

Laboratorio di Segnali e Sistemi Canale Df-Mo

Introduzione al laboratorio



Claudio Luci
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

last update : 070117

Sommario del capitolo:

- Ubicazione delle stanze
- Descrizione dei banchi
- Uso del PC
- Descrizione degli strumenti
- Breve descrizione sugli errori di misura
- Descrizione della breadboard
- Relazione

Ubicazione delle stanze



Una stanza del vecchio Lab



Numero del banco

Una stanza del vecchio Lab

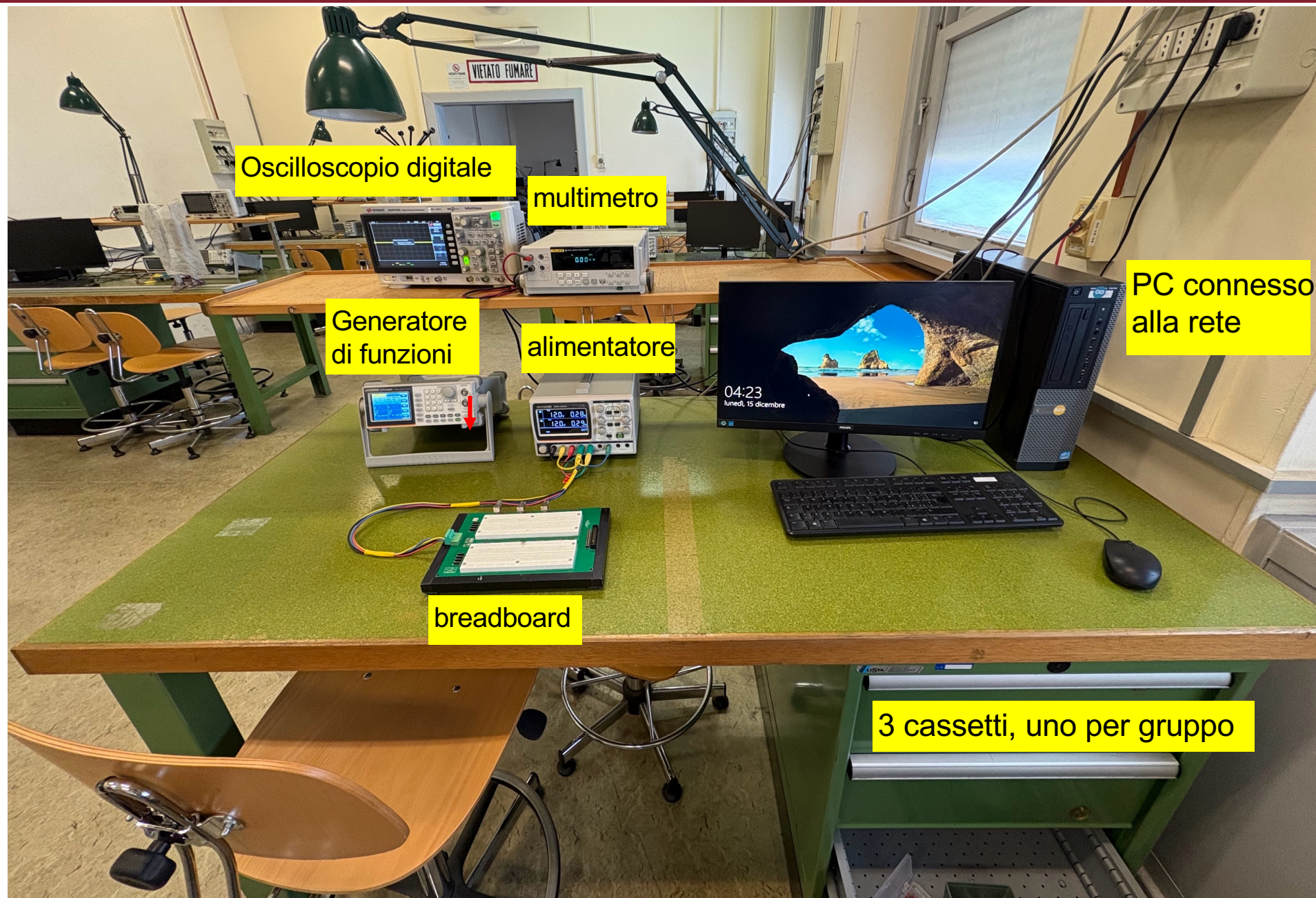


Numero del banco

Una stanza del nuovo Lab



Banco (del vecchio Lab)



Banco (del nuovo Lab)



Cassetti dei nuovi banchi

Prendete le cose dal vostro cassetto e le portate sul banco ... e a fine ora le portate indietro



Il numero del cassetto è diverso dal numero del banco

Troverete i cassetti aperti a inizio dell'esercitazione (sia i nuovi che i vecchi); rimettete tutto il vostro materiale nel cassetto a fine dell'esercitazione (altrimenti, sarete nei guai durante la prossima esercitazione, perché questa è roba "vostra").

Cassetto

Troverete il cassetto aperto che verrà chiuso a fine ora.
Il contenuto del cassetto è sotto la vostra responsabilità.

Cavi rigidi

T per i BNC

Nel cassetto c'è anche
la VOSTRA breadboard

I 4 cavi BNC sono i vostri,
rimetteteli nel cassetto.

pinzette

pinza

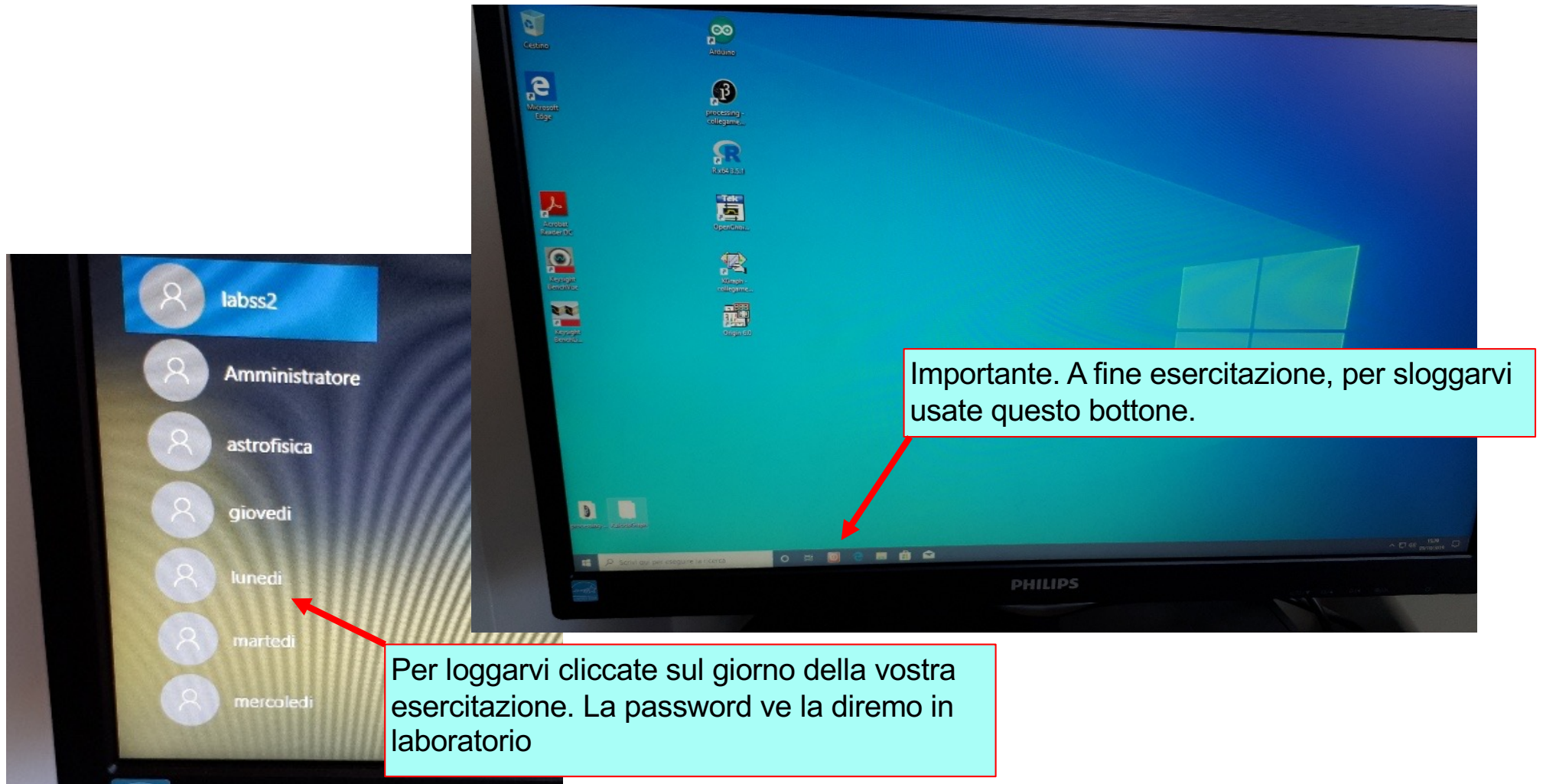
Cavi morbidi

C'è anche un cacciavite

PC

Windows 10.

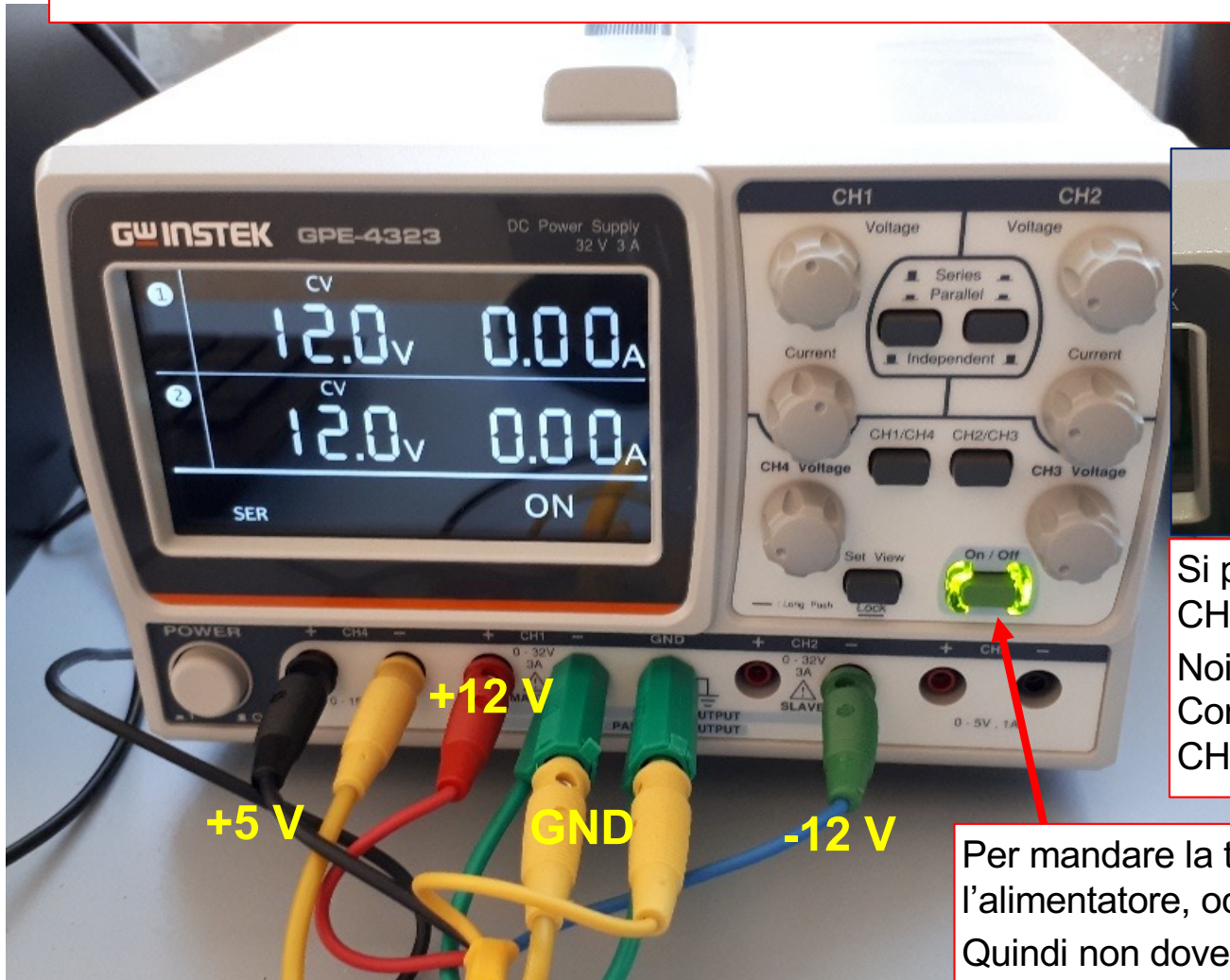
Vi sono diversi software: Microsoft Office, Kaleidagraph, Origin, SciDavis, R, etc....



Alimentatore triplo in continua

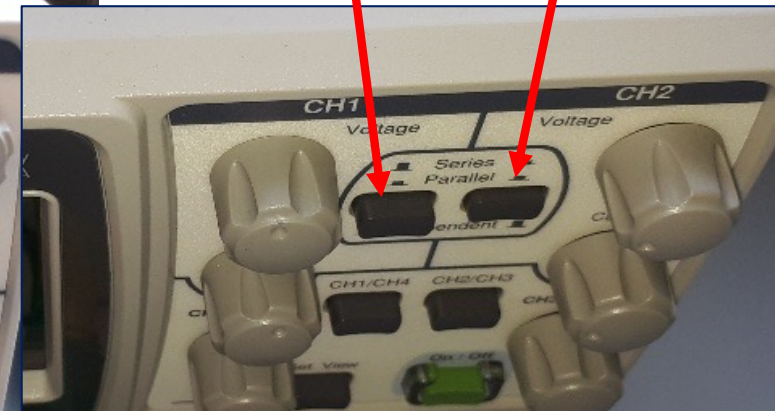
L'alimentatore ha 4 canali, ma con un opportuno settaggio dei canali può funzionare fornire un'alimentazione duale (positiva e negativa con lo stesso modulo) e un canale positivo.

Guardate i video su youtube per maggiori dettagli sugli strumenti



Alzato

Abbassato



Si possono mettere i canali CH1/CH2 in serie o in parallelo. Noi li vogliamo in serie. Corrispondono a +12 V, -12 V sulla bread. CH4 corrisponde a +5 V sulla breadboard

Per mandare la tensione in uscita, oltre ad accendere l'alimentatore, occorre anche premere questo tasto. Quindi non dovete spegnere l'alimentatore per togliere tensione alla basetta, ma usate questo tasto.

Alla scheda

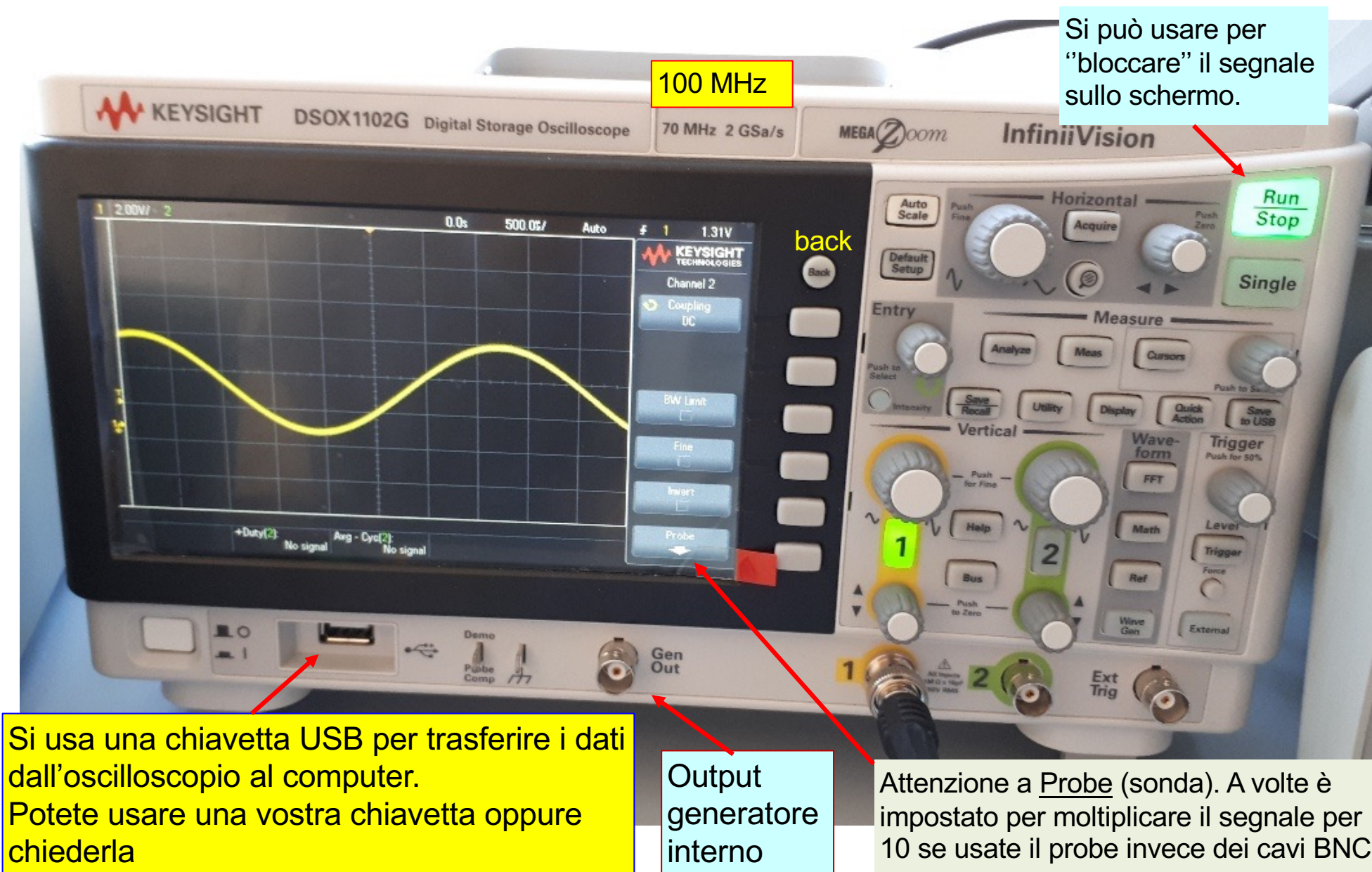
Generatore di segnali

Il generatore ha due canali di uscita. Potete selezionare quale impostare da qui.



L'ampiezza del segnale impostata sul generatore è solo indicativa, il suo valore lo dovete leggere sull'oscilloscopio. Mandate sempre il segnale del generatore sul canale 1 dell'oscilloscopio.

Oscilloscopio digitale a 2 canali



Oscilloscopio digitale a 2 canali

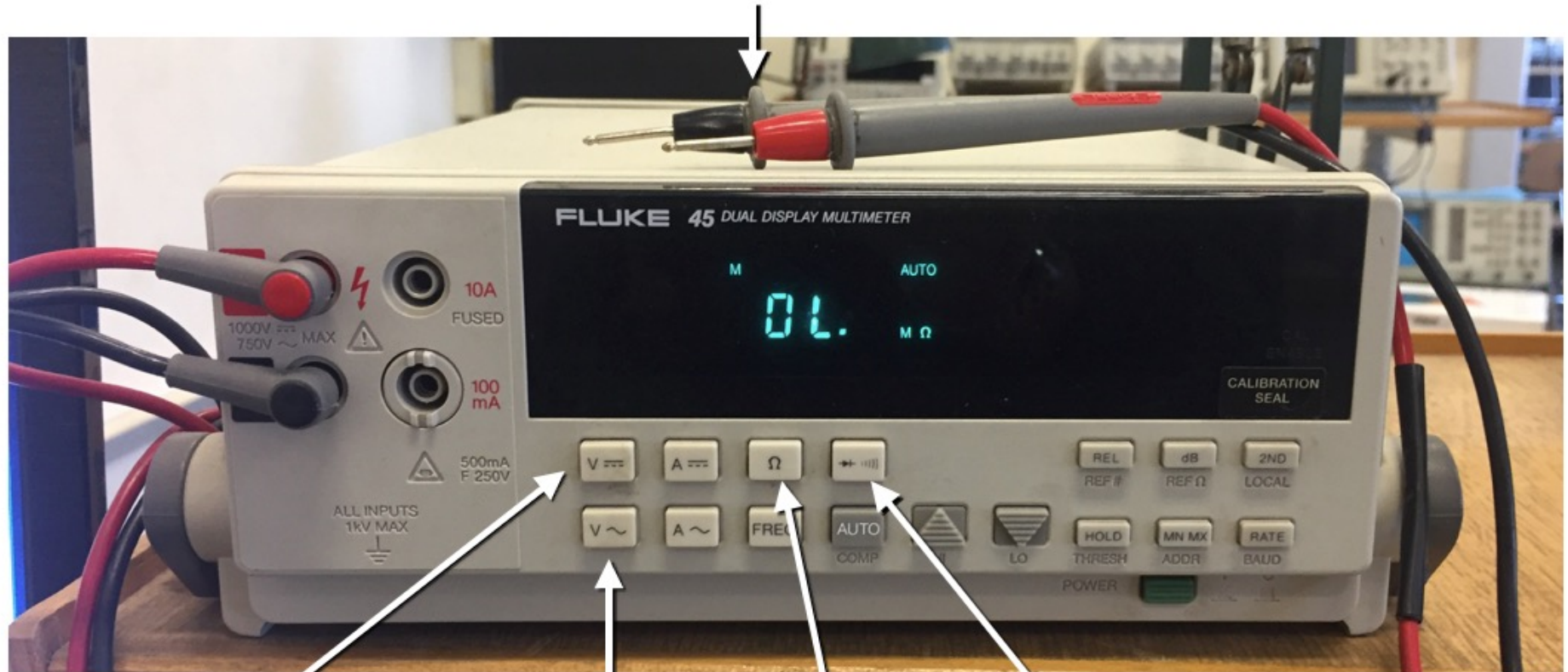


Nelle tre stanze del vecchio Lab. ci sono modelli diversi dello stesso oscilloscopio digitale che differiscono solo per piccoli dettagli, ad esempio nell'uso dei cursori.

Il funzionamento delle funzioni principali è identico, ad esempio per la presenza di un generatore di funzioni interno e nell'uso del software di interfaccia con il PC

Multimetro (vecchio Lab)

Pin: appartengono al banco, non al cassetto!



Tensioni continue

Resistenze

Corto circuiti (beep)

Tensioni alternate (RMS)

Multimetro (nuovo Lab)



Questo multimetro può misurare anche le capacità, però vi consiglio di usare il ponte per la misura delle capacità che si trova in ogni sala

Ponte per misura di capacità

Ci sono quattro strumenti, uno per stanza.

Il ponte fa una misura di impedenza, facendo uno scan in frequenza. Aspettare che la misura si stabilizzi (circa 30-60 secondi), prima di togliere il condensatore.

La parte piu' critica sono queste pinzette. Non toccate il condensatore durante la misura.

Filmati sull'uso degli strumenti

Link a dei video su youtube con delle spiegazioni sull'utilizzo di alcuni strumenti.
Lo trovate anche nella mia pagina Web

<https://www.youtube.com/channel/UCKLaT39ztPkpCbWPqgWJjTA>

Videos



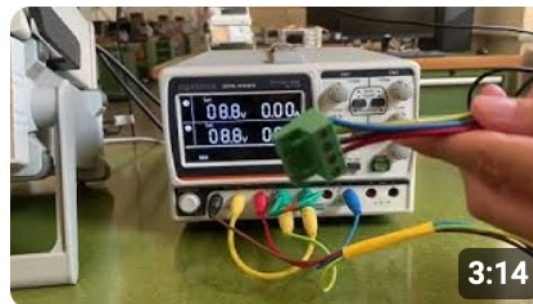
**Diagramma di Bode
realizzato con oscilloscopio...**

524 views • 11 months ago



**Generatore di funzioni GW
Instek**

261 views • 11 months ago



Alimentatore DC

370 views • 11 months ago



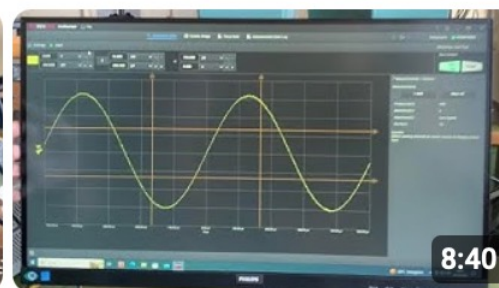
**Oscilloscopio Keysight parte
2**

320 views • 11 months ago



**Oscilloscopio Keysight parte
1**

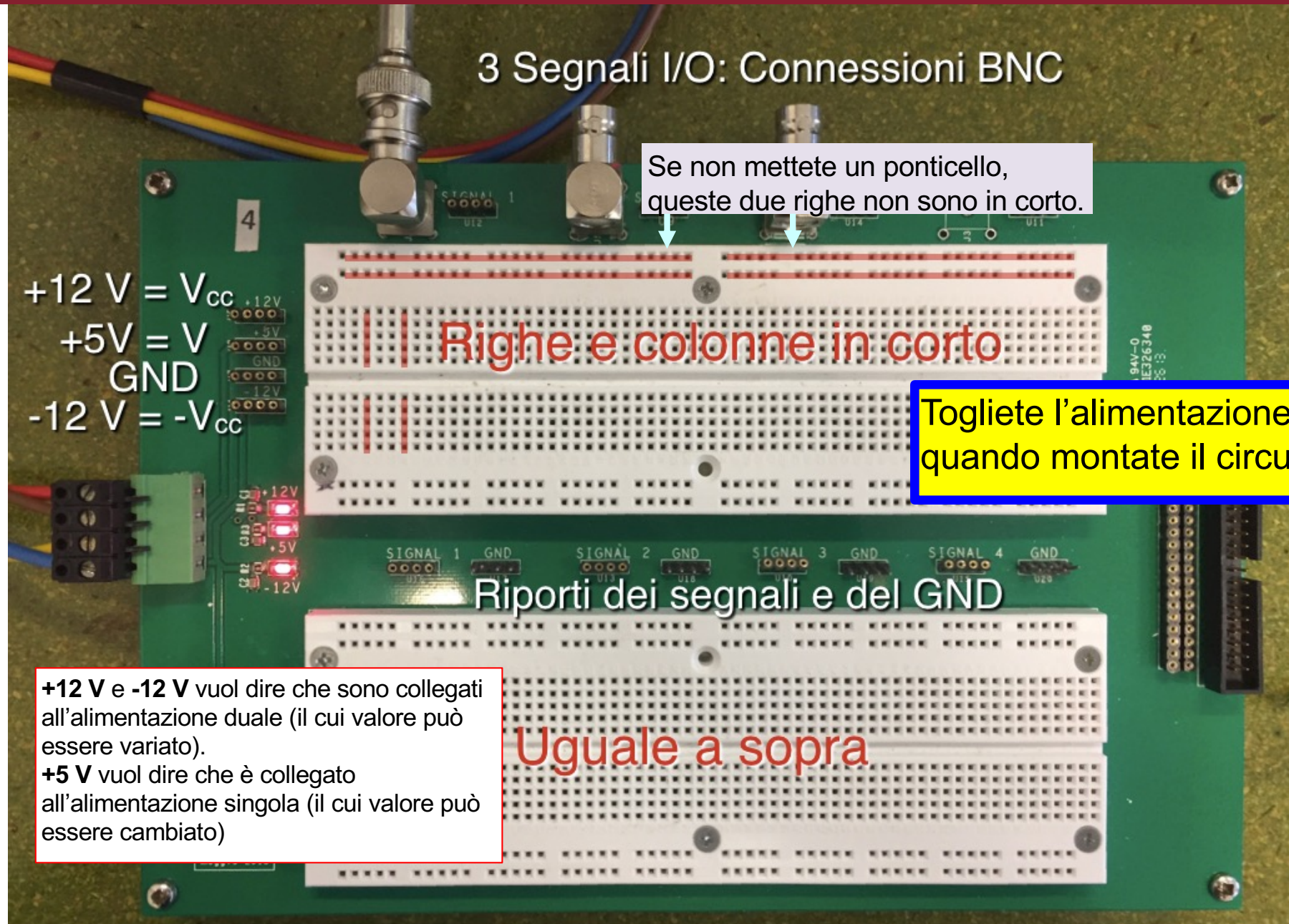
609 views • 11 months ago



**Software Oscilloscopio
Keysight**

433 views • 11 months ago

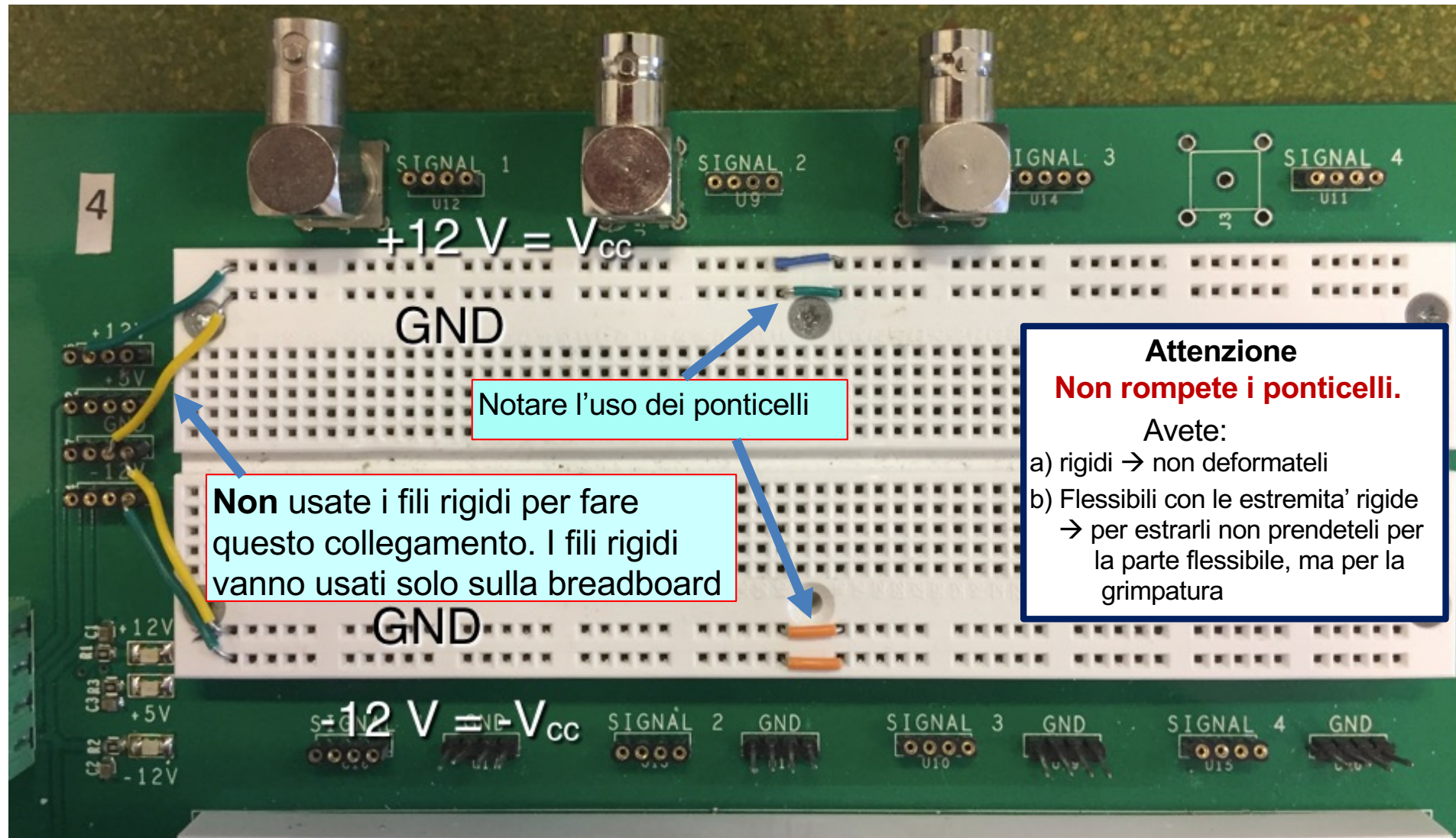
breadboard



+12 V e -12 V vuol dire che sono collegati all'alimentazione duale (il cui valore può essere variato).
+5 V vuol dire che è collegato all'alimentazione singola (il cui valore può essere cambiato)

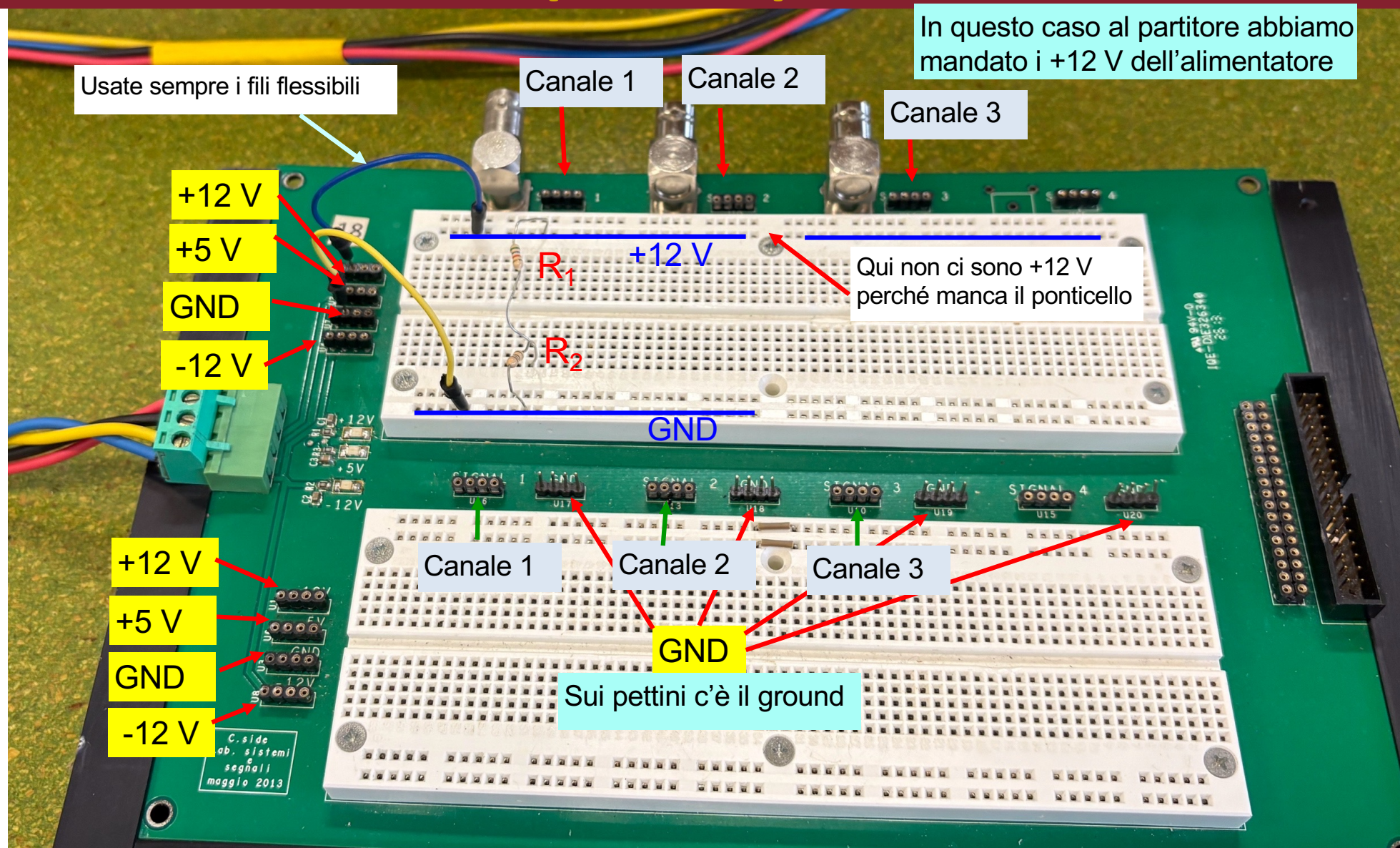
Linee di alimentazione e ground

E' buona pratica usare le linee orizzontali per alimentazione e ground (GND)



NOTA: anche la parte esterna del coassiale BNC è a ground (GND)

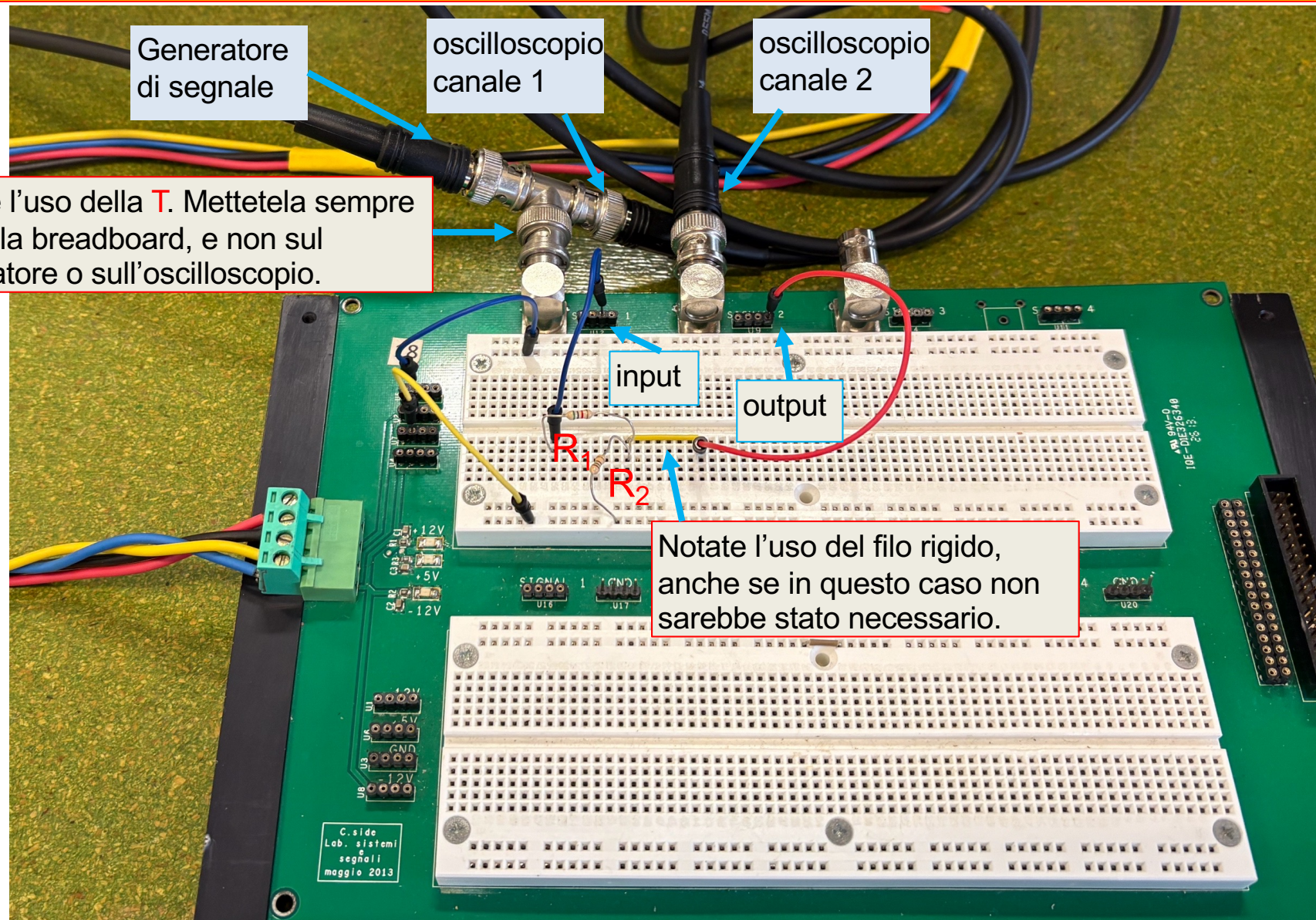
Esempio: un partitore



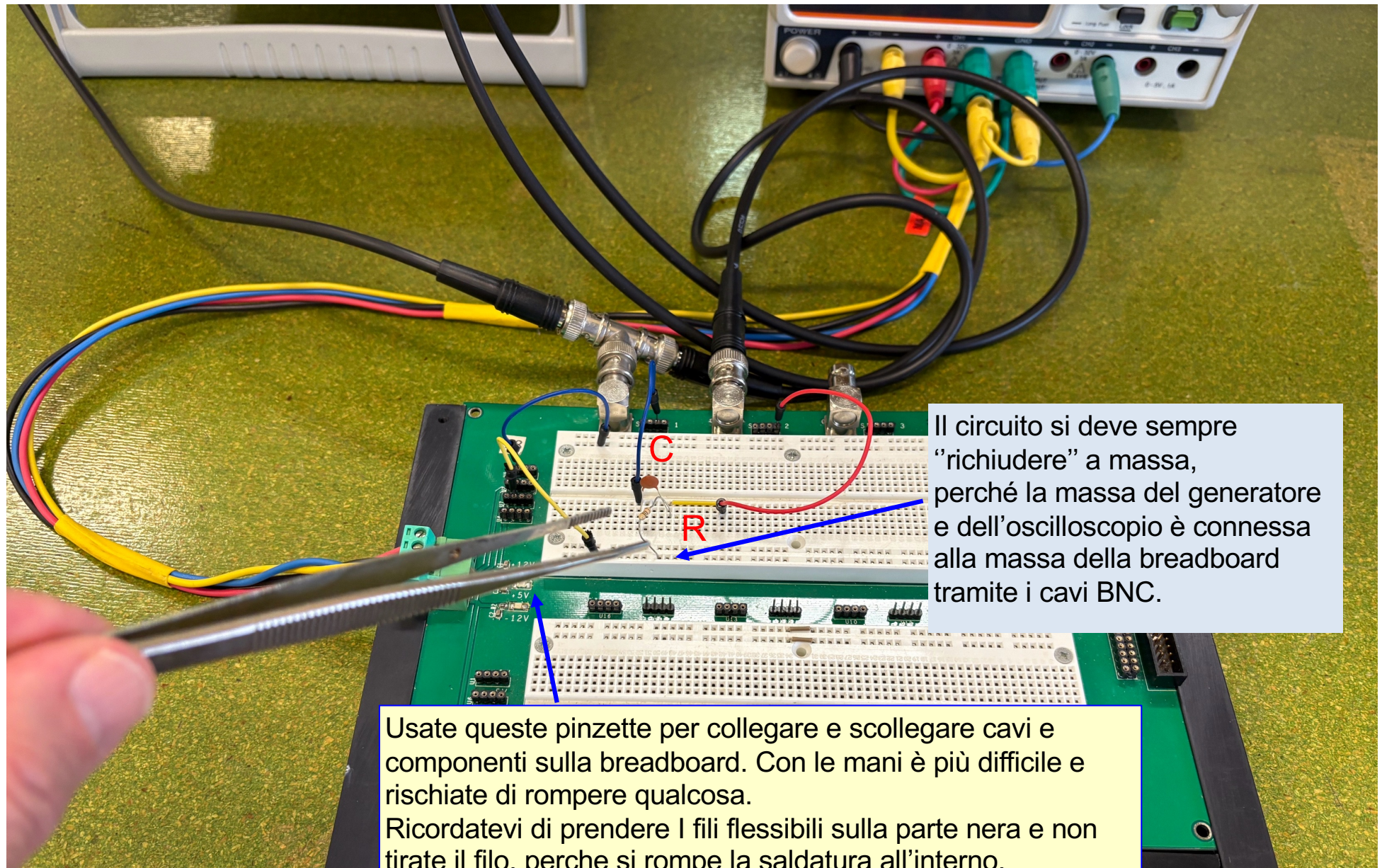
+12 V, -12V e 5 V sono solo delle lable. Il valore della tensione dipende da cosa viene impostato sull'alimentatore. +12 V e -12 V corrispondono all'alimentazione duale.

Esempio: un partitore

In questi caso l'alimentazione è collegata, ma al partitore mandiamo il segnale del generatore.



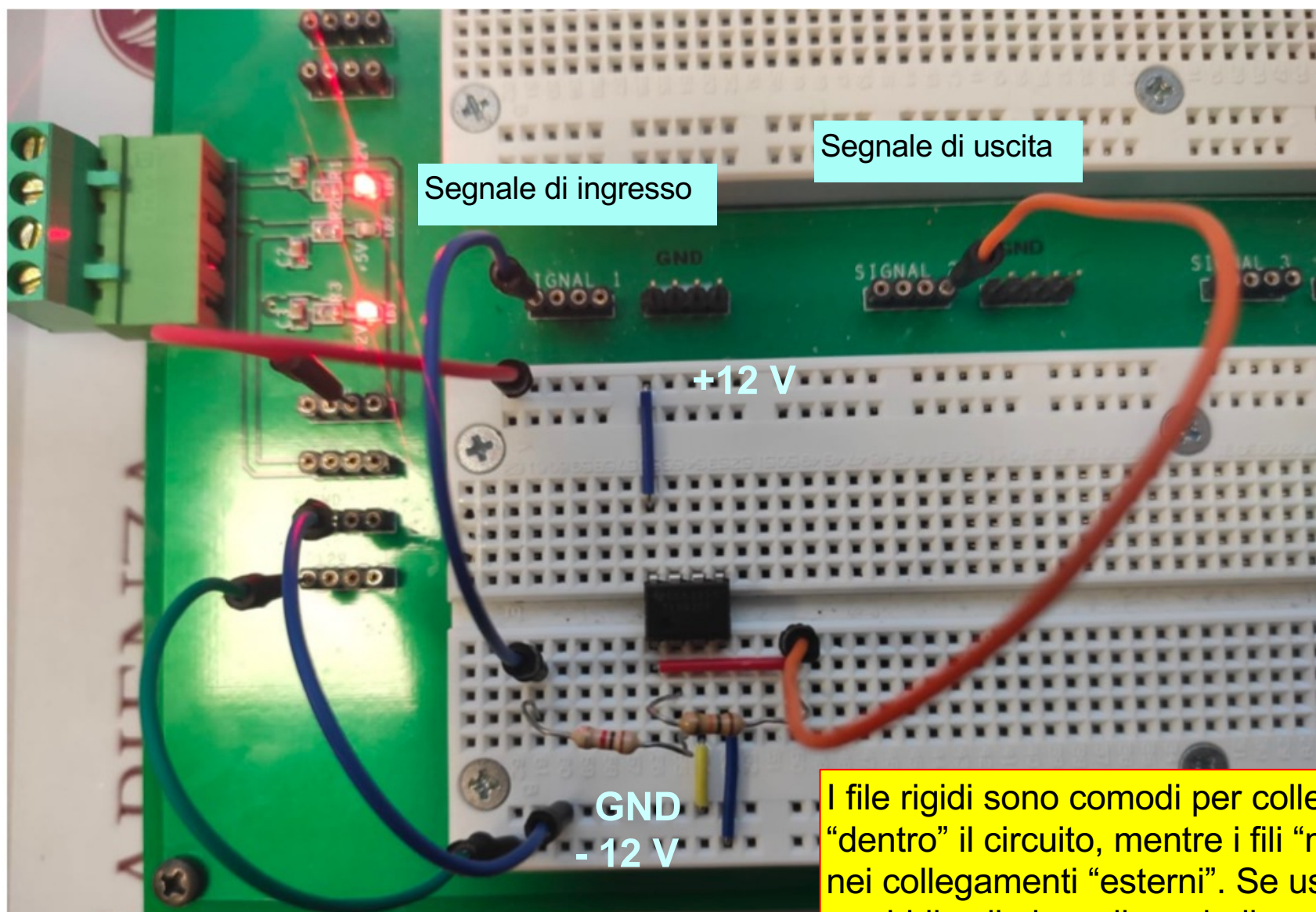
Esempio: un circuito RC



Il circuito si deve sempre "richiudere" a massa, perché la massa del generatore e dell'oscilloscopio è connessa alla massa della breadboard tramite i cavi BNC.

Usate queste pinzette per collegare e scollegare cavi e componenti sulla breadboard. Con le mani è più difficile e rischiate di rompere qualcosa. Ricordatevi di prendere i fili flessibili sulla parte nera e non tirate il filo, perché si rompe la saldatura all'interno.

Esempio: OPAMP



I fili rigidi sono comodi per collegamenti “dentro” il circuito, mentre i fili “morbidi” nei collegamenti “esterni”. Se usate I fili morbidi sulla breadboard, diventa un caos e non si capirà più nulla.

Dove prendere i componenti

In ogni sala ci sono delle cassettiere dove prendere i componenti

resistenze

Condensatori

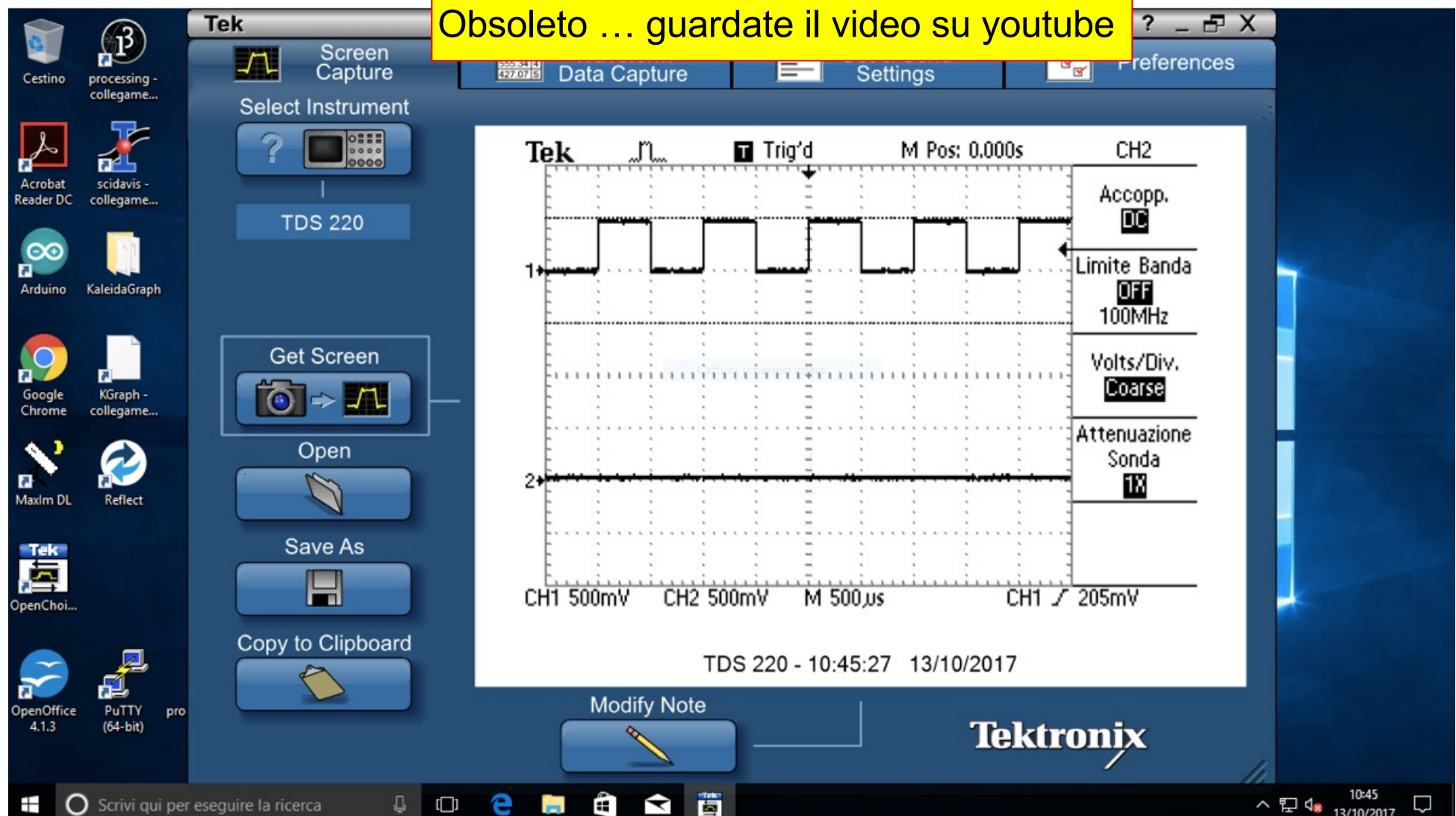
Transistor e IC



Dopo averli usati, rimettete i componenti nel cassetto giusto. Non metteteli a caso.

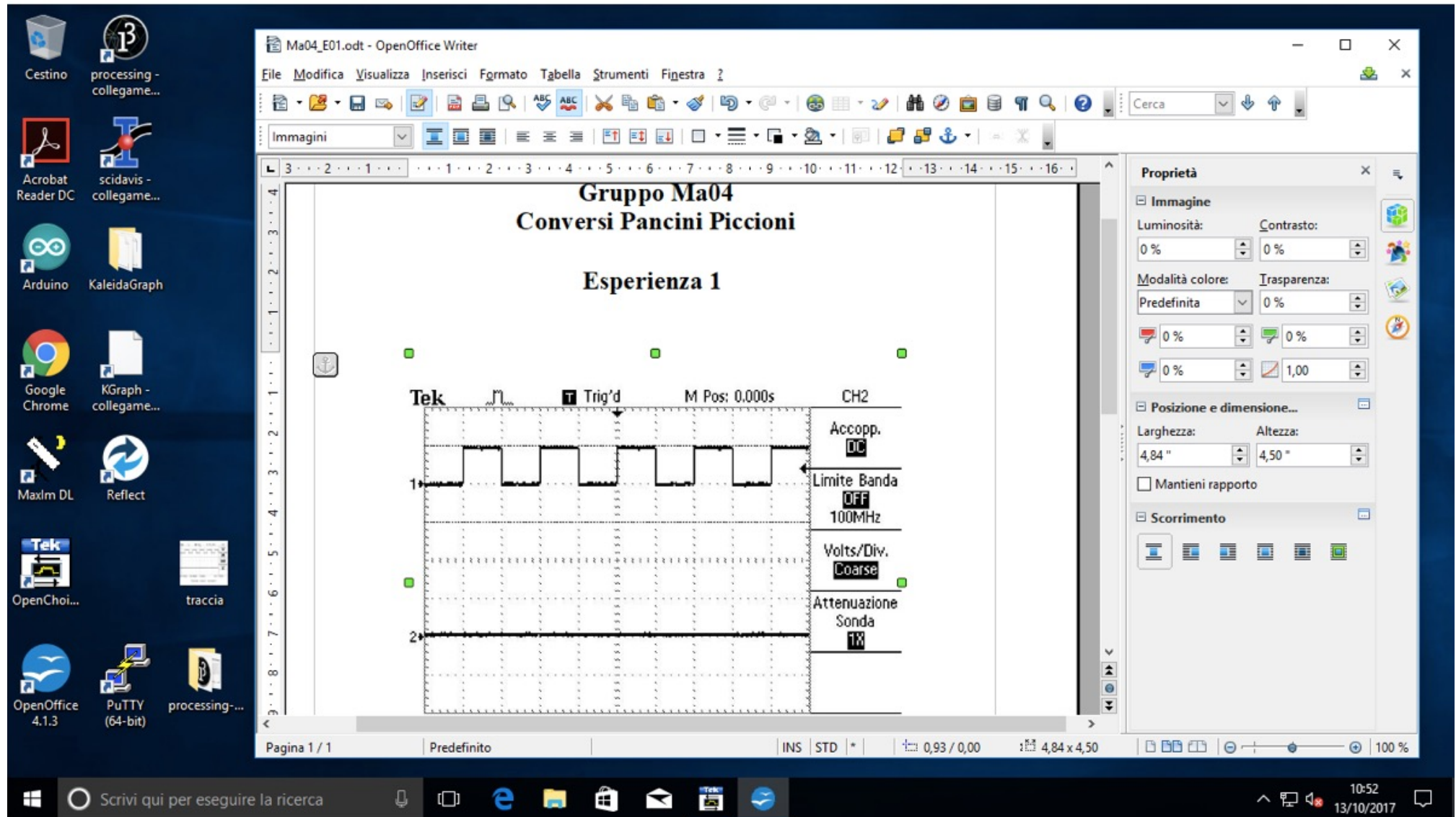
Acquisizione dell'oscilloscopio

Con il programma OpenChoice salviamo lo screenshot dell'oscilloscopio



Sui nuovi oscilloscopi si può usare anche una penna USB

... che poi inserite nella relazione



Digressione sugli errori di misura

- Una qualunque misura deve avere associato un errore! [anche nella prova pratica]
- Abbiamo tre tipi di errori:
 - **Errore strumentale (errore massimo):** il valore vero si trova sicuramente al suo interno;
 - **Errore statistico:** vi è una certa probabilità che il valore vero sia contenuto all'interno dell'intervallo (1σ , 2σ , 3σ , etc...);
 - **Errore sistematico:** il valore vero differisce da quello misurato di una quantità incognita, tipicamente sempre nella stessa direzione (ad esempio calibrazione sbagliata dello strumento);
- La predominanza di un errore rispetto ad un altro dipende dalla grandezza che si vuole misurare, dal processo di misura e dalla bontà dello strumento.
 - Esempio: se misurate la lunghezza di un tavolo con un righello avrete a che fare solo con un errore massimo, ma se si utilizzasse un interferometro forse diventerebbero importanti le variazioni casuali della sua lunghezza dovute alla temperatura.
 - Esempio: la misura della massa dello Z al LEP era sensibile anche alla variazione della circonferenza dell'acceleratore dovuta all'effetto "marea".
- Le misure che faremo in questo laboratorio saranno dominate dagli errori strumentali (errore massimo), e dagli errori sistematici (ad esempio capacità parassite della breadboard), quindi non è necessaria una trattazione statistica rigorosa degli errori.
- Tuttavia, quando fate un fit, è bene avere una stima ragionevole degli errori (né troppo piccoli e nemmeno troppo grandi) per attribuire un significato probabilistico ai risultati del fit (vale a dire, al valore del chi quadro).

Leggete la discussione del Prof. Raggi sugli errori di misura

Errore di misura dei vari strumenti

- Gli strumenti di misura che utilizziamo sono il multimetro, l'oscilloscopio e il ponte per la misura delle capacità.
- L'errore di misura da associare ad ognuno di essi può essere ricavato dal manuale di utilizzo dello strumento. In genere viene specificata:
 - La risoluzione, che dipende dalla capacità dello strumento di tenere sotto controllo le variazioni casuali della misura;
 - L'accuratezza, che dipende dalla capacità dello strumento di dare sempre la stessa risposta a parità della grandezza d'ingresso. Questa caratteristica si tiene sotto controllo ripetendo regolarmente la calibrazione dello strumento.
- In questo laboratorio non abbiamo mai ricalibrato gli strumenti, quindi, sebbene siano abbastanza recenti, essi non hanno più l'accuratezza di uno strumento nuovo.
 - Possiamo dire che la risoluzione quotata dal manuale sia soltanto un limite inferiore della risoluzione dello strumento, e comunque difficilmente migliore del per mille.
- Inoltre dovremmo tener conto di altri effetti sistematici che entrano in gioco nelle varie misure, come ad esempio le capacità parassite della breadboard, l'impedenza dei cavi BNC, saldature che si sono danneggiate nella breadboard, etc...
- Per questo motivo non ha molto senso utilizzare la risoluzione quotata per ogni strumento, ma si può invece utilizzare una stima ragionevole e (molto) conservativa, ad esempio.

Errore di misura: 0.3% - 1%

Propagazione degli errori

- Se usate la propagazione quadratica degli errori va sempre bene ... però ...
... è la cosa necessaria da fare per il tipo di misure che facciamo in questo laboratorio?
- Quando misuriamo grandezze caratterizzate da una incertezza di natura statistica, allora indichiamo la sua indeterminazione tramite un contenuto probabilistico di trovare l'errore “vero” all'interno di un certo intervallo: 1 sigma, 2 sigma, etc..
- Nelle nostre misura abbiamo soprattutto errori strumentali che caratterizziamo dando il loro errore massimo (magari anche con una certa superficialità) in modo da essere sicuri che il valore “vero” si trovi proprio in questo intervallo (a parte errori sistematici oppure sbagli dello sperimentatore).
- **Quindi possiamo utilizzare (anche) la propagazione lineare tipica degli errori massimi.**

$$A = \frac{V_u}{V_i} \quad \Rightarrow \quad \Delta A = A \left(\frac{\Delta V_i}{V_i} + \frac{\Delta V_u}{V_u} \right)$$

Esercitazioni

- | | | | |
|----|--|---|-----------------|
| 1. | 13 ottobre: filtro RC e diodo [relazione di prova] | | Relazione |
| 2. | 20 ottobre: amplificatore a BJT ad emettitore comune senza capacità C_e | } | Unica relazione |
| 3. | 27 ottobre: amplificatore a BJT ad emettitore comune con capacità C_e | | |
| 4. | 3 novembre: OPAMP-1 - slew rate, $G_x B$, sommatore non invertente | } | Unica relazione |
| 5. | 11 novembre: OPAMP-2 - filtro attivo passa basso e DAC a pesiera | | |
| 6. | 17 novembre: circuiti logici – costruzione di un ADC (serve il DAC a pesiera) | | Relazione |
| 7. | 24 novembre: Arduino- familiarizzazione e operazioni di input/output | } | Unica relazione |
| 8. | 1 dicembre: Arduino- analisi di Fourier (DFT) e circuito completo
(ovvero si utilizzano il sommatore non invertente e il filtro costruiti nelle esercitazioni precedenti; si utilizza anche il generatore di rumore presente nel generatore di segnali) | | |

Totale: 5 relazioni di laboratorio, ma il voto della prima non contribuisce al voto finale

tempo di consegna della relazione: una settimana

che vi verrà riconsegnata (prima della prossima relazione) con il voto espresso in forma simbolica A-B-etc...

9. **Lunedì 8 dicembre:** simulazione della prova pratica individuale **ma è festa** ... quindi:
- a) non si fa la simulazione e **lunedì 15 dicembre: prova pratica individuale** ... oppure
 - b) **lunedì 15 dicembre: simulazione della prova pratica** e
lunedì 22 dicembre: prova pratica individuale

Come scrivere la relazione

- **Dalla relazione si deve capire:**
 - cosa volete fare/misurare e perché lo volete fare (non ricopiate paragrafi interi dalle dispense)
 - come realizzate/costruite il circuito di misura e che strumenti usate
 - come prendete le misure, includendo i vari grafici ottenuti e le varie tabelle
 - Risultato finale delle vostre misure
 - Conclusioni (contronto con quanto aspettato, miglioramento delle misure, etc..)
- **In conclusione, un vostro collega (oppure il vostro esercitatore) dovrebbe essere in grado di ripetere/comprendere quello che avete fatto leggendo la vostra relazione**
- **Importante: se in una esercitazione dovete fare più cose diverse, ad esempio partitore di tensione, filtro RC e caratteristica del diodo, nella relazione che scrivete dovete avere tre “sottorelazioni” distinte. Cioè, non dovete mescolare le tre misure tra loro, ma prima descrivete la prima misura (cosa volete misurare, come avete fatto, risultati, etc..), poi descrivete la seconda misura e infine la terza, altrimenti non si capisce nulla.**

La relazione

- La relazione in formato **pdf** va redatta e **spedita via e-mail all'esercitatore di riferimento** entro **una settimana** dalla fine della ``coppia'' di esercitazioni.
- Il nome del file deve indicare giorno, gruppo e numero della relazione (da 1 a 5)
 - **Lu05_E2.pdf** (gruppo 5 del lunedì, relazione 2 [anche se è relativa alle esercitazioni 2 e 3])
 - Il **subject della mail deve essere uguale al nome del file** (senza .pdf ovviamente)
- All'inizio della relazione dovete mettere **nome e cognome dei componenti** del gruppo che hanno redatto la relazione e **indicare sempre il numero del gruppo**.
- Per scrivere la relazione potete usare Word, Latex o quello che vi pare.
 - La relazione deve essere concisa. Non deve avere parti di teoria, ma solo grafici, tabelle e misure con opportuni commenti che descrivano la procedura utilizzata e i risultati ottenuti
- Per salvare i dati potete usare xcel (o quello che vi pare, come al solito)
- Per fare grafici potete usare: KaleidaGraph, Origin, SciDavis, xcel, gnuplot, R, python, root o quello che vi pare.

Relazione

Generalmente viene scritta in Latex

Esperienza 1

Indicare il numero dell'esperienza

Gruppo 22:

16 Ottobre 2019

Indicare sempre il numero del gruppo

Indicare i componenti del gruppo che hanno partecipato a questa esercitazione

Indice

1	Introduzione	2
2	Apparato Sperimentale	2
3	Familiarizzazione	2
3.1	Conclusione 1	3
4	Filtro CR passa alto	3
4.1	Conclusione 2	6
5	Caratteristica del diodo	6
5.1	Conclusione 3	8

L'apparato sperimentale e' diverso per i 3 esperimenti, quindi non va messo da solo all'inizio della relazione, ma va specificato dentro ognuna delle mini relazioni

3 argomenti, quindi
3 minirelazioni
distinte

Relazione

Esercitazione 1

Gruppo 23

Questo va bene



October 16, 2019

Contents ← Forse è meglio in italiano? Sommario? O si scrive in inglese oppure in italiano

1 Partitore di tensione	2
1.1 Scelta dei componenti e costruzione del circuito	2
1.2 Misure di tensione	2
1.3 Osservazioni e conclusioni	2
2 Studio di un circuito RC passa-alto	3
2.1 Costruzione del circuito e scelta dei componenti	3
2.2 Misura frequenza di taglio	3
2.3 Conclusioni	5
3 Studio caratteristica del diodo	6
3.1 Scelta dei componenti	6
3.1.1 Misure con resistenza R_1	6
3.2 Conclusioni	6

Tabelle sul partitore

Secondo voi, quale delle due tabelle è più leggibile?

	Oscilloscopio	Multimetro
R_1 (k Ω)	-	32.7 ± 0.3
R_2 (k Ω)	-	46.8 ± 0.5
V_{in} (V)	5.10 ± 0.05	1.80 ± 0.02
V_{out} (V)	2.88 ± 0.03	1.01 ± 0.01
$\frac{V_{out}}{V_{in}}$	0.565 ± 0.011	0.561 ± 0.012

mV: segnale troppo piccolo

strumento	v_i	v_o	v_o/v_i
multimetro	0.19 ± 0.03 mV	0.12 ± 0.03 mV	0.68 ± 0.01
oscilloscopio	1.492 ± 0.006 mV	0.382 ± 0.006 mV	0.57 ± 0.01

La scelta delle resistenze fa parte della descrizione dell'apparato sperimentale e non va messa nella tabella delle misure prese. Inoltre, andava indicato il rapporto di partizione aspettato dalla scelta delle resistenze.

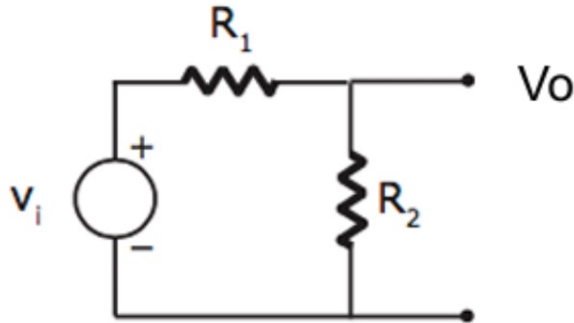
- Che tipo di segnale è stato usato, visto che usiamo anche l'oscilloscopio?
- Perché la misura di tensione dell'oscilloscopio e del multimetro sono diversi?
- I rapporti di tensione misurati con i due strumenti sono compatibili?
- Quale rapporto ci si aspetterebbe dal valore delle resistenze?
- L'errore quotato nel rapporto (3 digit) è "ragionevole"?
- L'errore del 16% sul multimetro è "ragionevole"? Errore sul rapporto 1.4%?
- L'errore quotato per l'oscilloscopio per i due gruppi è compatibile?

Errore di misura 0.3 – 1% è "ragionevole"

Tabelle sul partitore

Ecco delle tabelle fatte bene, anche esteticamente.

Mettete sempre lo schema del circuito



manca la stima teorica di T , anzi, non solo, manca anche la definizione di T , che va data prima ancora della sua stima "teorica".

$$T = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$T = \frac{3.26}{2.18 + 3.26} = 0.599 \pm 0.006$$

Va dato anche l'errore (ho stimato 0.5% sulla singola R)

Resistenza [R_1]	Resistenza [R_2]
$(2.18 \pm 0.02) \text{ k}\Omega$	$(3.26 \pm 0.03) \text{ k}\Omega$

	V_{in} [V]	V_{out} [V]	T
Canale 12V	12.0 ± 0.1	7.20 ± 0.07	0.60 ± 0.01
Canale 5V	5.00 ± 0.05	2.9 ± 0.03	0.58 ± 0.01

	Multimetro			Oscilloscopio		
f [kHz]	V_{in} [mV]	V_{out} [mV]	T	V_{in} [mV]	V_{out} [mV]	T
0.7	358 ± 4	214 ± 2	0.60 ± 0.01	534 ± 5	322 ± 3	0.60 ± 0.01
20	359 ± 6	215 ± 3	0.59 ± 0.01	540 ± 5	322 ± 3	0.60 ± 0.01
70	356 ± 4	209 ± 2	0.60 ± 0.01	526 ± 5	322 ± 3	0.60 ± 0.01
200	281 ± 3	169 ± 2	0.60 ± 0.01	526 ± 5	322 ± 3	0.61 ± 0.01

Esempio di tabella migliorabile

Tabella 5: Dati raccolti per il il filtro RC passa-alto

f [kHz]	V_i [V]	V_o [V]	$\frac{V_o}{V_i}$	Δt [s]
12.000	5.180	3.063	0.591	$12.00 \cdot 10^{-6}$
14.000	5.163	3.363	0.651	$9.60 \cdot 10^{-6}$
15.000	5.188	3.438	0.666	$8.40 \cdot 10^{-6}$
15.500	5.163	3.513	0.680	$8.20 \cdot 10^{-6}$
15.800	5.150	3.550	0.689	$8.00 \cdot 10^{-6}$
15.900	5.150	3.600	0.699	$7.60 \cdot 10^{-6}$
16.000	5.163	3.638	0.705	$7.40 \cdot 10^{-6}$
16.300	5.163	3.638	0.705	$7.20 \cdot 10^{-6}$
17.800	5.163	3.750	0.726	$6.60 \cdot 10^{-6}$
25.000	5.165	4.125	0.799	$3.60 \cdot 10^{-6}$
32.000	5.088	4.375	0.860	$2.30 \cdot 10^{-6}$
40.000	5.030	4.488	0.892	$1.20 \cdot 10^{-6}$
50.000	5.000	4.613	0.923	$1.00 \cdot 10^{-6}$
75.000	5.000	4.750	0.950	$0.69 \cdot 10^{-6}$

Delta T a cosa serve? Comunque usate microsecondi.

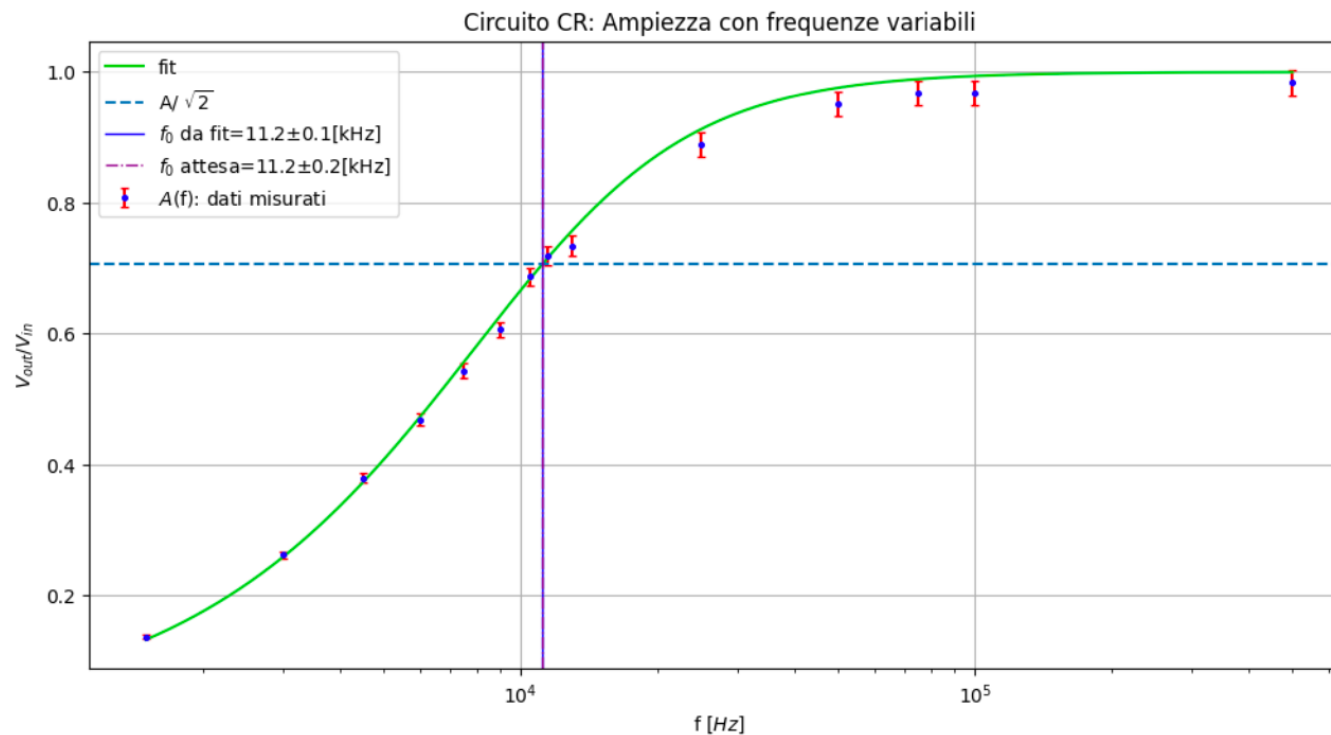
Nel caso andava messo anche il periodo e non solo la frequenza, altrimenti non so come usare Delta T. Andava messa anche la fase in questa tabella

Una tabella deve essere “pronta all’uso”, nel senso che poi io (o voi) non dovete riprendere la calcolatrice per ricavare quello che vi serve per costruire un grafico.

Andavano prese più misure a bassa e ad alta frequenza.

Poi andava indicato, magari nella caption della tabella, l'errore associato ad ogni misura.

Esempio grafici: circuito RC

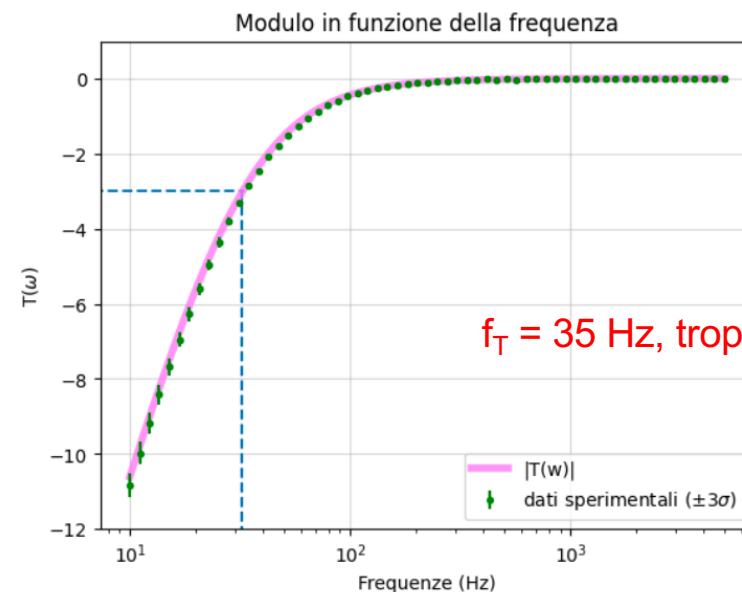


La curva verde è il risultato di un fit, ma non è spiegato come è stato fatto. Forse minimizzando il chi quadro,

Diagramma di Bode OK, ma le label sono troppo piccole.

Stesso grafico, ma utilizzando il generatore interno dell'oscilloscopio. Ovviamente il grafico viene "meglio" perché ci sono più punti e meno errori di misura, però **voi dovrete prendere comunque una decina di punti "a mano" da sovrapporre alla curva.**

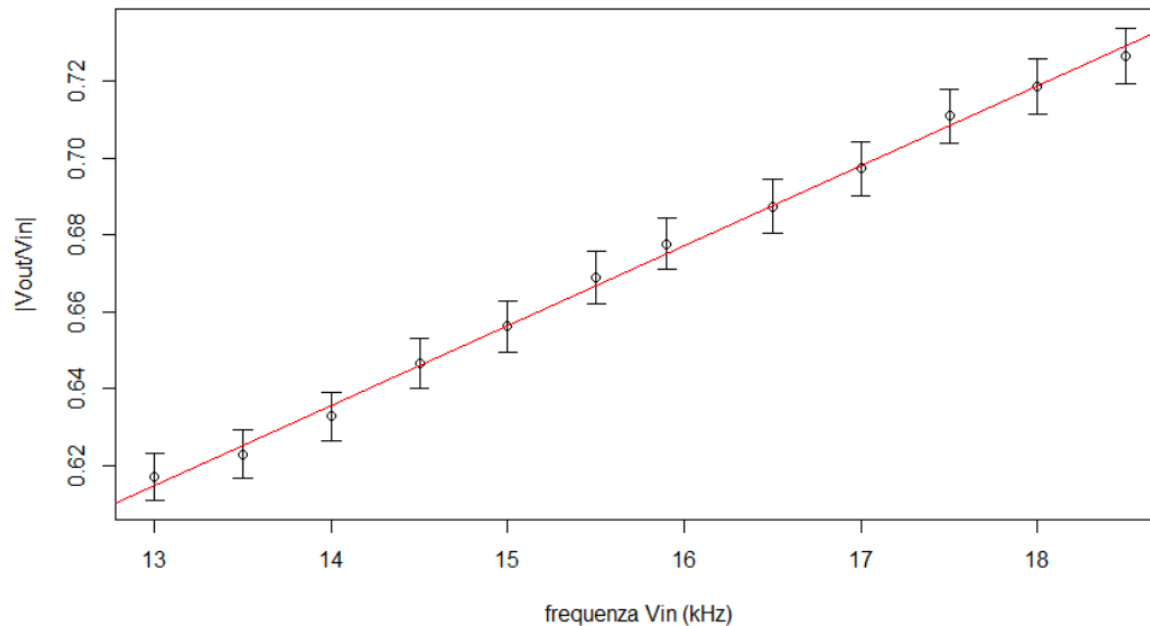
Tenete presente che nella prova pratica individuale **NON** potrete usare il generatore dell'oscilloscopio.



$f_T = 35$ Hz, troppo bassa

Fit lineare

Fit lineare di $|V_{out}/V_{in}|$ in funzione della frequenza



f_t teorica

R (k Ω)	C (nF)	f_t (kHz)
3.28 ± 0.03	3.05 ± 0.03	15.9 ± 0.3

Misure di resistenza, capacità e frequenza di taglio

intercetta	coeff. ang. (kHz^{-1})	f'_t (kHz)
0.35 ± 0.02	0.021 ± 0.001	17.2 ± 1.8

Tabella 4: Risultati del fit lineare

Non è riportata la covarianza tra intercetta e coefficient angolare; è necessaria per trovare l'errore sulla frequenza di taglio.

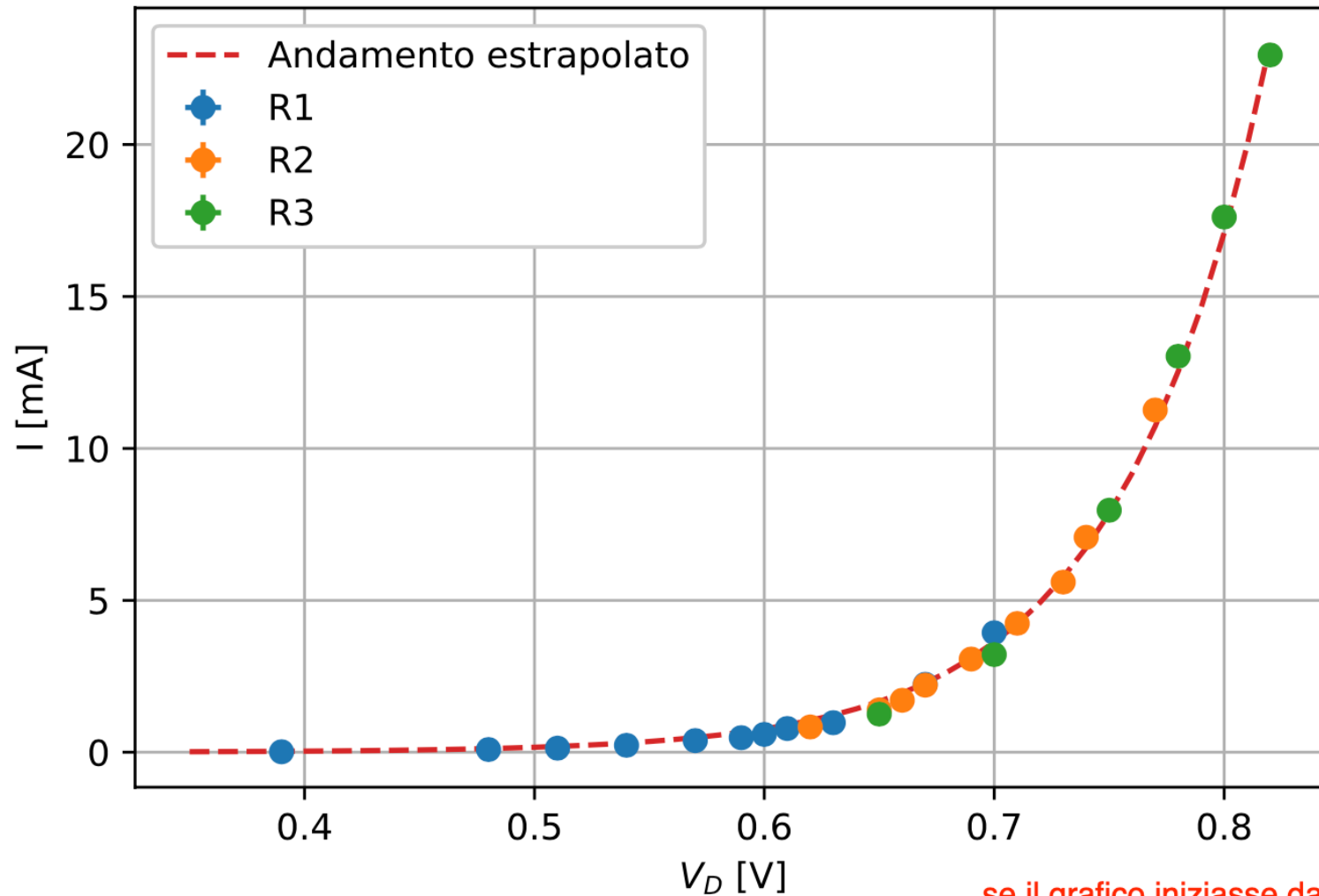
Nella relazione non è spiegato come si è ricavata la frequenza di taglio dal fit !!!!

Forse intersezione tra la retta (errore sull'intercetta 5%) con il valore 0.71?

Ma il valore del plateau non è 1 ma nella relazione non c'è scritto il valore raggiunto.

Leggendo la relazione non sono in grado di capire cosa è stato fatto

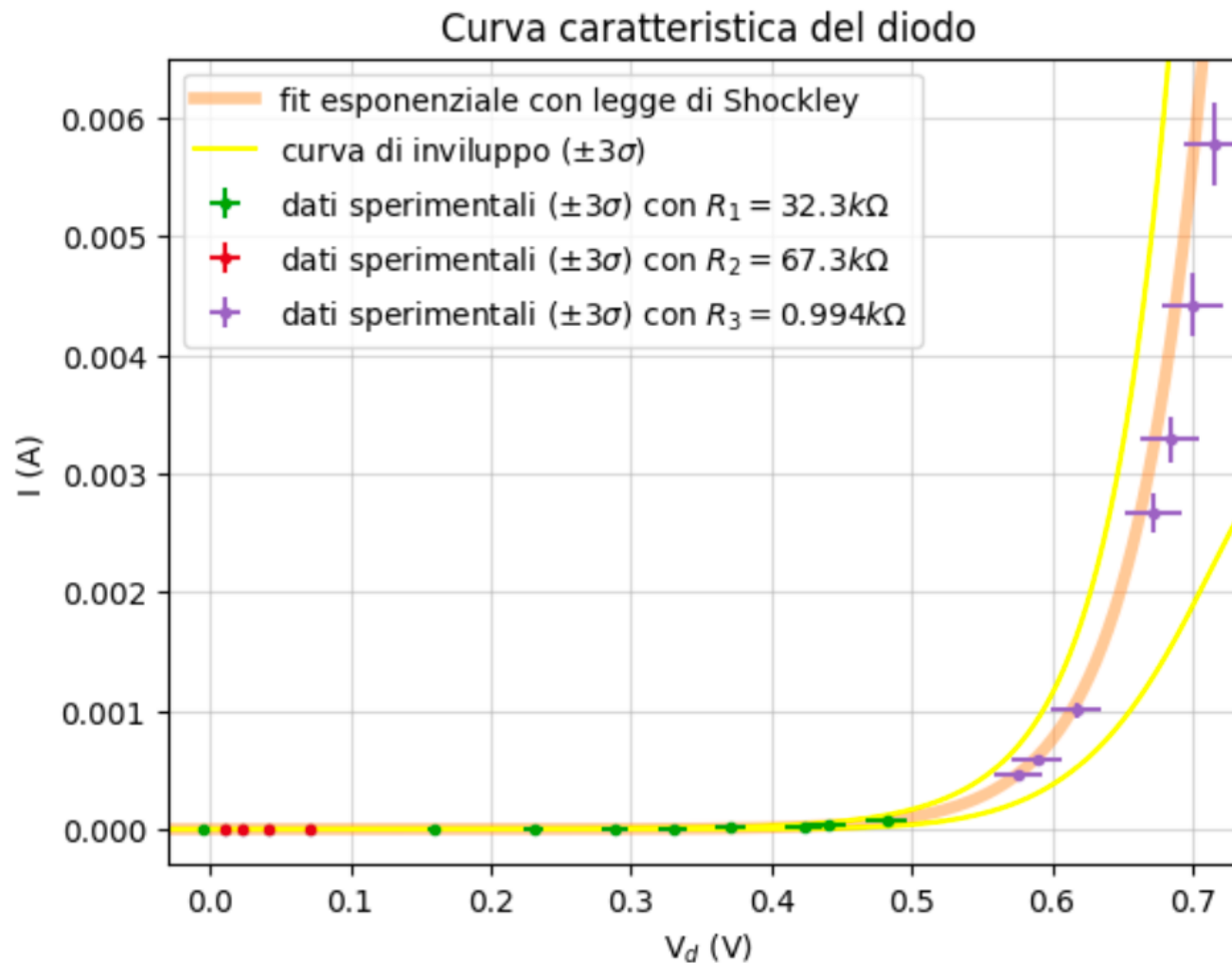
Curva caratteristica del diodo



se il grafico iniziasse da 0 sarebbe meglio

Figura 9: In Figura è rappresentata la curva caratteristica del diodo.

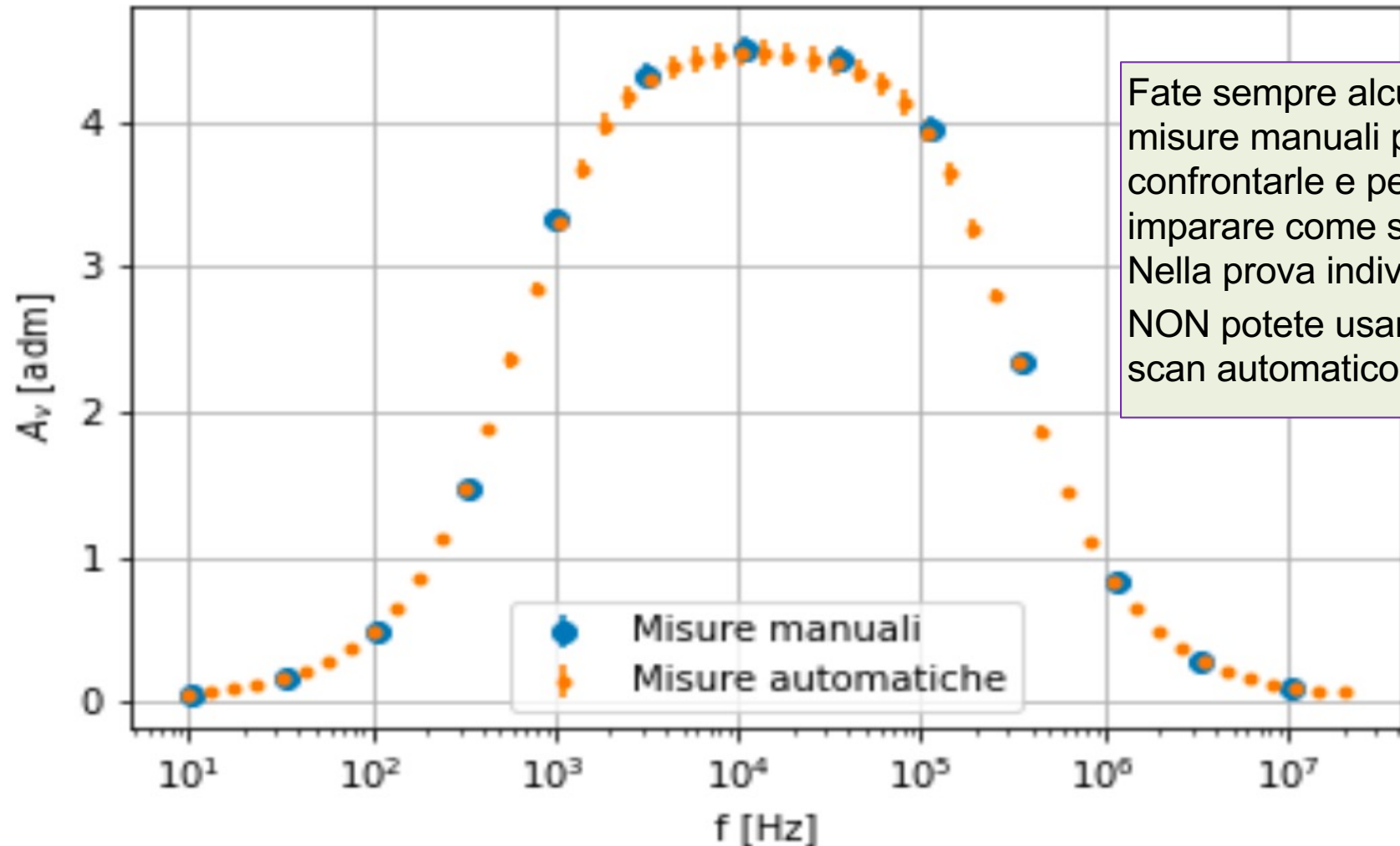
Curva caratteristica del diodo



Un bel grafico. Non è spiegato come sono state ottenute le curve gialle e la curva arancione.

Scan in frequenza

Amplificazione in funzione della frequenza. Dovete trovare la banda passante



Fate sempre alcune misure manuali per confrontarle e per imparare come si fa. Nella prova individuale NON potete usare lo scan automatico.

Con i nuovi oscilloscopi si può fare uno scan in frequenza automatico. Potete usarlo per migliorare la vostra presa dati. In un video youtube trovate tutte le spiegazioni su come fare.

Fit lineari

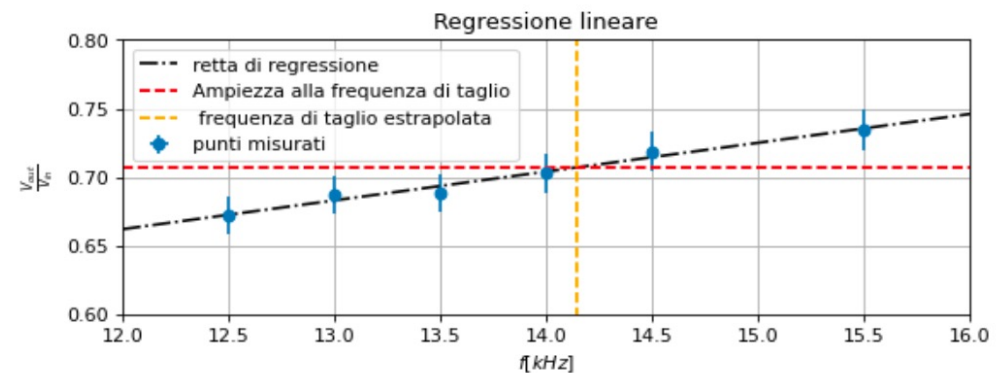
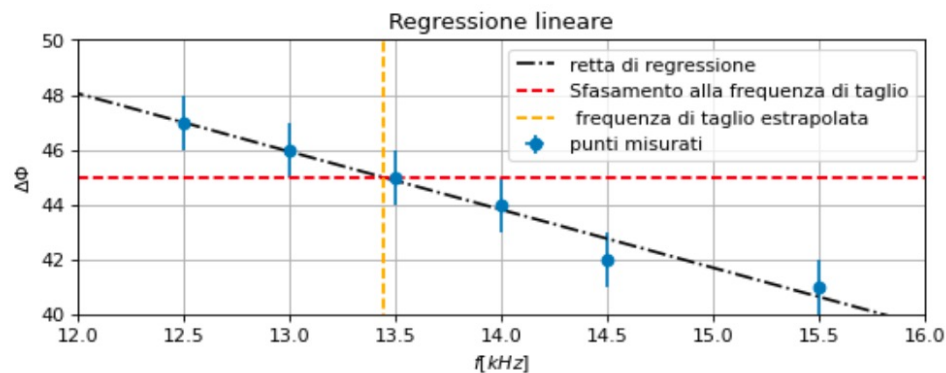
Potete/dovete utilizzare i metodi che avete imparato nel Laboratorio di Meccanica
Tramite python (consigliato attraverso Jupyter notebook installato tramite ANACONDA) +
una libreria scritta da Francesco Santanastasio.

<https://elearning.uniroma1.it/course/view.php?id=17420>



Laboratorio di Meccanica - Canale B (CI-Gal) - A.A. 2023-24 (Santanastasio, Messina)

HOME | CORSI | LAUREE TRIENNALI, MAGISTRALI, A CICLO UNICO | SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI | FISICA | LAUREE TRIENNALI | LAB. MECC. CAN. B 2023-24
| OPZIONI DI ISCRIZIONE



(N.B. non sono sicuro che sia stato fatto con questo package, ma va bene lo stesso)

Fit lineari

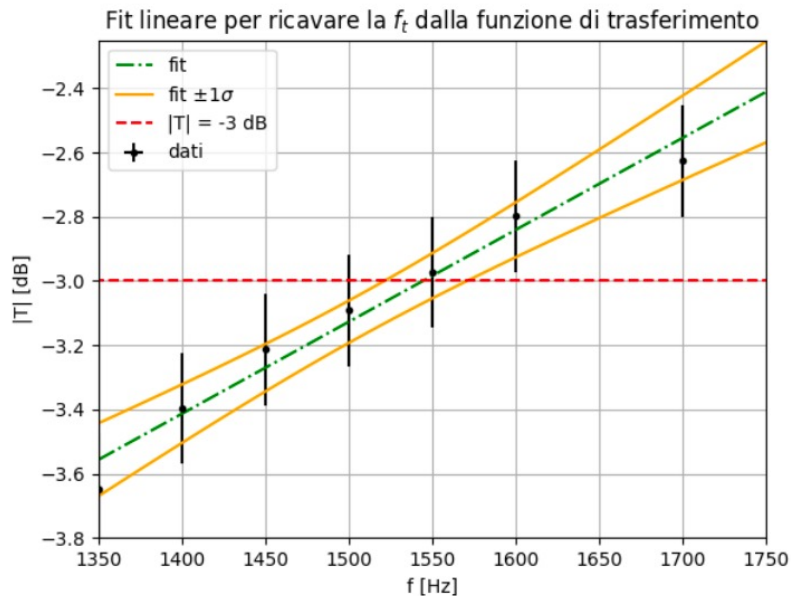


Figura 5: *Fit lineare, realizzato con il metodo dei minimi quadrati, per ricavare la frequenza di taglio dal diagramma di Bode del modulo della funzione di trasferimento.*

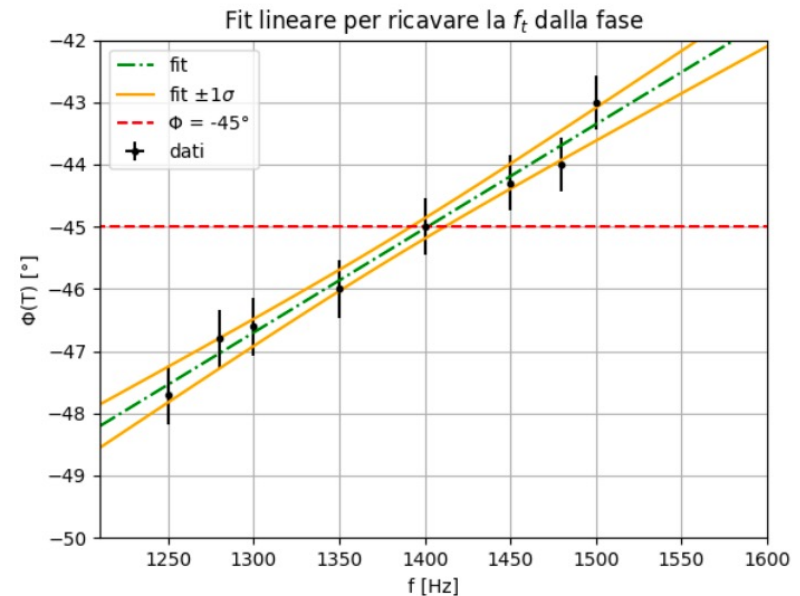


Figura 6: *Fit lineare, realizzato con il metodo dei minimi quadrati, per ricavare la frequenza di taglio dal diagramma di Bode della fase della funzione di trasferimento.*

Nella relazione mettete anche i risultati del fit, inclusa la matrice di covarianza. Serve per calcolare l'errore sulla frequenza di taglio.

Nella spiegazione della prima esperienza vi darò altri dettagli su come misurare la frequenza di taglio



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Fine del capitolo