sulle misure verticali che su quelle orizzontali.

Per inciso, nella figura 6 il segnale sullo schermo è molto marcato per esigenze di nitidezza fotografica, ma in realtà l'intensità della traccia durante la prova è più attenuata in modo da farla apparire sottile per ridurre gli errori di lettura.

La misura dell'ampiezza del segnale data dall'oscilloscopio risulta pari a

$$V_{0_{\mathrm{osc}}} = 5.0\,\mathrm{V} \underbrace{\pm(0.2\,\mathrm{div}\cdot 2\,\mathrm{V/div})}_{\text{errore di misura}} \underbrace{\pm(0.2\,\mathrm{div}\cdot 2\,\mathrm{V/div})}_{\text{errore di azzeramento}} \pm 3\% = (5.0 \pm 0.9)\,\mathrm{V}$$

Di seguito viene valutata la tensione con il tester digitale, e in base alle varie misure, la cui modalità ricalca quella della tabella 2 sopra descritta, si è calcolato un valore efficace della tensione pari a $V_{\mathrm{eff}} = (3.43 \pm 0.05)\mathrm{V}$; la relazione che lega l'ampiezza $V_0$ della tensione sinusoidale con il valore efficace $V_{\mathrm{eff}}$ è $V_0 = V_{\mathrm{eff}} \cdot \sqrt{2}$ che in questo caso fornisce

$$V_{0_{\mathrm{t}}} = 3.43 \pm 0.05 \cdot \sqrt{2}\,\mathrm{V} = (4.85 \pm 0.07)\,\mathrm{V}$$

La tensione efficace rilevata sul tester digitale è risultata essere $(3.43 \pm 0.05\,)\mathrm{V}$; lo scarto fra le due misure (oscilloscopio e tester digitale) è di $0.07\,\mathrm{V}$. Esso è inferiore all'errore massimo delle misure, per cui i due valori delle tensioni efficaci si possono considerare consistenti.

La funzione che descrive l'onda in uscita dal generatore è

$$V(t) = V_0 \sin \omega t = (4.85 \pm 0.07) \sin\left[2\pi\,(2.00 \pm 0.01)\,10^3\,t\right]\ \mathrm{V}$$

La scelta dell'ampiezza è stata effettuata secondo la media pesata delle ampiezze misurate con l'oscilloscopio e il tester digitale.

Figura 5: Il generatore di onde impostato per fornire tensioni sinusoidali di ampiezza 5V e frequenza di 2kHz.

### 2.2.2 Misura del periodo delle tensioni alternate

La misura del periodo viene effettuata portando le divisioni orizzontali a $0.5\,\mathrm{ms/div}$: come si vede in figura 6, questo ci porta ad aumentare il numero dei cicli nello schermo, avere dei massimi più piccati e quindi ridurre gli errori di lettura; si procede quindi alla valutazione dell'intervallo di tempo fra il primo massimo e l'ultimo. Abbiamo $\Delta t = 9\,\mathrm{div} \cdot 0.5\,\mathrm{ms/div} \pm 0.1\,\mathrm{ms} \pm 3\% = 4.5 \pm 0.2\,\mathrm{ms}$ in cui sono presenti 9 cicli; da qui si calcola che il periodo è

$$T = \frac{4.5 \pm 0.2}{9}\,\mathrm{ms} = (0.50 \pm 0.02)\,\mathrm{ms}$$

corrispondente a una frequenza di $2.00 \pm 0.09\,\mathrm{kHz}$. Questa frequenza è molto prossima a quella indicata dal generatore; possiamo quindi valutare l'andamento della tensione in funzione del tempo con la relazione

$$V(t) = V_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}\,t\right) = (4.85 \pm 0.07) \sin\left(\frac{2\pi}{0.50 \pm 0.02}\,t\right)\,\mathrm{V}$$

La scelta di contare l'intervallo di tempo segue il criterio di spalmare l'errore di $\pm 0.1\,\mathrm{ms}$ sulla scala di lettura su un numero più grande di periodi.

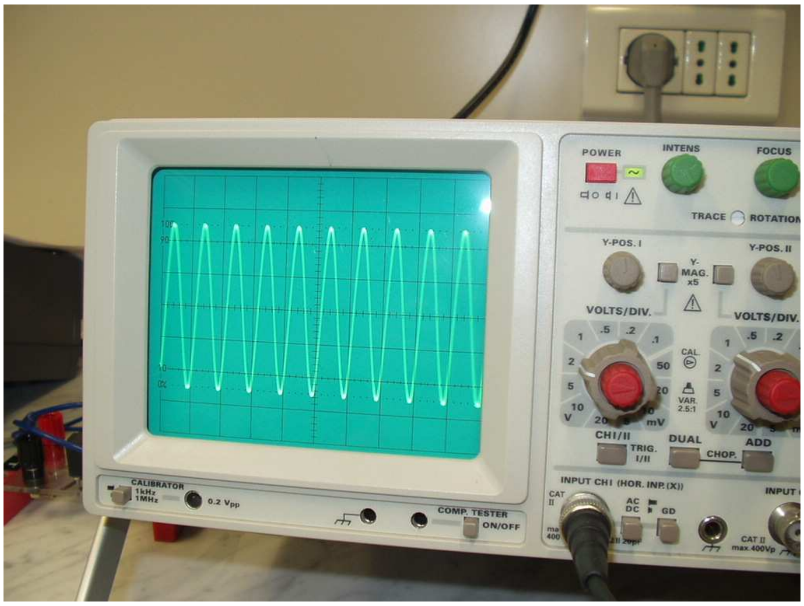


Figura 6: La misura del periodo di oscillazione viene effettuata visualizzando molti periodi sullo schermo.

### 2.2.3 Misure delle tensioni in un circuito RLC

Adesso viene portata l'ampiezza delle oscillazioni a $V_0 = 7.5\,\mathrm{V}$ e la frequenza $f = 15\,\mathrm{kHz}$. L'azzeramento dell'oscilloscopio viene eseguito tenendo conto di un errore di $\pm 0.2\,\mathrm{V}$.

Le impostazioni dell'oscilloscopio sono $2\,\mathrm{V/div}$ e $50\,\mu\mathrm{s/div}$, viene letta un'ampiezza di $(7.5 \pm 0.2 \pm 0.2 \pm 3\%)\,\mathrm{V} = (7.5 \pm 0.6)\,\mathrm{V}$. Impostando il tester digitale alla lettura delle tensioni con f.s. di $20\,\mathrm{V}$, vengono effettuate delle misure che danno un valore efficace della tensione di $4.39\,\mathrm{V} \pm 0.75\% \pm 2\,\mathrm{cifre}$, il che significa $V_{\mathrm{eff}} = 4.39 \pm 0.05\,\mathrm{V}$. Da questa tensione efficace si risale all'ampiezza del segnale sinusoidale:

$$V_0 = V_{\mathrm{eff}} \cdot \sqrt{2} = (4.39 \pm 0.05) \cdot \sqrt{2}\,\mathrm{V} = (6.21 \pm 0.07)\,\mathrm{V}$$

Lo scarto fra le ampiezze delle tensioni è di $1.29\,\mathrm{V}$, troppo distanti rispetto alle incertezze calcolate (più del doppio di quella maggiore) per poterle considerare consistenti.

A questo punto viene collegato il generatore al trasformatore e si misurano le varie tensioni all'oscilloscopio riportate in tabella 3.

Non è possibile sommare queste quantità secondo la formula

$$V_{\mathrm{T}} = V_{\mathrm{C}} + V_{\mathrm{R}} + V_{\mathrm{L}}\,,$$

| V | Lett. | Err. lett. | Err. azz. | Err. str. | Val. finale |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_\mathrm{C}$ [V] | 4.2 | $\pm0.2$ | $\pm0.2$ | $\pm3\%$ | $4.2 \pm 0.5$ |
| $V_\mathrm{R}$ [V] | 5.6 | $\pm0.2$ | $\pm0.2$ | $\pm3\%$ | $5.6 \pm 0.6$ |
| $V_\mathrm{L}$ [V] | 7.5 | $\pm0.2$ | $\pm0.2$ | $\pm3\%$ | $7.5 \pm 0.6$ |
| $V_\mathrm{T}$ [V] | 6.8 | $\pm0.2$ | $\pm0.2$ | $\pm3\%$ | $6.8 \pm 0.6$ |

Tabella 3: Valori misurati con il tester digitale per le ampiezze delle tensioni.

perché queste sono solo delle **ampiezze** di vettori sfasati fra loro. La formula corretta tiene conto del fatto che le tensioni sono rappresentabili come vettori sul piano di Gauss, per cui sarebbe

$$\vec{V}_\mathrm{T} = \vec{V}_\mathrm{C} + \vec{V}_\mathrm{R} + \vec{V}_\mathrm{L}\,,$$

in cui si tiene conto di **tutte** le componenti dei vettori, che costituiscono le loro parti reali e immaginarie sul piano di Gauss.

### 2.2.4 L'andamento relativo delle tensioni

Collegando lo stesso valore di tensione ai due ingressi X e Y dell'oscilloscopio, impostati i medesimi valori di V/div, essendo $Y = X$ la relazione fra le due variabili, si dovrebbe vedere una retta a 45°, come in effetti mostra la figura 7.

A questo punto si è lasciato $Y = V_\mathrm{R}$ e si è collegato $V_\mathrm{L}$ a $X$. Essendo le due tensioni sfasate fra loro di $\pi/2$ con $V_\mathrm{L}$ in anticipo su $V_\mathrm{R}$, la figura che si forma sullo schermo non è più una retta ma un'ellisse (vd. figura 8 in alto), visto anche che le tensioni hanno ampiezze diverse (che sono le lunghezze dei semiassi).

Nella figura 8 in basso si nota che l'immagine all'oscilloscopio è una circonferenza: essa è stata ottenuta diminuendo la frequenza a $11.04 \pm 0.01$ kHz, in modo da decrementare l'ampiezza della tensione $V_\mathrm{L}$ fino al valore di $V_\mathrm{R}$ secondo la relazione $R = \omega L$.

# 3 Risultati e conclusioni

Il fatto che nelle misure di resistenza per alti valori si abbiano errori considerevoli, non permette di trarre conclusioni: si può ipotizzare un deterioramento della resistenza come è anche possibile che il tester abbia perso affidabilità nel tempo. Un modo per sapere quale ipotesi sia corretta è affidarsi a uno strumento di cui si conosca a priori l'affidabilità, oppure eseguire le misure su un resistore campione per la verifica del corretto funzionamento dei tester.

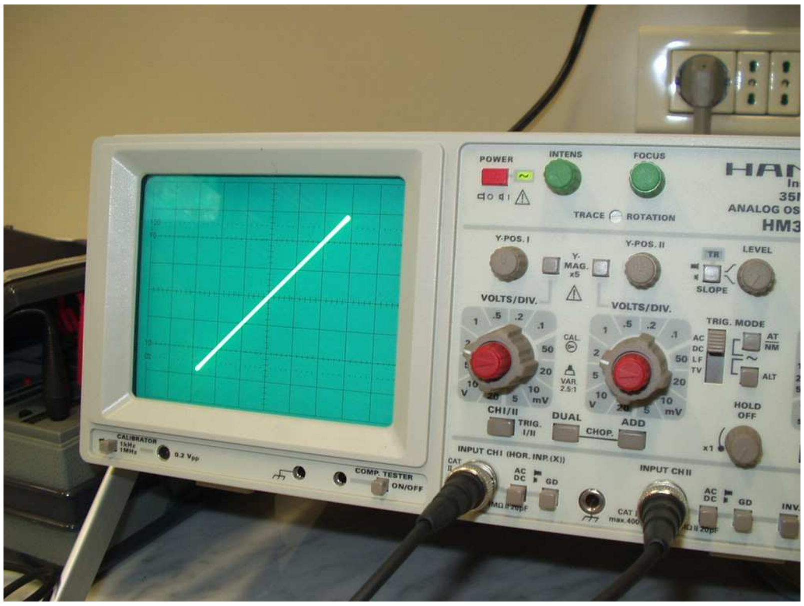


Figura 7: Ponendo $X = Y = V_R$ con le medesime impostazioni per ogni canale, si vede sull'oscilloscopio una retta inclinata di 45° (come deve essere).

Le misure di tensione a 7.5 V e 15 kHz non sono fra loro consistenti, ma al momento non abbiamo elementi per stabilire quali siano le cause e quali delle due letture sia più significativa. Visto che in precedenza, con $V_0 = 5\,\mathrm{V}$ e $f = 2\,\mathrm{kHz}$, le misure erano consistenti, come ipotesi si può avanzare il fatto che a tensioni e frequenze rispettivamente di 7.5 V e 15 kHz almeno uno dei due strumenti abbia un calo di affidabilità.

Nella prova in cui vengono collegati entrambi i segnali agli ingressi dell'oscilloscopio, collegando X a $V_\mathrm{C}$ con frequenza di generatore a 15 kHz si dovrebbe ottenere anche qui un ellisse, ma con l'asse maggiore lungo Y perché $Y = V_\mathrm{R} > V_\mathrm{C} = X$. E naturalmente, variando opportunamente la frequenza del segnale, si potrà ottenere il caso in cui $V_\mathrm{R} = V_\mathrm{C}$, che corrisponde alla relazione $R = 1/\omega C$ per cui l'immagine risulterà una circonferenza.

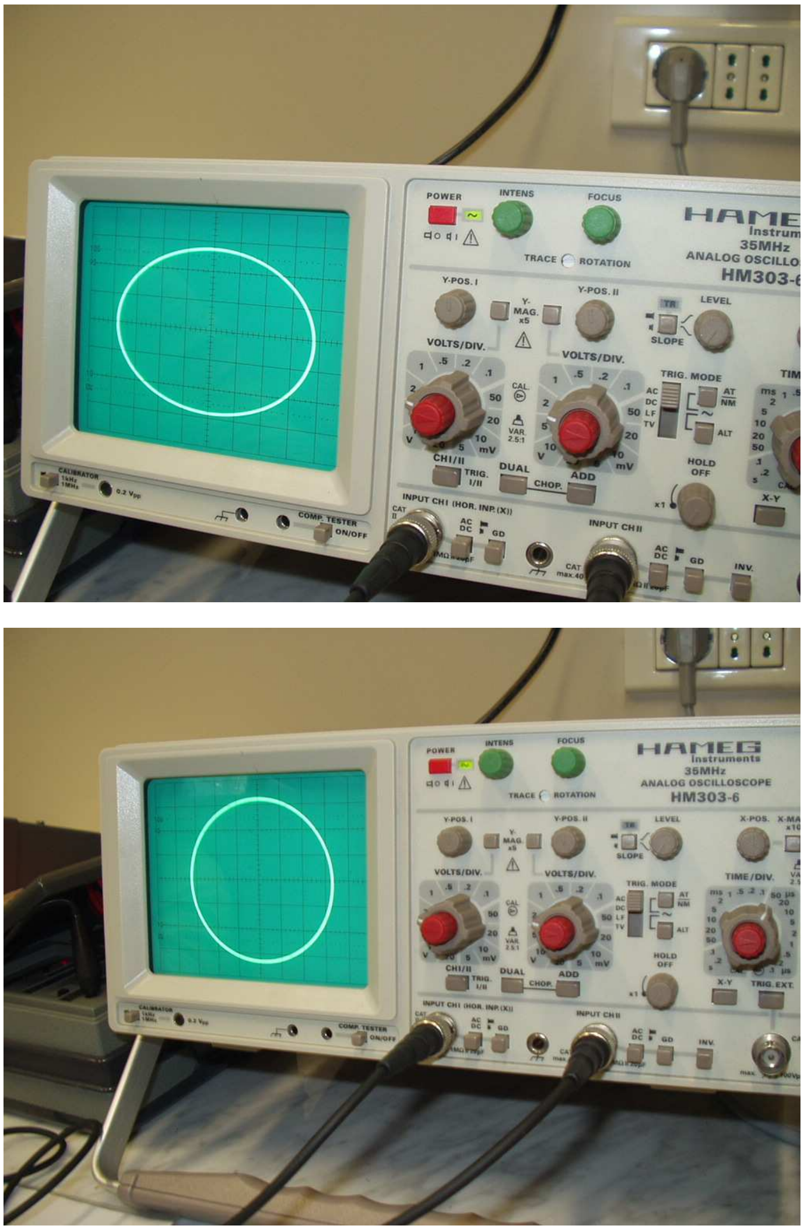


Figura 8: **In alto:** la figura ellittica che risulta con $Y = V_R$ e $X = V_L$ con un segnale del generatore alla frequenza di 15 kHz. **In basso:** Dopo aver ridotto la frequenza del generatore a 11.04 kHz, la figura risultante è una circonferenza.