



Università degli  
Studi di Pavia

# Laboratorio di Elettronica II

## Esperienza 4

*Realizzazione e misura di un  
amplificatore a BJT*



Università degli  
Studi di Pavia

## *Attività*

---

Realizzazione dell'amplificatore progettato e simulato nella precedente esperienza (#3):

- Montaggio del circuito con saldatura dei componenti
- Verifica sperimentale del punto di lavoro dei transistor e della funzione di trasferimento
- Misura del contenuto armonico di un segnale e della distorsione armonica introdotta dall'amplificatore



Università degli  
Studi di Pavia

# *Obiettivi di Apprendimento*

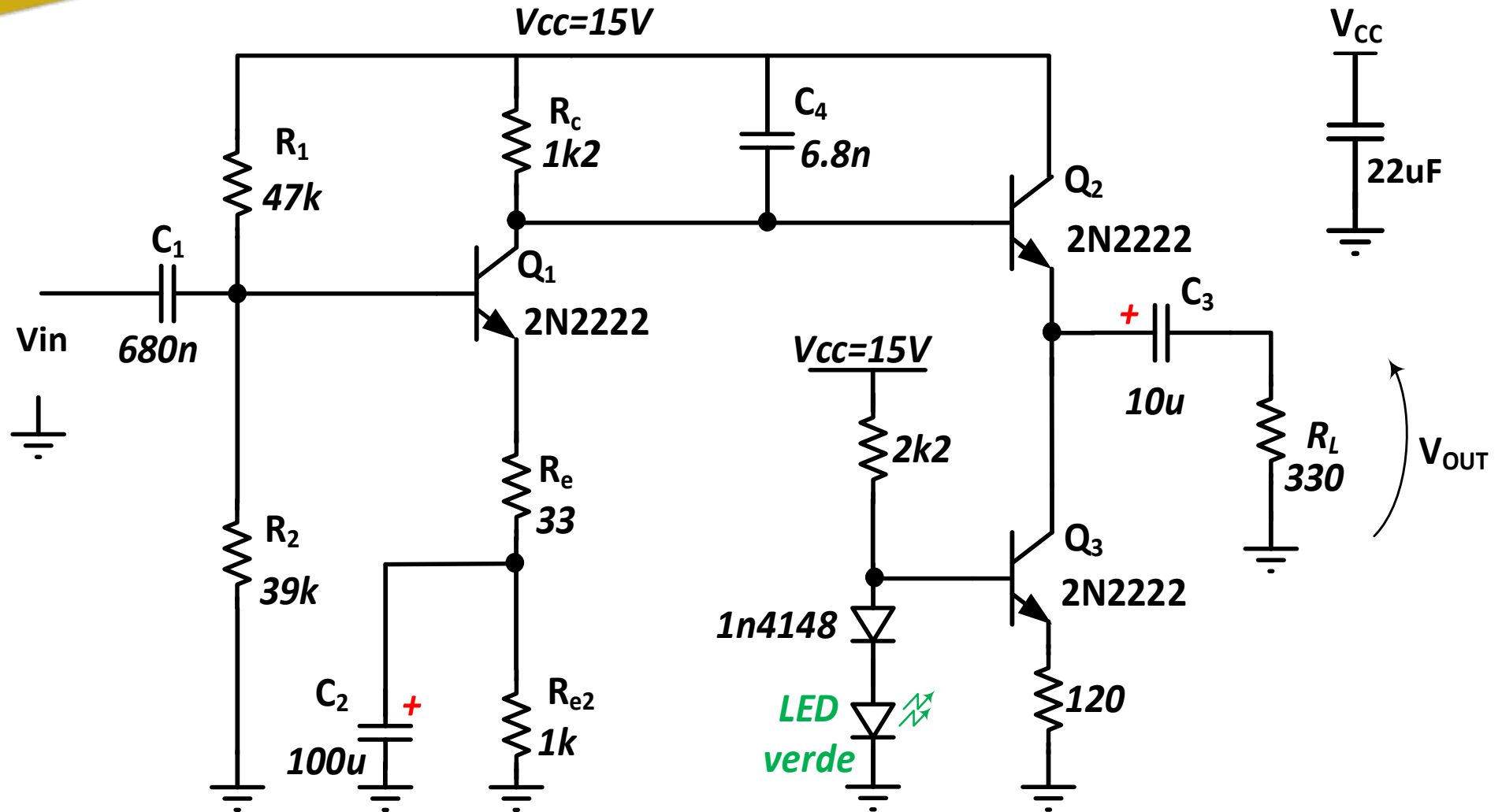
---

- Riconoscere BJT, diodi, condensatori
- Montare un prototipo con saldatura dei componenti
- Acquisire sensibilità sull'accordo tra simulazioni e risultati sperimentali
  
- Definizione della distorsione armonica
- Utilizzo dell'oscilloscopio digitale in modalità FFT
- Caratterizzazione sperimentale della distorsione armonica



Università degli  
Studi di Pavia

# Schema dell'amplificatore





# *Obiettivi di Apprendimento*

---

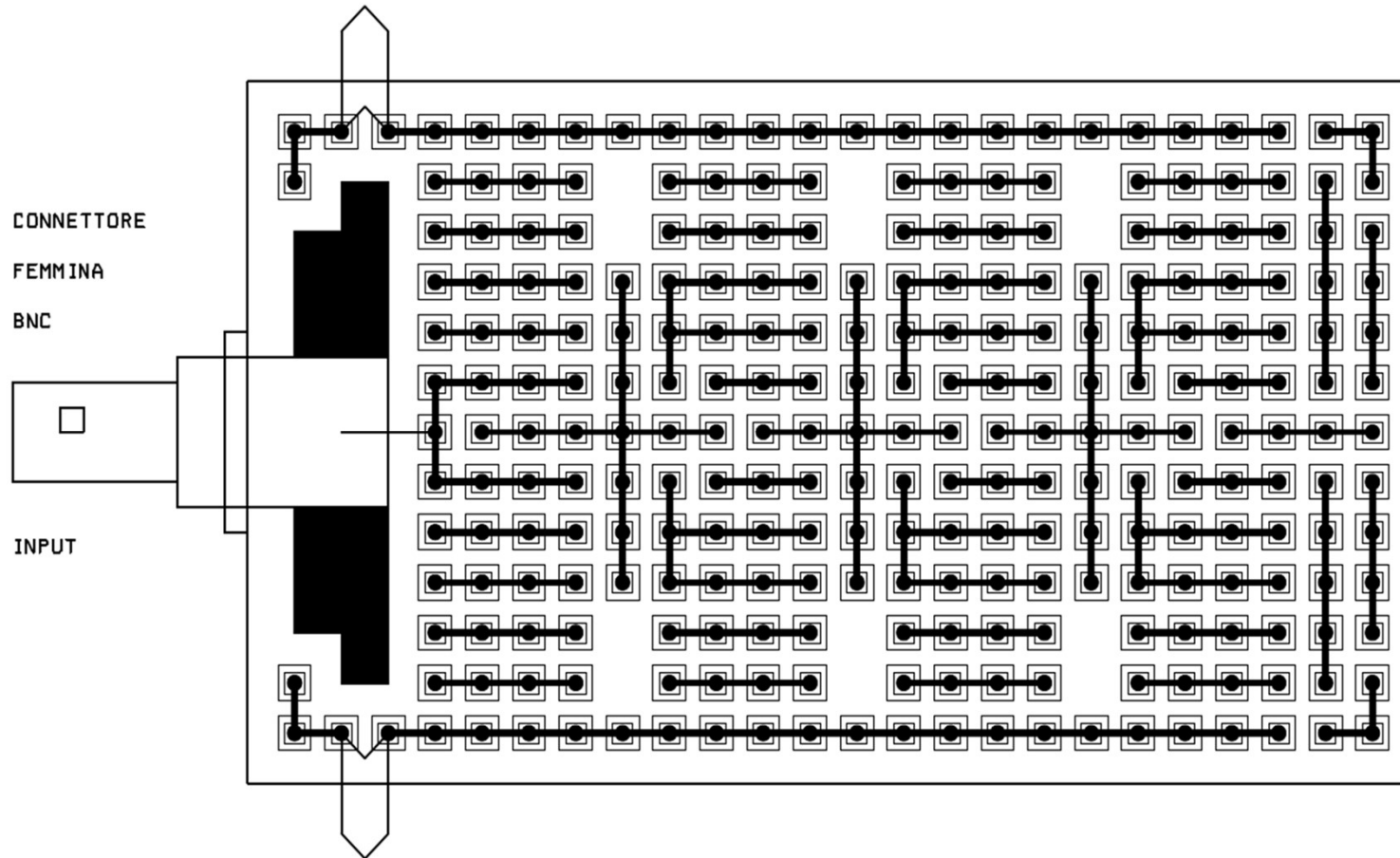
## *Intervento Silvia Roncelli:*

- *Spiegazione su condensatori ( vari tipi e come si leggono )*
- *Spiegazione su diodi ( diodi al silicio, Zener, Germanio, Schottky, Varicap, LED, Laser...)*
- *Spiegazione su transistori (vari tipi, case TO e serie )*
- *Saldatura dei componenti e montaggio di un prototipo*



Università degli  
Studi di Pavia

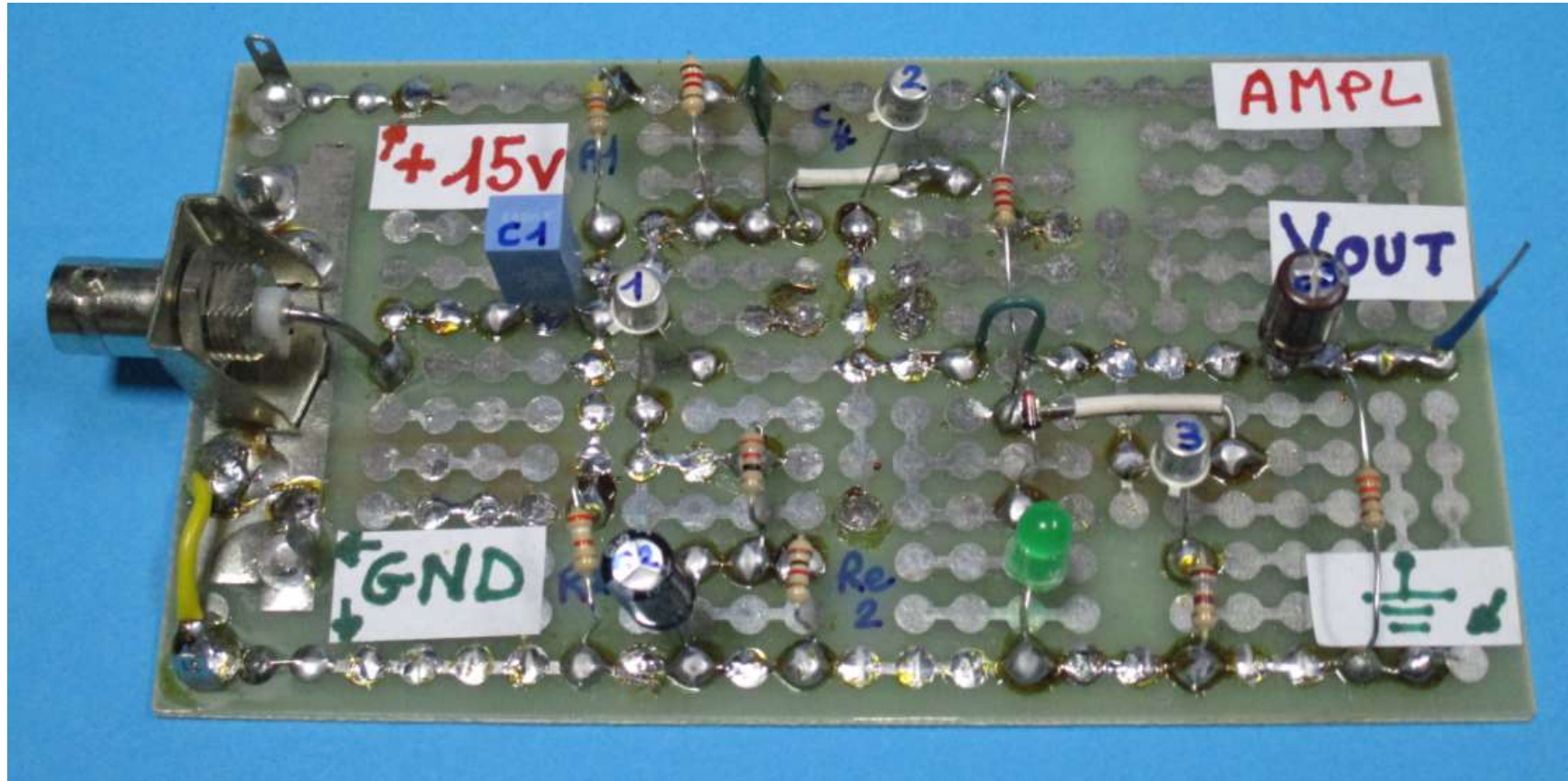
# Scheda per montaggio con saldatura





Università degli  
Studi di Pavia

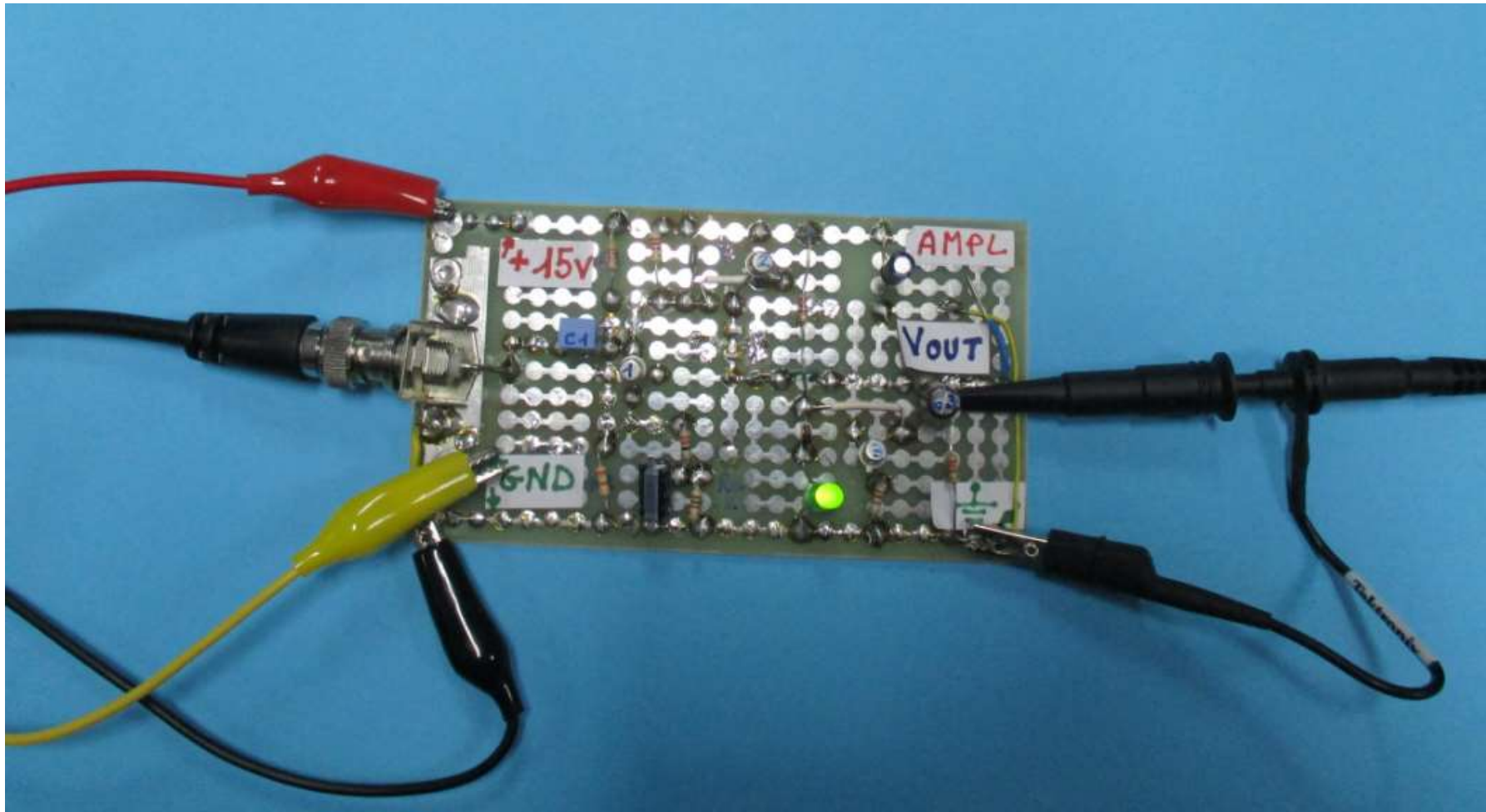
# Prototipo dell'amplificatore





Università degli  
Studi di Pavia

# Prototipo dell'amplificatore + collegamenti

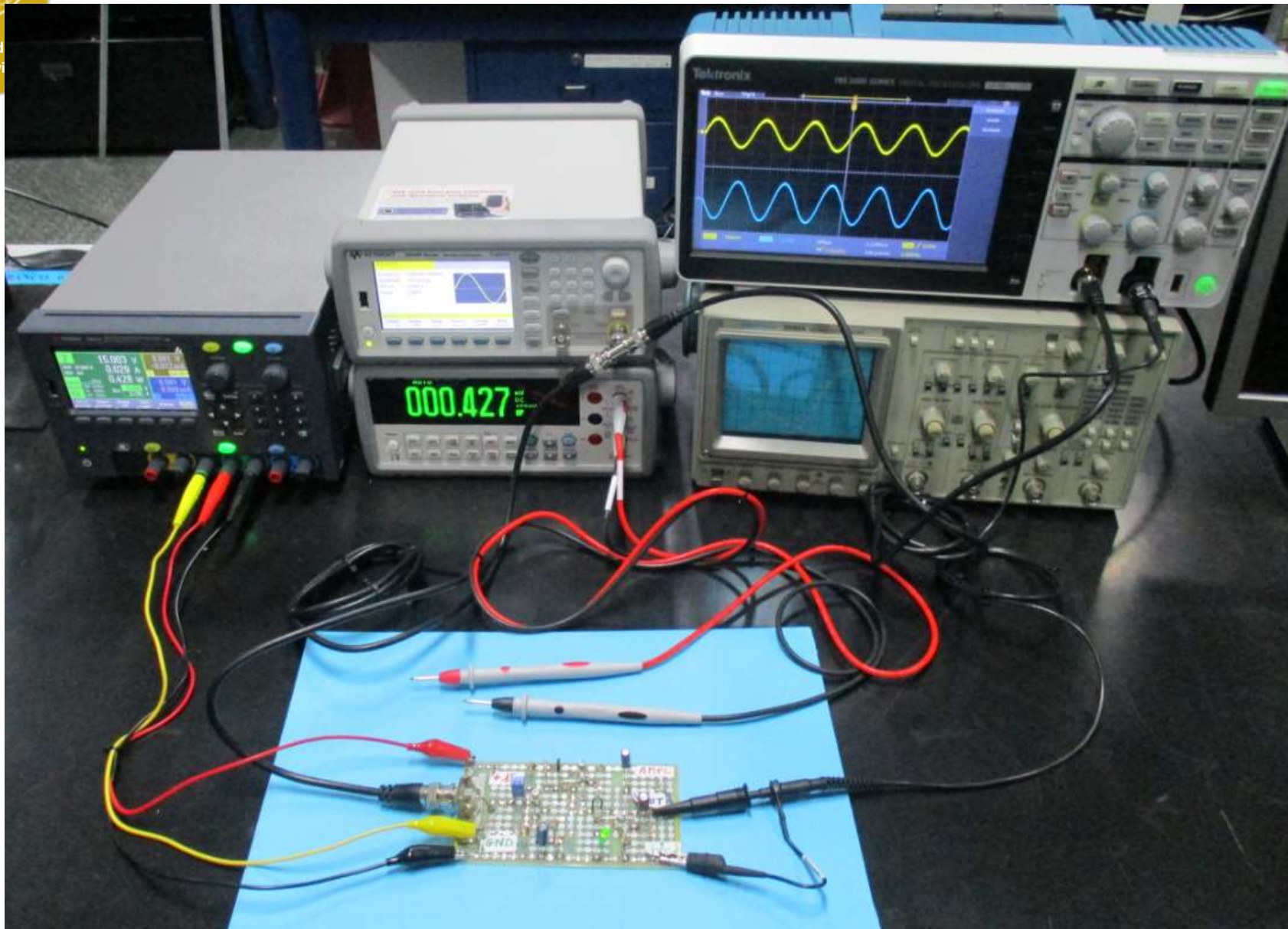






Università di  
Studi di Pavia

# Collegamenti e strumentazione





Università degli  
Studi di Pavia

## *Attività pratica*

---

- Verificare con il multimetro il punto di lavoro dei transistori ( $V_{ce}$ ,  $I_c$ )

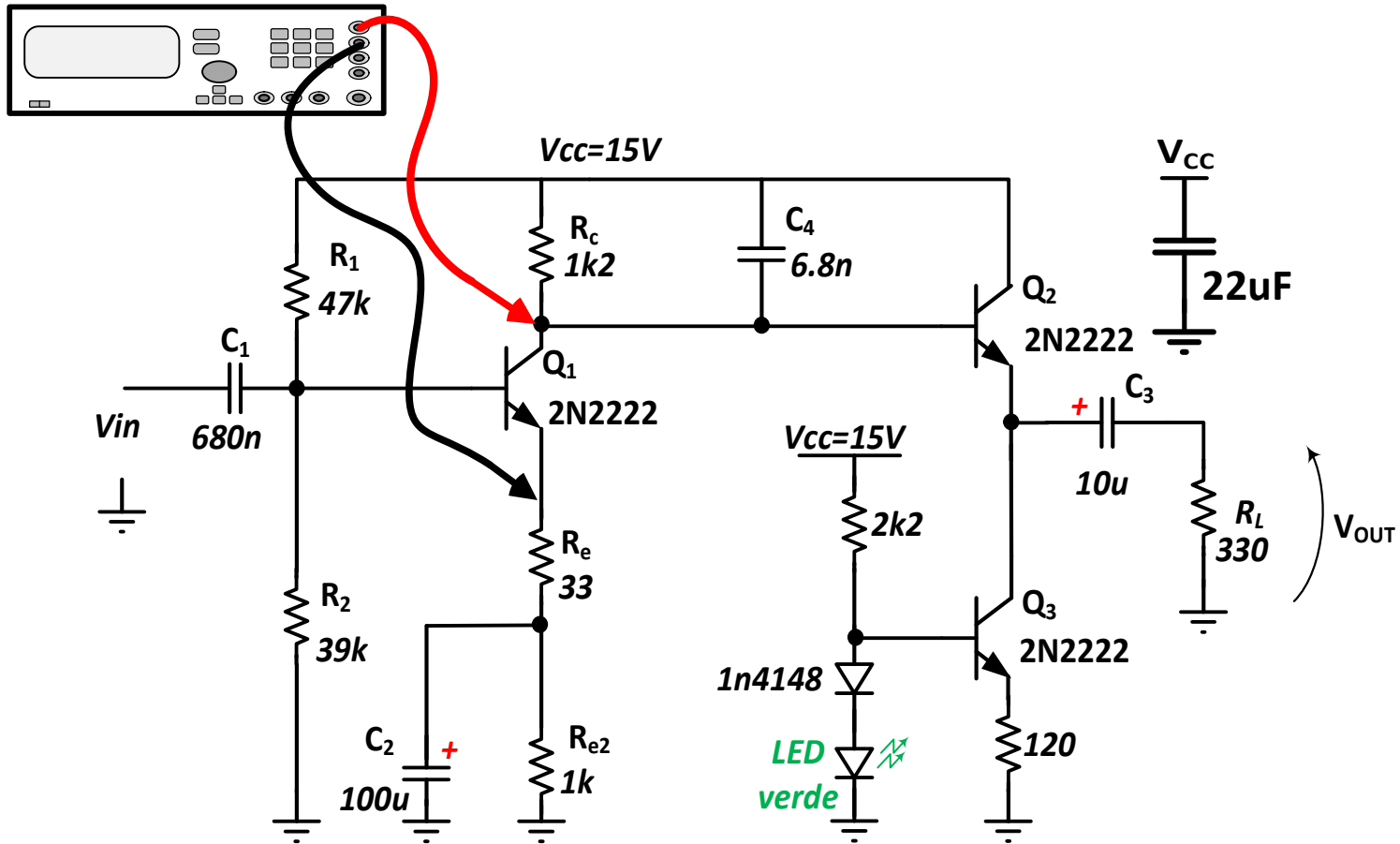
Confrontare i risultati sperimentali con le simulazioni SPICE

- Utilizzando l'oscilloscopio e il generatore di funzioni, costruire per punti il diagramma di Bode del modulo della funzione di trasferimento (impostare l'ampiezza in ingresso in modo da non avere distorsione apprezzabile visivamente in uscita)



# Misura di $V_{ce}$

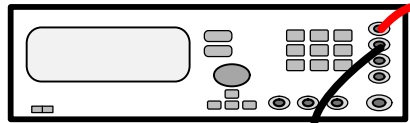
Multimetro in modalità voltmetro



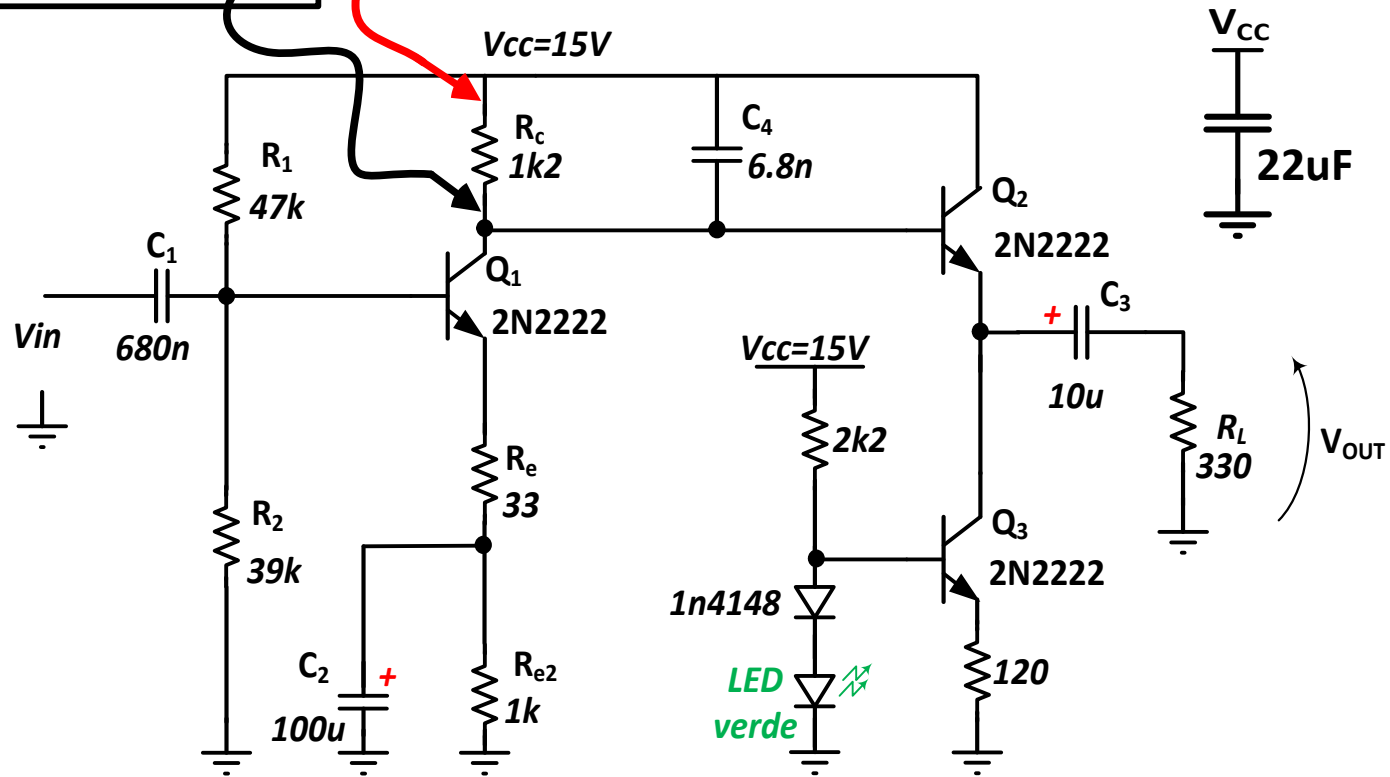


# Misura di $I_C$

Multimetro in modalità voltmetro



$$I_{C1} + I_{B2} \approx I_{C1} = \frac{V}{1200}$$

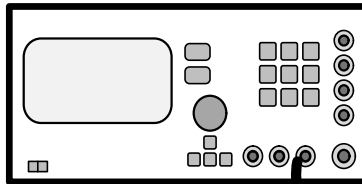




Università degli  
Studi di Pavia

# Misura della risposta in frequenza

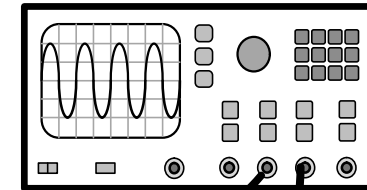
**Generatore di Funzioni**



Wave: sinusoidal  
Amplitude 100mVpp

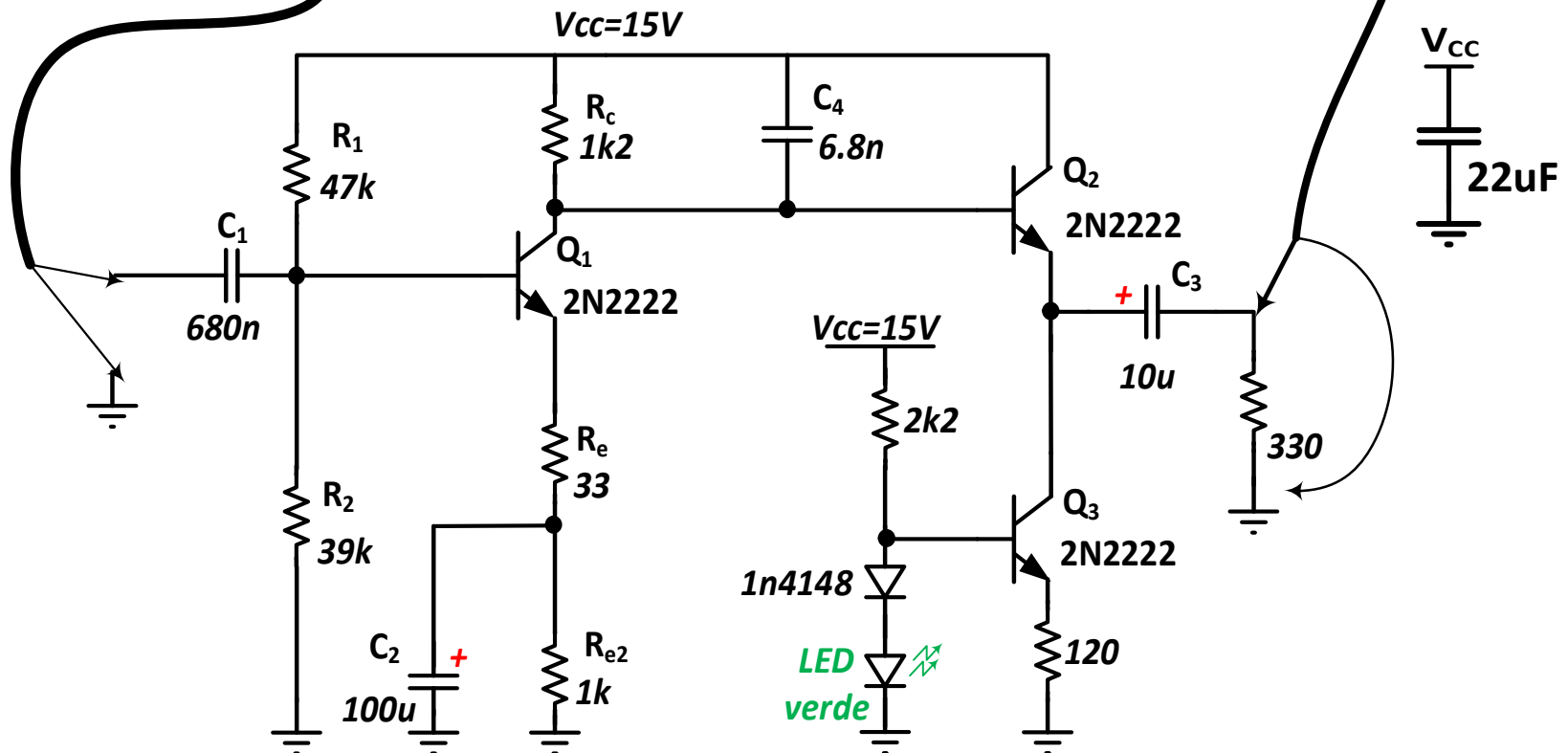
Impostare il trigger su Ch2

**Oscilloscopio**



ch1

ch2





Università degli  
Studi di Pavia

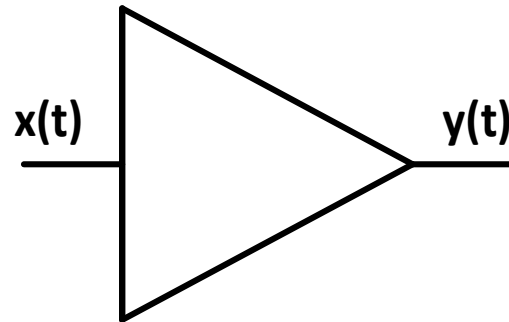
## Misura della risposta in frequenza

freq	Vin	Vout	$A_v = V_{out}/V_{in}$	$20\text{Log}(A_v)$
50				
100				
150				
200				
300				
500				
...				
20000				
...				
100000				



Università degli  
Studi di Pavia

# Distorsione Armonica



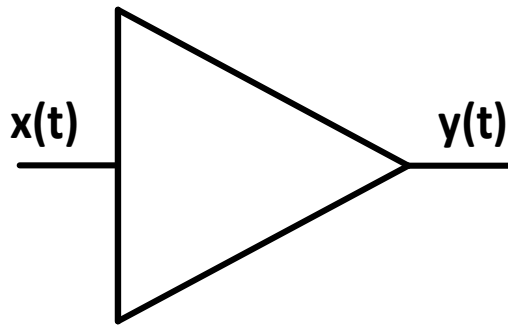
Se l'amplificatore è assunto lineare,  $y(t) = a x(t)$

La forma d'onda in uscita coincide con quella in ingresso. Il segnale di uscita è una replica, scalata in ampiezza del fattore  $a$ , del segnale in ingresso.

Se l'amplificatore è non-lineare, la caratteristica ingresso-uscita può essere descritta da un polinomio:

$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$

# Distorsione Armonica



$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$

Gli amplificatori reali sono non-lineari, ma si comportano in buona approssimazione come amplificatori lineari fintanto che i termini con le potenze del segnale di ingresso sono trascurabili rispetto al primo termine. Cio è tanto più verificato quanto più il segnale è piccolo

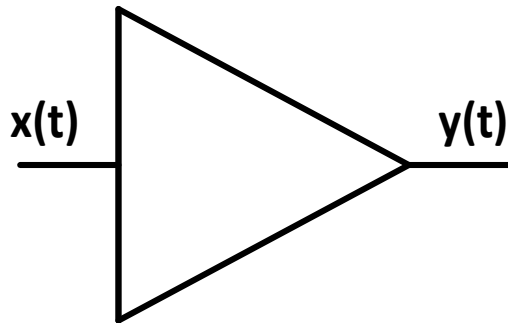
Quando i termini esponenziali non sono trascurabili, la forma del segnale di uscita differisce da quella del segnale in ingresso.  
L'amplificatore introduce distorsione





Università degli  
Studi di Pavia

# Distorsione Armonica



$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$

$$\text{Se } x(t) = V \cos(\omega_0 t),$$

$$y(t) = a V \cos(\omega_0 t) + a_2 V^2 [\cos(\omega_0 t)]^2 + a_3 V^3 [\cos(\omega_0 t)]^3 + \dots =$$

$$\frac{a_2 V^2}{2} + \left( a V + \frac{3}{4} a_3 V^3 \right) \cos(\omega_0 t) + \frac{a_2 V^2}{2} \cos(2\omega_0 t) + \frac{3}{4} a_3 V^3 \cos(3\omega_0 t) + \dots$$

← DC

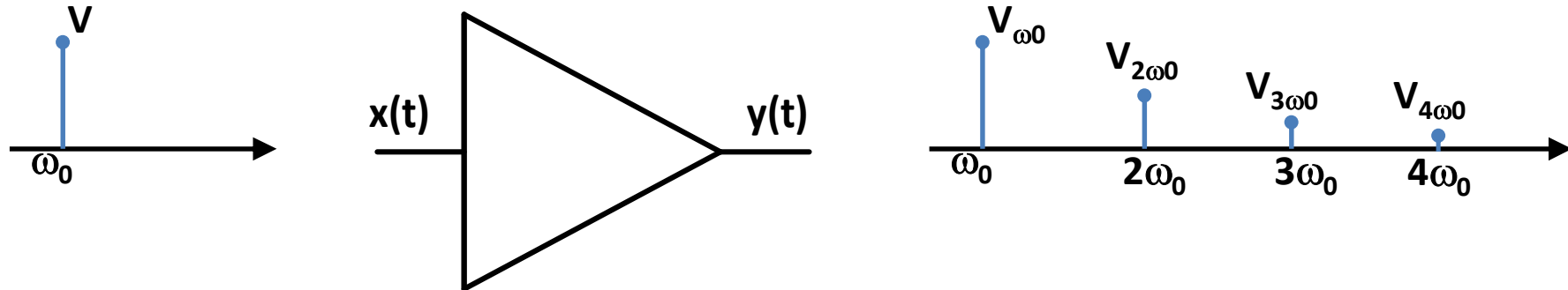
← fondamentale

← armoniche



# Distorsione Armonica

$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$



La distorsione armonica è definita come rapporto tra l'ampiezza di una determinata armonica e l'ampiezza della fondamentale:

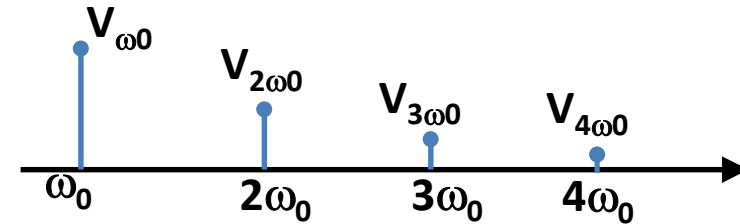
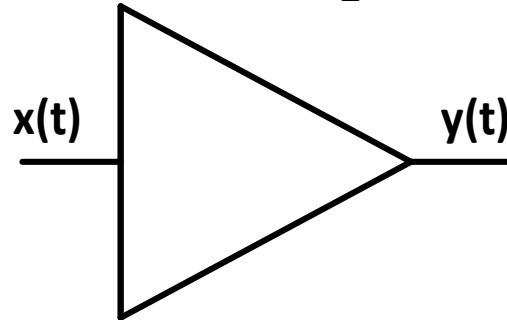
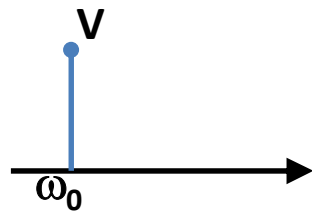
$$HD_n = \frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} \quad (\text{es. } HD_3 = \frac{V_{3\omega_0}}{V_{\omega_0}})$$

Puo anche essere misurata in %:  $HD_n [\%] = \frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} * 100$

oppure in decibels:  $HD_n [dB] = 20 \log \left[ \frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right]$

# Distorsione Armonica Totale

$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$



La distorsione armonica totale è definita come radice quadrata del rapporto fra la somma delle potenze delle armoniche e la potenza della fondamentale

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\omega_0}^2}{V_{\omega_0}^2}}$$

Puo anche essere misurata in %:

$$THD_n[\%] = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\omega_0}^2}{V_{\omega_0}^2}} * 100$$

oppure in decibels:

$$THD_n[dB] = 10 \log \left[ \frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\omega_0}^2}{V_{\omega_0}^2} \right]$$



Università degli  
Studi di Pavia

# Fast Fourier Transform con Oscilloscopio



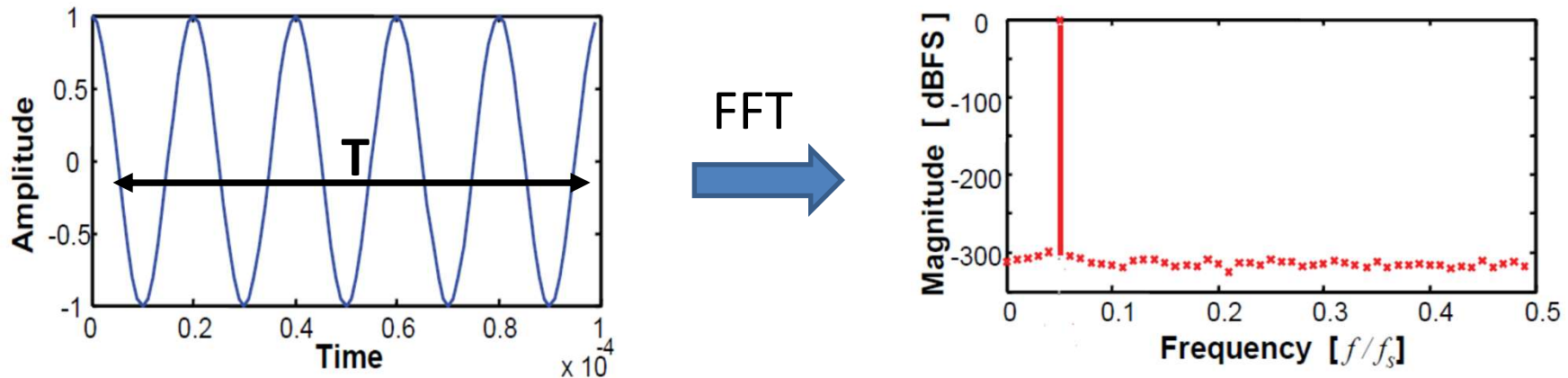
L'oscilloscopio permette di visualizzare la trasformata di Fourier del segnale di ingresso. L'asse Y riporta l'ampiezza delle armoniche, misurata in  $V_{rms}$  o in  $dBV_{rms}=20\log(V_{rms})$



Università degli  
Studi di Pavia

# Fast Fourier Transform con Oscilloscopio

L'asse delle frequenze è strettamente legato all'intervallo temporale visualizzato ( $T$ ) ed al numero di campioni (#samples) acquisiti:



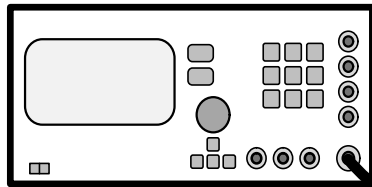
La risoluzione in frequenza è determinata dalla lunghezza temporale della traccia ( $T$ ). Maggiore il numero di periodi visualizzati, migliore è la risoluzione.

La frequenza massima visualizzata è inversamente proporzionale all'intervallo di campionamento:  $T/\text{\#samples}$

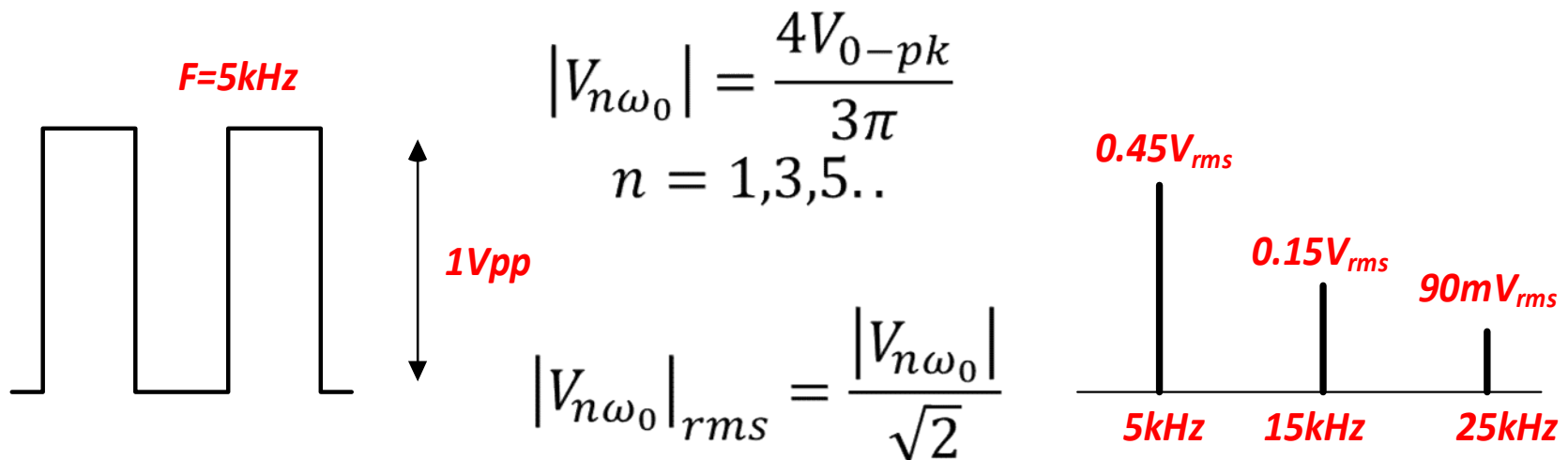
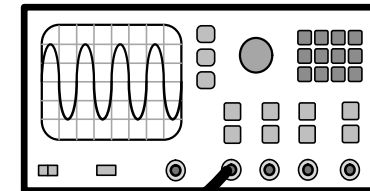
## Attività pratica

Misura del contenuto armonico di un segnale ad onda quadra con l'oscilloscopio

Generatore di Funzioni



Oscilloscopio

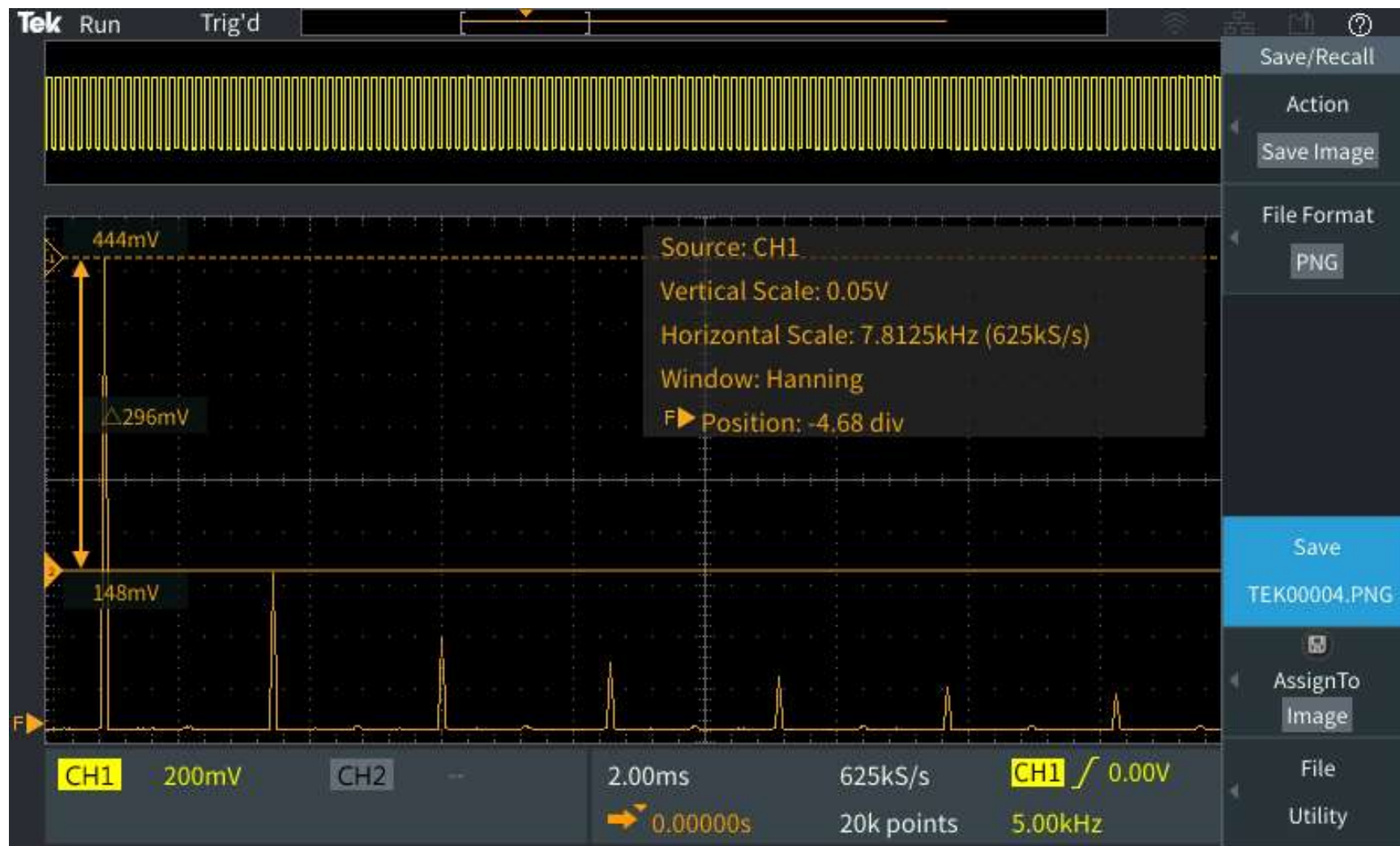




Università degli Studi di Pavia

## Misura del contenuto armonico di un onda quadra

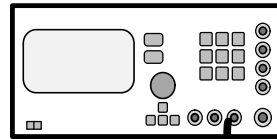
Impostare l'unità di misura della scala verticale dell'FFT in Vrms. L'ampiezza delle varie armoniche può essere misurata con i cursori:



# Distorsione armonica dell'amplificatore

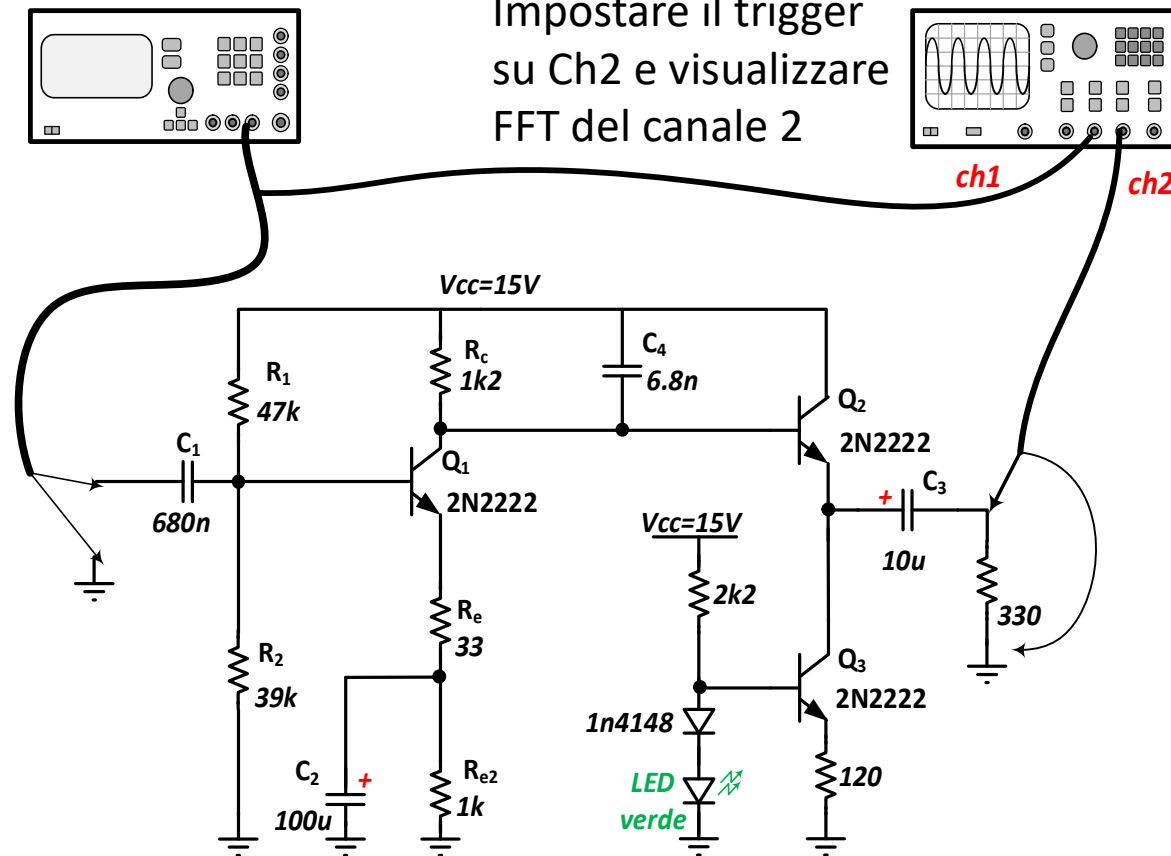
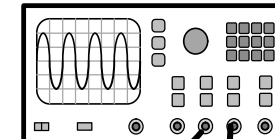
wave: sinusoid  
f=1kHz

Generatore di Funzioni



Impostare il trigger  
su Ch2 e visualizzare  
FFT del canale 2

Oscilloscopio



Misurare la distorsione armonica per due diverse ampiezze di ingresso:

- (1) la massima ampiezza che non produce distorsione apprezzabile visivamente in uscita (e.g. 100mVpp)
- (2) ampiezza che produce una debole distorsione apprezzabile visivamente sul segnale di uscita (e.g. 200mVpp)

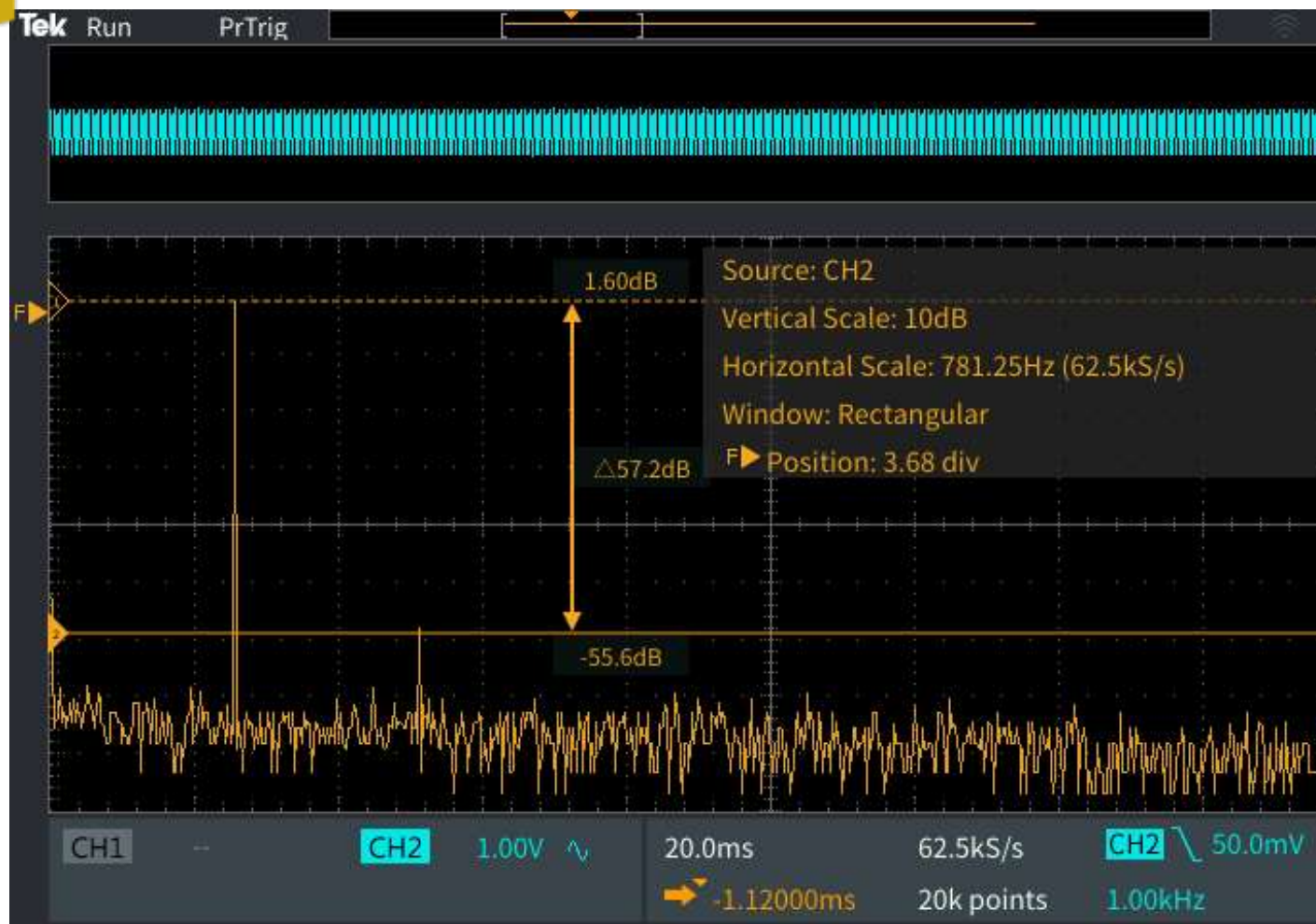




Università degli  
Studi di Pavia

# Distorsione armonica dell'Amplificatore

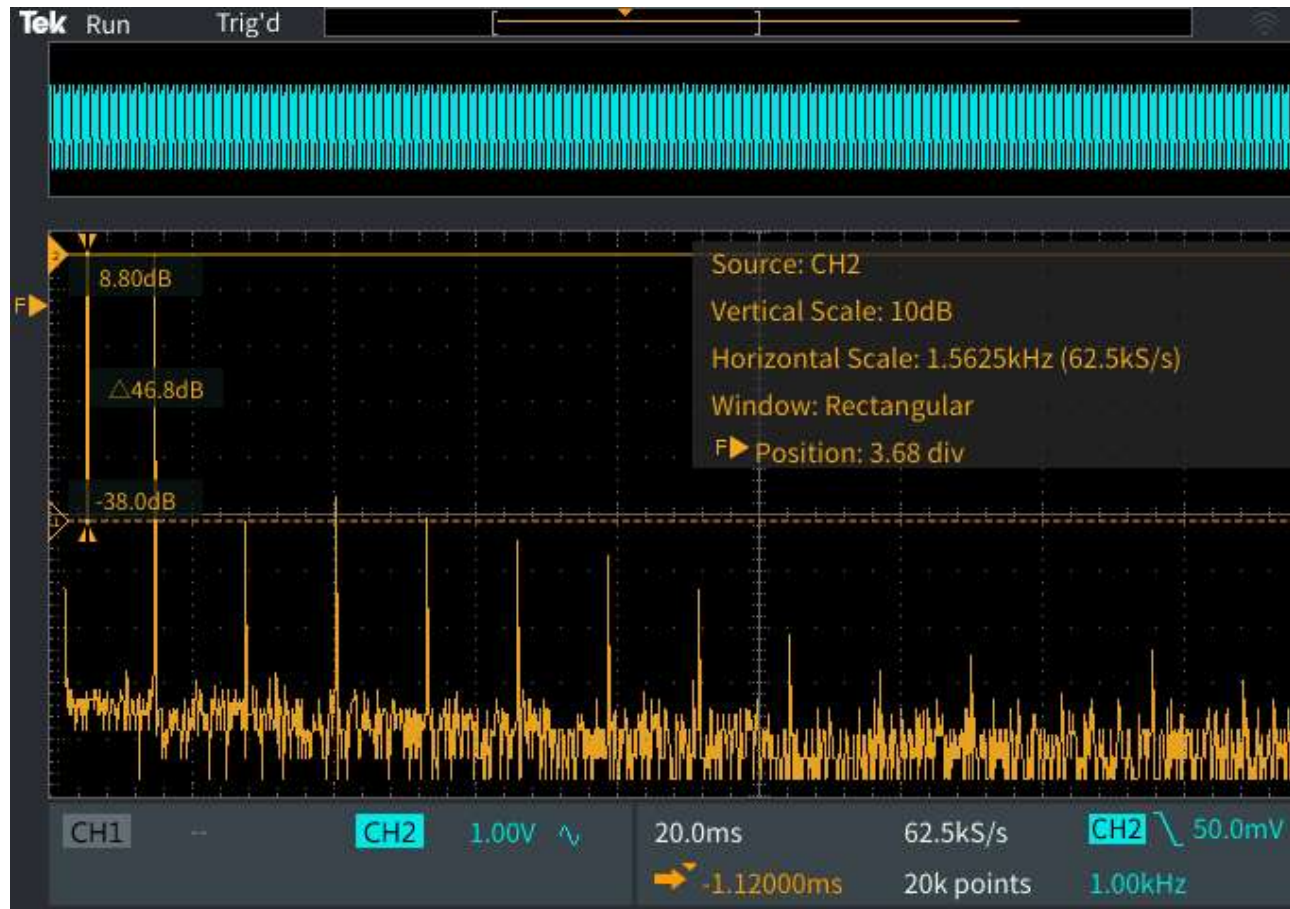
Vin=100mVpp. (scala verticale della FFT in dBVrms)



THD ~ HD2 = -57dB

# Distorsione armonica dell'Amplificatore

Vin=200mVpp. (scala verticale della FFT in dBVrms)



$$THD_{dB} = 10 \log \left( 10^{\frac{HD_{2dB}}{10}} + 10^{\frac{HD_{3dB}}{10}} + \dots \right)$$



## **Nota: $THD_{dB}$ dalle misure di $HD_{ndB}$**

$$HD_{ndB} = 20 \log \left( \frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right) = 10 \log \left( \left( \frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right)^2 \right)$$

$$\begin{aligned} THD_{dB} &= 10 \log \left( 10^{\frac{HD_{2dB}}{10}} + 10^{\frac{HD_{3dB}}{10}} + \dots \right) = \\ &= 10 \log \left( \left( \frac{V_{2\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right)^2 + \left( \frac{V_{3\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right)^2 + \dots \right) \\ &= 10 \log \left[ \frac{V_{2\omega_0}^2 + V_{3\omega_0}^2 + \dots}{V_{\omega_0}^2} \right] \\ &= 20 \log [THD] \end{aligned}$$