

Gruppo 10

Marchesini Davide - Matricola 2009840 - Email davide.marchesini@studenti.unipd.it

Travali Davide - Matricola 2008630 - Email davide.travali@studenti.unipd.it

ANALISI DI UNA CATENA ELETTRONICA

Per l'esperienza sono stati studiati tre circuiti.

Per le misure di capacità tramite multimetro Agilent, si è calcolato inizialmente la capacità intrinseca dei cavi utilizzati, per poi sottrarre questo valore al valore letto (tramite multimetro) della capacità utilizzata. In particolare, il valore dei cavi risulta:

$$C_{fondo} = 7pF \quad (1)$$

Le capacità che verranno indicate successivamente sono prive di questo valore di fondo.

1 PREAMPLIFICATORE DI CARICA

Il primo circuito analizzato è schematizzabile come in figura 1.

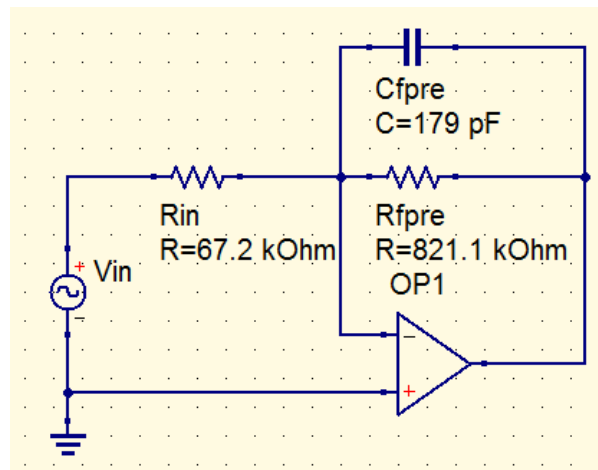


Figura 1: Schema circuito 1

Inizialmente si è posto in ingresso un impulso negativo quadrato di tensione e frequenza segnati in tabella 1, nella stessa tabella risultano riportati i valori misurati delle componenti del circuito.

Si è calcolata la carica Q_{in} attesa dopo il periodo T:

$$Q_{inatt} = (74 \pm 3)\mu C \quad (2)$$

Grandezza	Valore misurato
Fq	200Hz
V	-1V
T	$5\mu s$
Rin	$67.20 \pm 0.03 k\Omega (fs : 100 k\Omega)$
Rf _{pre}	$821.1 \pm 0.3 k\Omega (fs : 1000 k\Omega)$
Cf _{pre}	$179 \pm 9 pF (fs : 1000 pF)$

Tabella 1: Componenti misurate con multimetro e valori frequenza, tensione e periodo impostati tramite generatore.

Si è data una stima di τ_{preatt} e $V_{premaxatt}$ dalle misure delle componenti dove il primo rappresenta il termine di decadimento della tensione e il secondo la tensione massima in uscita per il periodo di $5\mu s$:

$$\tau_{preatt} = (14.7 \pm 0.7)\mu s \quad (3)$$

$$V_{premaxatt} = (0.42 \pm 0.03)V \quad (4)$$

Tramite misura puntuale con oscilloscopio si è ottenuta una stima di V_{premax} :

$$V_{premax} = (0.40 \pm 0.01)V \quad (5)$$

con compatibilità tra le due stime di 0.5, ossia ottima

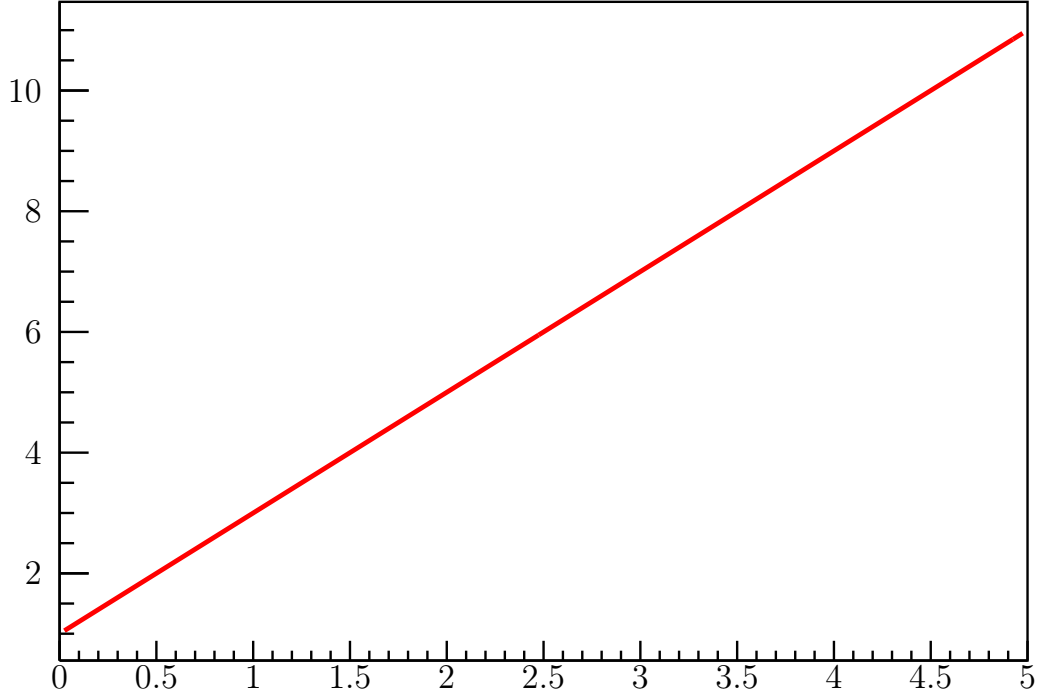
Successivamente si è verificata l'ipotesi di linearità, con fit lineare $y = mx + q$ con in ascissa Q_{in} e in ordinata V_{premax} ottenuti tramite oscilloscopio e modificando il periodo della tensione in ingresso. Nella tabella 2 sono riportate le misure puntuali eseguite manualmente:

T(μs)	Qin(μC)	σ_{Qin} (μC)	$V_{premax}(mV)$ mV/div	$\sigma_{V_{premax}}(mV)$
1	14.9	0.6	84 50	2
2	30	1	164 50	3
3	45	2	248 100	5
4	60	3	328 100	6
5	74	3	400 100	7
6	89	4	490 200	10
7	104	5	570 200	10
8	119	5	650 200	10
9	133	6	710 200	10
10	149	6	790 200	10

Tabella 2: Tensione calcolata con sonde oscilloscopio, carica Q_{in} in ingresso al variare del periodo T dell'impulso e relative incertezze.

Abbiamo ottenuto come coefficienti del fit:

$$[0]+[1]*x$$



$$q = (9 \pm 4)mV \quad (6)$$

$$m = (5.30 \pm 0.04) \frac{1}{nF} \quad (7)$$

Quest'ultimo risulta essere l'inverso di una stima sperimentale della capacità Cf_{pre} , ottenendo:

$$C_n = (0.18 \pm 0.04)nF \quad (8)$$

che risulta compatibile con la misura tramite Agilent. Abbiamo calcolato anche l'indice di correlazione dei dati pari a:

$$r = 0.999 \quad (9)$$

che verifica ulteriormente la linearità cercata.

Riportiamo i grafici dei nostri dati in figura 2 e dei residui in figura 3. Come si nota da entrambe le immagini i dati risultano compatibili con il nostro fit e con l'ipotesi di linearità del sistema.

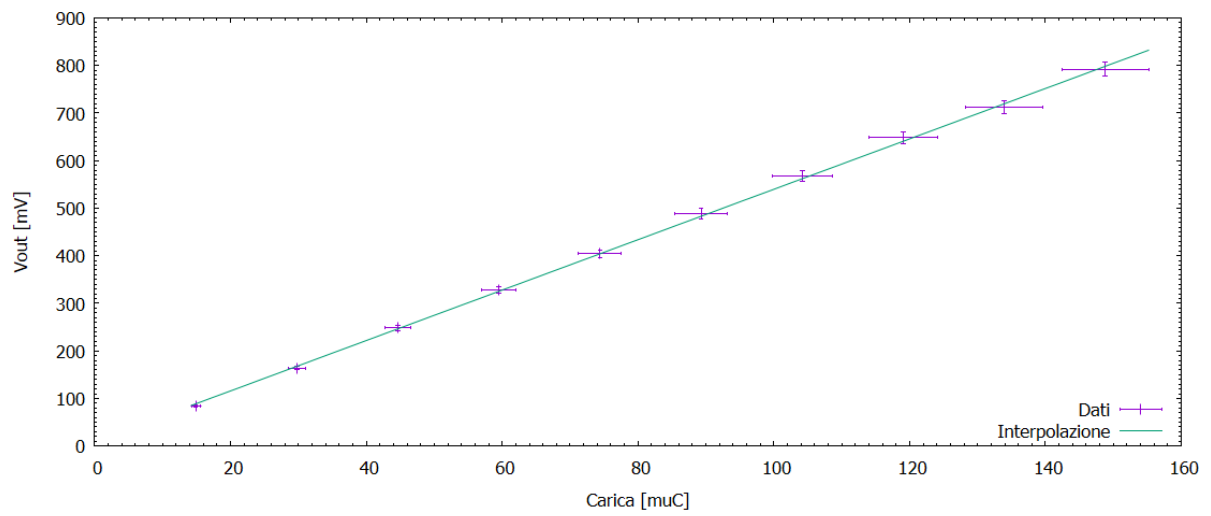


Figura 2: Fit lineare.

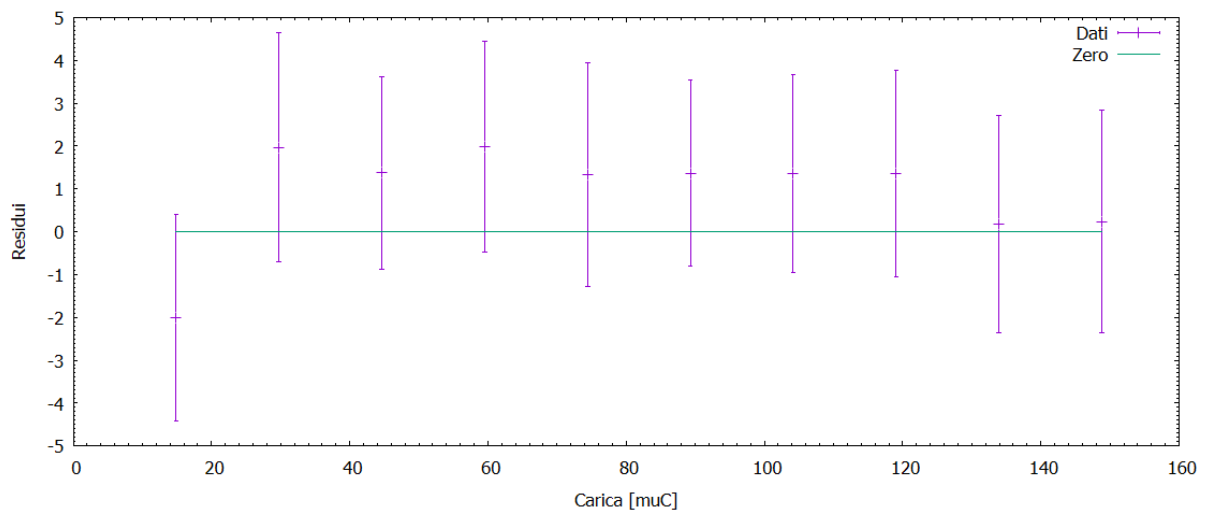


Figura 3: Residui fit lineare.

Si è poi provveduto a stimare il periodo τ_{pre} analizzando la fase di scarica del segnale. I dati della misura puntuale eseguita con l'oscilloscopio sono nella tabella 3:

t(μs)	25 μs /div	σ_t (μ)	V_{pre} (mV) 200mV/div	$\sigma_{V_{pre}}$ (mV)
8.0		0.3	376	10
16.0		0.6	360	10
25		1	336	10
36		1	312	9
45		2	288	9
60		2	264	9
76		3	232	9
139		6	152	8

Tabella 3: Misure prese tramite oscilloscopio e relative incertezze.

Con i dati ricavati dal campionamento automatico e dalla funzione di fit:

$$y = ae^{\frac{-x}{\tau_{pre}}} \quad (10)$$

con in ascissa il valore di t ed in ordinata il valore di V_{out} , si è ottenuto il valore di τ_{pre} dalla stima sperimentale della costante di decadimento del segnale:

$$a = (0.3856 \pm 0.0002)V \quad (11)$$

$$\tau_{pre} = (13.9 \pm 0.1)\mu s \quad (12)$$

con compatibilità di 1.6 con il valore atteso calcolato precedentemente.

Riportiamo 3 grafici:

- figura 4 il grafico dei nostri dati con le relative incertezze dal quale possiamo notare la forte compatibilità
- figura 5 il grafico dei residui che ha un comportamento periodico dovuto al fatto che i nostri dati hanno valori discreti nel voltaggio (dovuta alla risoluzione) mentre la curva di fit è continua
- figura 6 i dati confrontati con la nostra simulazione di LTspice della carica e scarica completa dal quale possiamo notare che il massimo con coincide perfettamente nei due casi ma siamo sempre entro le nostre incertezze.

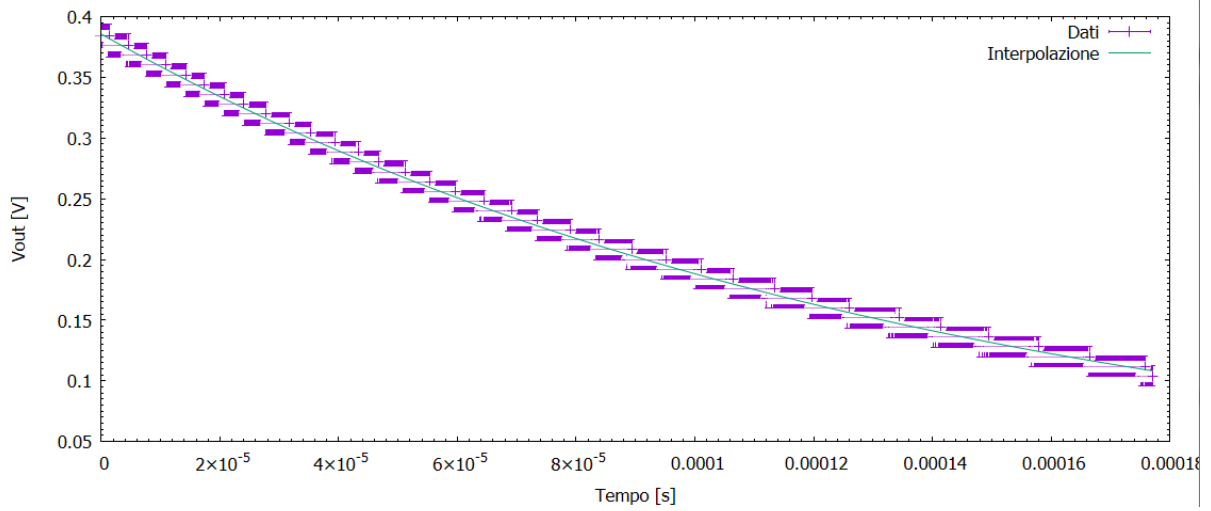


Figura 4: Fit esponenziale.

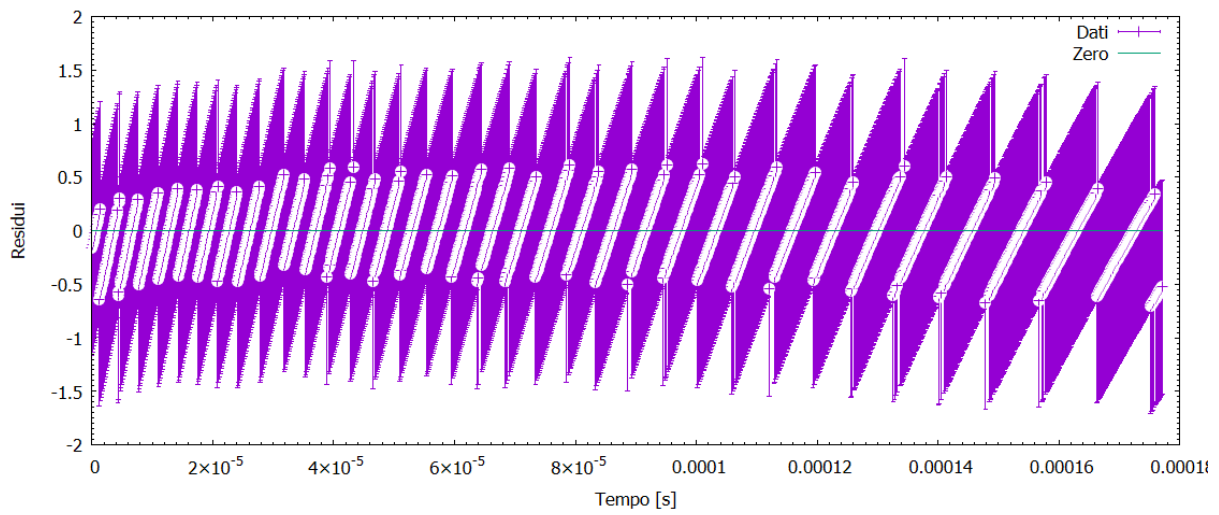


Figura 5: Residui fit esponenziale.

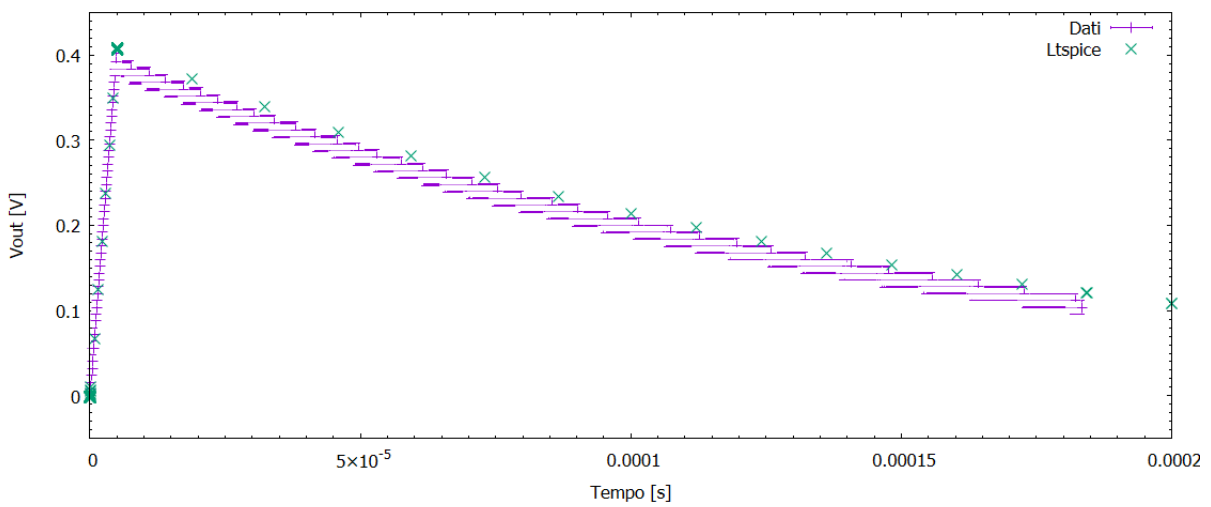


Figura 6: Confronto con LTSpice, accordo tra dati raccolti e simulati.

Infine, si è studiata la risposta in frequenza del circuito misurando i valori:

f _q (Hz)	V _{in} (V)	V/div	$\sigma_{V_{in}}$ (V)	V _{out} (V)	V/div	$\sigma_{V_{out}}$ (V)	H	σ_H
100	2.1	0.5	0.04	25.4	5	0.4	12.1	0.2
500	2.08	0.5	0.04	23.2	5	0.4	11.2	0.2
800	2.08	0.5	0.04	20.2	5	0.4	9.7	0.2
1000	2.08	0.5	0.04	18.4	5	0.3	8.85	0.2
10000	2.10	0.5	0.04	2.76	1	0.06	1.31	0.03
50000	2.08	0.5	0.04	0.57	0.2	0.01	0.273	0.006
3000	2.04	0.5	0.04	8.3	2	0.1	4.08	0.07
6000	2.04	0.5	0.04	4.3	2	0.1	2.12	0.05
8000	2.04	0.5	0.04	3.28	2	0.09	1.61	0.05
12000	2.04	0.5	0.04	2.24	2	0.09	1.10	0.04

Tabella 4: Misure tramite oscilloscopio, frequenza impostata, Ampiezza H e relative incertezze.

per poi eseguire il fit con la funzione teorica:

$$y = \frac{A}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{f_t}\right)^2}} \quad (13)$$

con A corrispondente all'amplificazione massima e f_t corrispondente alla frequenza di taglio del circuito:

$$A = 12.20 \pm 0.04 \quad (14)$$

$$f_t = (1062 \pm 10)Hz \quad (15)$$

con la nostra stima teorica della frequenza di taglio pari a $f_{tt} = (1.08 \pm 0.05)Khz$ e dunque compatibile con i nostri risultati. Si è ottenuto quindi il relativo grafico frequenza-ampiezza in figura 7 e i relativi residui in figura 8.

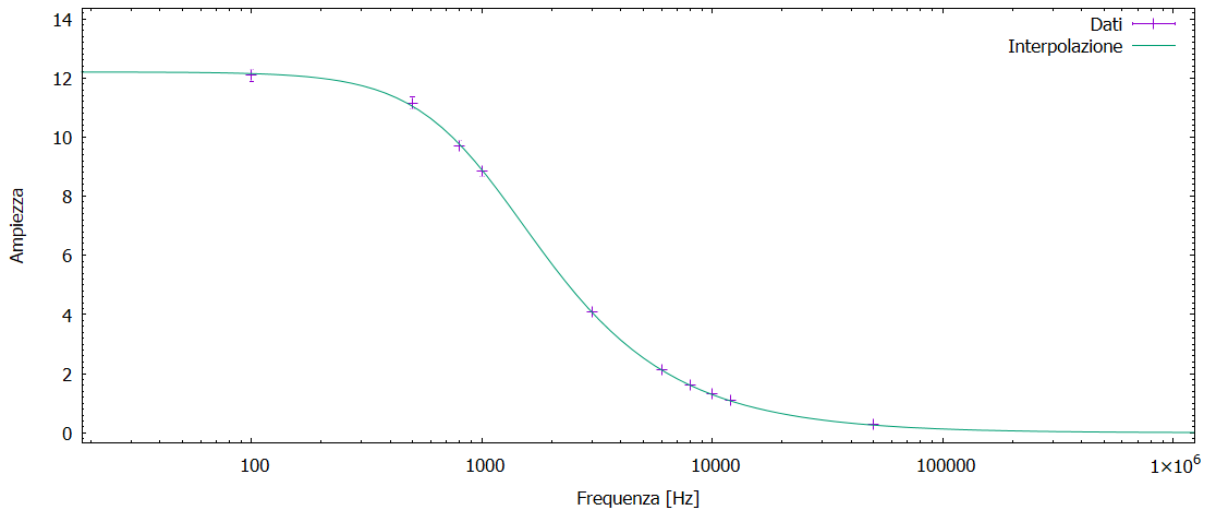


Figura 7: Grafico dati ottenuti.

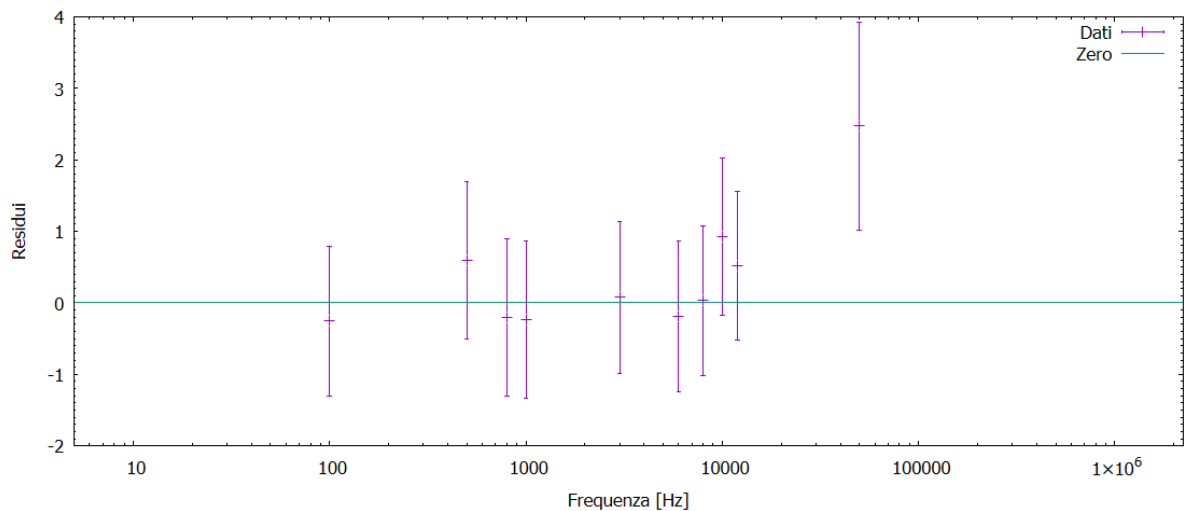


Figura 8: Residui fit.

Tutti i dati , escluso l'ultimo, risultano compatibili entro le incertezze ma questo fatto è molto comune nei dati che non sono prossimi alla frequenza di taglio. L'ultimo dato risulta comunque compatibile entro i 3σ . Riportiamo l'immagine dell'oscilloscopio con la scarica completa.

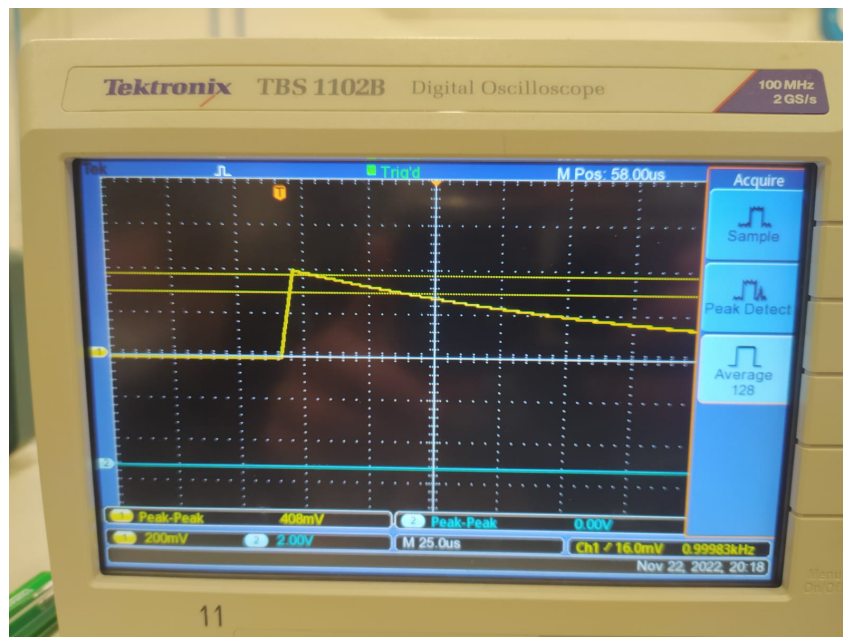


Figura 9: Figura oscilloscopio, V_{out} con Pulse in ingresso

2 SHAPER

Il secondo circuito analizzato è schematizzabile come in figura 10.

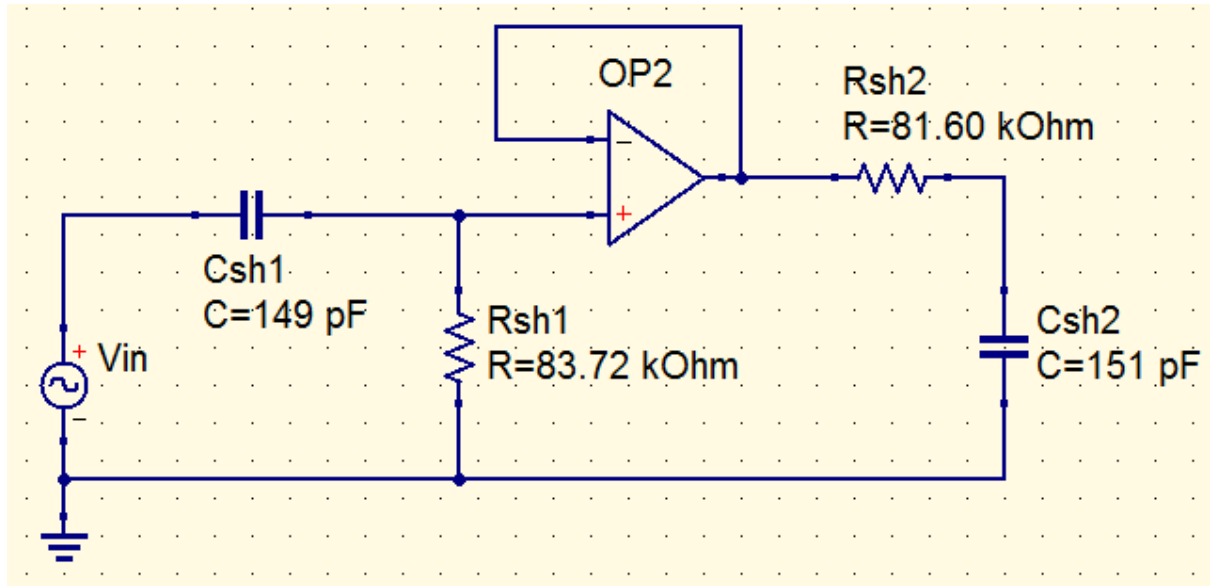


Figura 10: Schema circuito 2.

Le componenti utilizzate misurate tramite multimetro sono schematizzate in tabella 5.

Componente	Valore
Csh1	149 \pm 9pF
csh2	151 \pm 9pF
Rsh1	83.72 \pm 0.03k Ω
Rsh2	81.60 \pm 0.03k Ω

Tabella 5: Componenti circuito 2, misure con multimetro Agilent. $f_s(R)$:100k Ω , $f_s(C)$:1000pF

Inizialmente si è posto in ingresso un'onda quadra di frequenza 100Hz e di ampiezza 1V. I valori attesi riportati risultano rispettivamente del voltaggio massimo

$$V_{maxshp} = (0.376 \pm 0.009)V \quad (16)$$

e dello shaping time divisi per la prima coppia di resistenze/capacità

$$t_{maxshp} = (12.5 \pm 0.7)\mu s \quad (17)$$

e per la seconda

$$t_{maxshp} = (12.3 \pm 0.7)\mu s \quad (18)$$

I valori ottenuti sperimentalmente sono:

$$V_{maxshp} = (0.348 \pm 0.006)V \quad (19)$$

$$t_{maxshp} = (13 \pm 1)\mu s \quad (20)$$

che risultano compatibili con le nostre ipotesi.
Si è poi eseguito il fit con la funzione teorica:

$$f = axe^{\frac{-x}{b}} \quad (21)$$

ottenendo i risultati

$$a = (66.2 \pm 0.2)kV/s \quad (22)$$

$$b = (14.35 \pm 0.03)\mu s \quad (23)$$

dalla teoria dovremmo avere $t_{maxshp} = b$, tuttavia il nostro risultato non concorda con la stima a priori. Riportiamo 3 grafici:

- figura 11 i nostri dati con il relativo fit e come si può notare risulta molto compatibile inducendoci ad affermare che la misura teorica dello shaping time o i nostri dati siano il problema e non la nostra analisi
- figura 12 il grafico dei residui che presenta un andamento costante per i dati oltre il nostro picco ma non è rilevante per la nostra analisi (questo probabilmente è dovuto al fatto che abbiamo un voltaggio teorico nullo e dunque l'incertezza minima)
- figura 13 il grafico con i nostri dati e la simulazione svolta con LTspice che tra di loro risultano compatibili indicando in particolare che i nostri dati non hanno nessuna evidente problematica

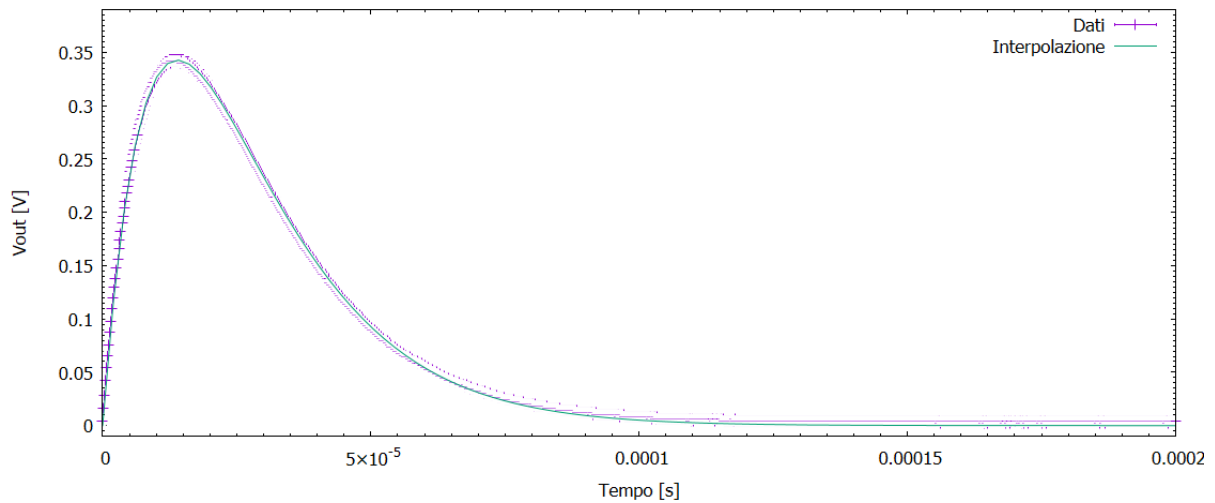


Figura 11: Dati raccolti in uscita con fit.

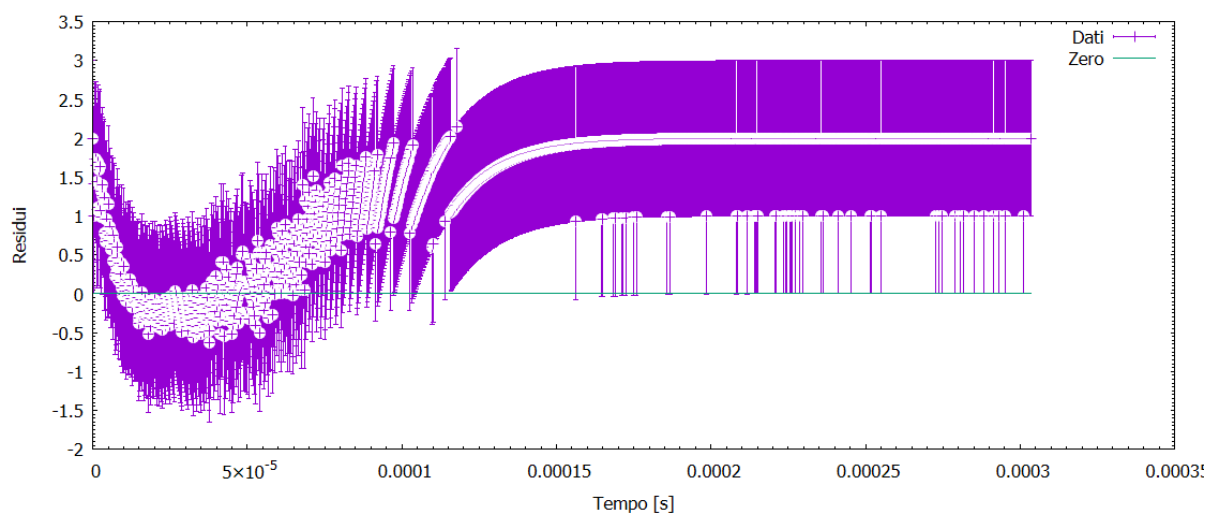


Figura 12: Residui fit.

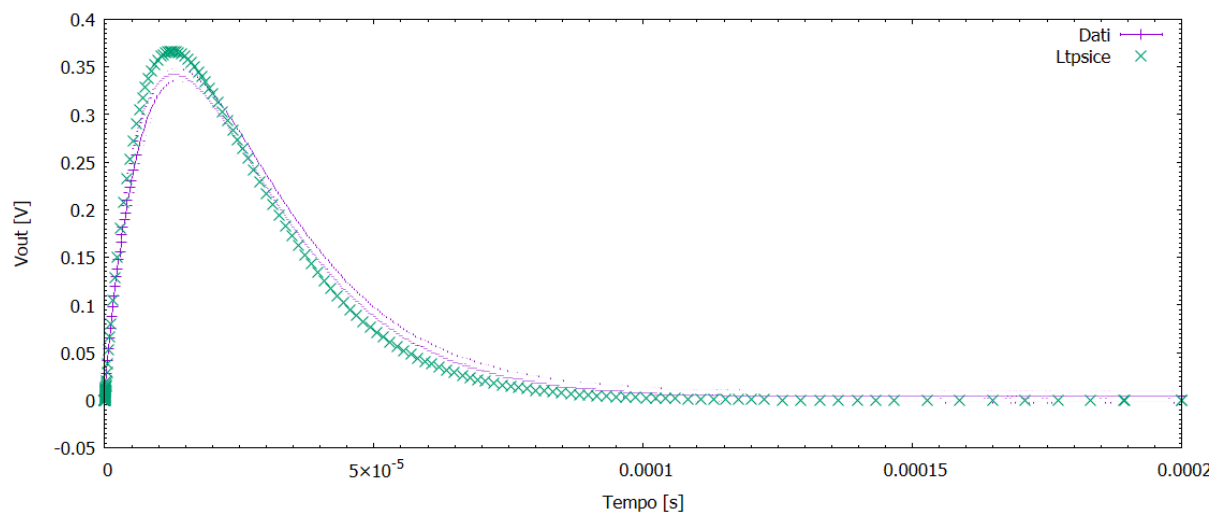


Figura 13: Confronto con LTspice, accordo con dati raccolti e simulati.

Successivamente si è studiata la risposta in frequenza del circuito con i dati in tabella 6

f	Vin(V)	σ_{vin} (V)	Vout (mV)	σ_{vout} (mV)	H	σ_H
500	1.06	0.03	70	2	66	3
2000	1.02	0.03	162	3	160	5
10000	1.04	0.03	480	8	460	10
30000	1.02	0.03	324	6	320	10
60000	1.02	0.03	180	4	180	6
90000	1.02	0.03	124	4	120	5
20000	1.02	0.03	420	7	410	10
50000	1.02	0.03	212	5	210	7
5000	1.02	0.03	352	6	350	10
3000	1.02	0.03	240	5	235	8
7000	1.02	0.03	432	7	420	10

Tabella 6: Misure tramite oscilloscopio (Vin: 0.5V/div) (Vout: prime due misure 50 mV/div, restante 100 mV/div), frequenza impostata. Ampiezza H. Incertezze.

Graficando i dati ottenuti ed eseguendo il fit con la funzione

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{[1 + (x/f_t)^2][1 + (f_t/x)^2]}} \quad (24)$$

con A l'amplificazione massima e f_t la frequenza di taglio dello shaper:

$$A = 0.948 \pm 0.008 \quad (25)$$

$$f_t = (11.5 \pm 0.2)kHz \quad (26)$$

ma dalla teoria abbiamo che per la prima coppia di resistenze/capacità abbiamo

$$f_{tt1} = (12.7 \pm 0.8)kHz \quad (27)$$

mentre per la seconda coppia

$$f_{tt2} = (12.9 \pm 0.8)kHz \quad (28)$$

con una buona ma non ottima compatibilità con il dato sperimentale. In particolare abbiamo usato nella funzione di fit un solo parametro f_t di frequenza di taglio e non due*(vedasi Conclusioni). Nelle seguenti figure sono riportati i nostri dati con il relativo fit e i residui, un solo valore non è in accordo con il fit. Probabilmente dalla nostra esperienza possiamo dire che a frequenze basse il funzionamento non è ideale, quindi si discosta dal fit effettuato.

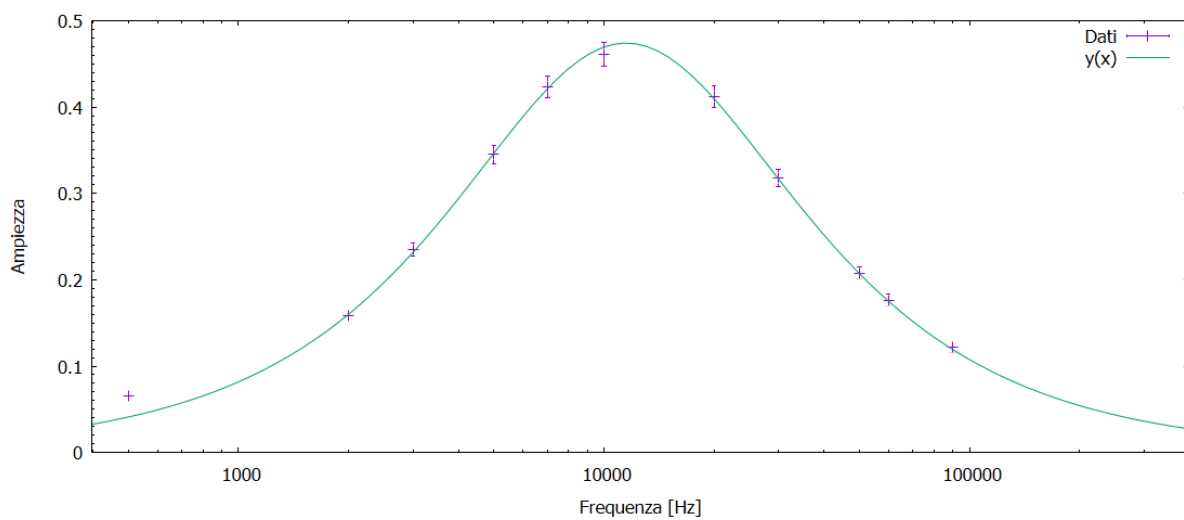


Figura 14: Grafico frequenza/ampiezza.

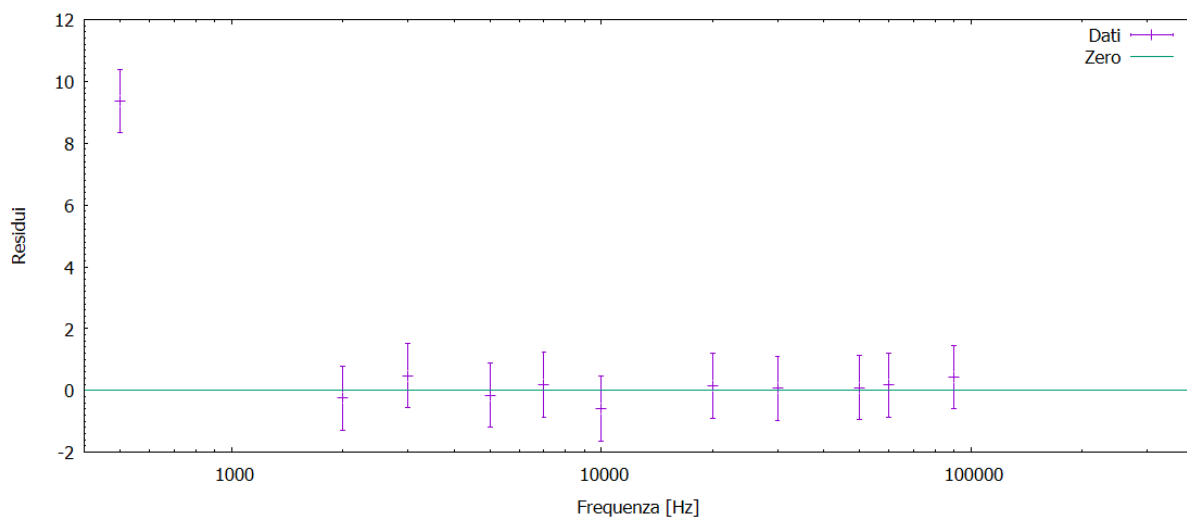


Figura 15: Residui fit.

Si è poi collegato l'uscita del preamplificatore sull'ingresso dello shaper, con tensione in ingresso di tipo Pulse come nel circuito 1.

I valori stimati tramite oscilloscopio risultano in tabella 7

Grandezza misurata	Valore
V_{maxshp}	$132 \pm 4 \text{ mV}$
t_{maxshp}	$15 \pm 1 \mu \text{ s}$
$V_{undershoot}$	$-16 \pm 4 \text{ mV}$

Tabella 7: $V_{max}, V_{undershoot}$: 100mV/div; t_{maxshp} : 25 μs /div

Per ridurre l'undershoot si è inserita una resistenza R_{pz} in parallelo a Csh1, la stima teorica risulta:

$$R_{pzatt} = (990 \pm 80)k\Omega \quad (29)$$

Mentre la R_{pz} inserita per ridurre l'undershoot vale:

$$R_{pz} = (954.9 \pm 0.6)k\Omega \quad (30)$$

Come verifica si è calcolato la tensione al tempo $t = 10T_{shp}$, ottenendo:

$$V_{shp}(10T_{shp}) = (0.000 \pm 0.002)V \quad (31)$$

Coincidente con il valore della tensione in ingresso prima del segnale periodico, confermando perciò di aver ridotto al minimo l'undershoot. La figura 16 mostra proprio il confronto tra i nostri dati e la simulazione ottenuta grazie alla nuova resistenza.

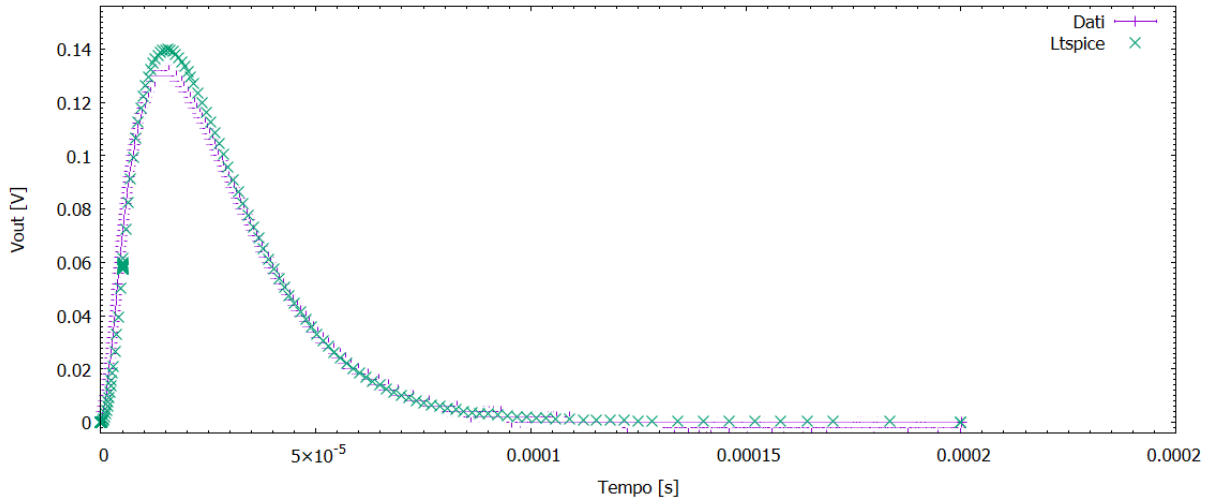


Figura 16: Confronto con LTSpice, dati raccolti in accordo con dati simulati

Infine si sono sostituite le due Rsh1,2 con delle Rsh1',2' di valori:

$$Rsh1' = (2.153 \pm 0.004)k\Omega \quad (32)$$

$$Rsh2' = (2.157 \pm 0.004)k\Omega \quad (33)$$

Ottenendo il grafico 17 con i dati raccolti:

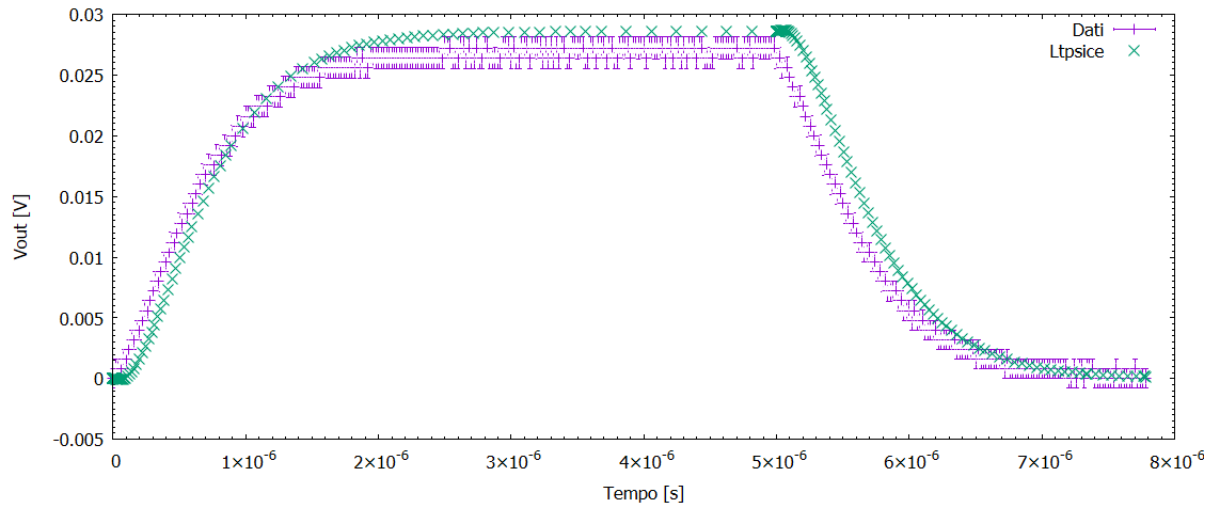


Figura 17: Confronto con LTSpice, dati raccolti in accordo con dati simulati

Modificando significativamente le resistenze nel circuito, si cambia anche la frequenza di taglio del circuito. In questo caso la nuova frequenza di taglio risulterà molto maggiore rispetto alla precedente modificando il carattere integratore/derivatore. In particolare sappiamo che la funzione in ingresso ha la frequenza di Fourier principale (cioè quella con il coefficiente maggiore) a $f_p = \frac{1}{2\pi T}$ con T il periodo cioè $5\mu s$, ma a questa frequenza il nuovo shaper si comporta come un derivatore mostrando il fenomeno che abbiamo osservato. Si nota come il segnale in uscita non sia perfetto come ci aspetteremo da un derivatore, seppur concordante con le stime di LTSpice, e questo può essere dovuto al fatto che il nostro gradino non ha solo una frequenza ma ne ha molteplici al quale risponde secondo la curva di trasmissione.

Riportiamo le immagini dell'oscilloscopio prese durante l'esperienza.

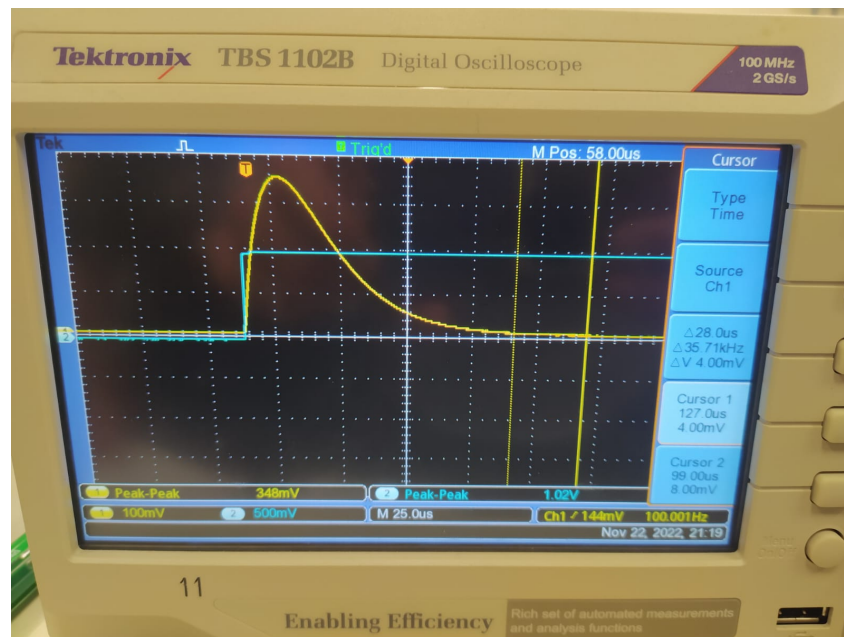


Figura 18: Figura oscilloscopio, V_{in} con ingresso a gradino (blu), V_{out} (giallo).

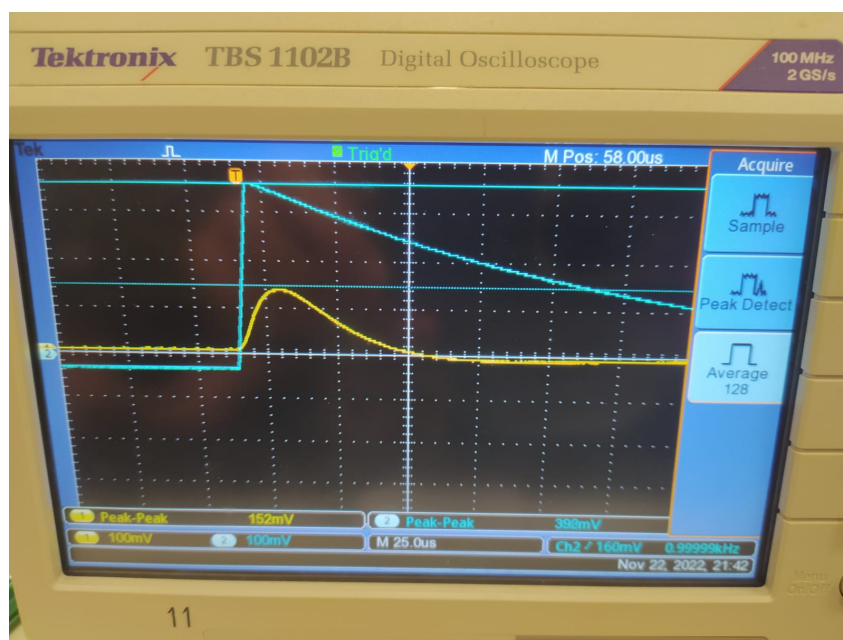


Figura 19: Figura oscilloscopio, V_{in} con uscita circuito 1 (blu), V_{out} (giallo) con undershoot.

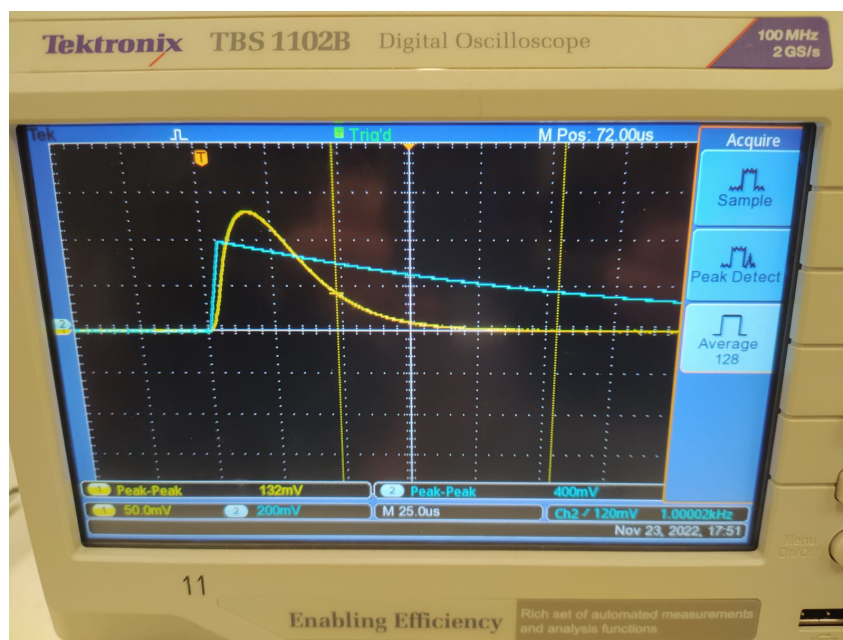


Figura 20: Figura oscilloscopio, V_{in} con uscita circuito 1 (blu), V_{out} segnale senza undershoot (giallo)

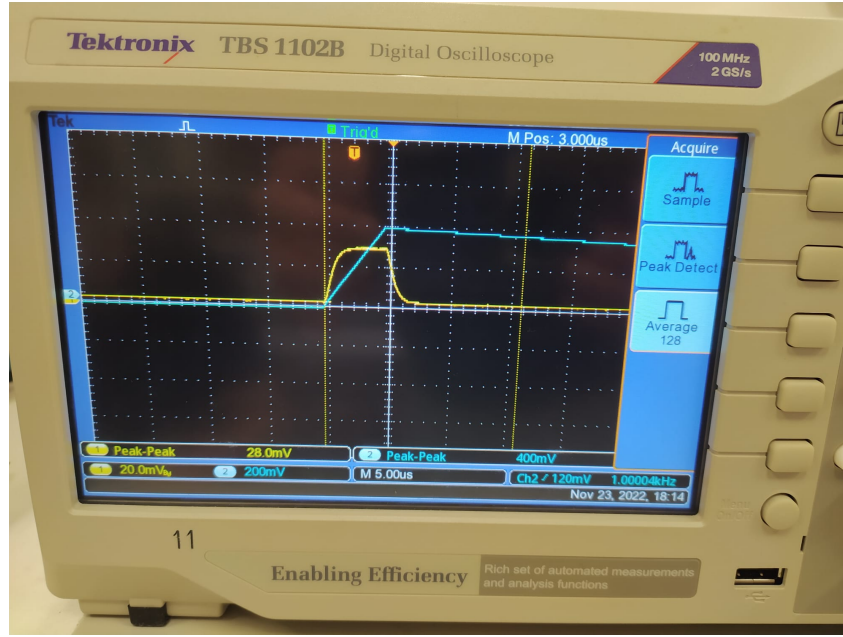


Figura 21: Figura oscilloscopio, V_{in} con ingresso circuito 1 (blu), V_{out} resistenze cambiate (giallo).

3 AMPLIFICATORE NON INVERTENTE

Essendo il segnale di uscita dal circuito 2 di bassa intensità, si è proceduto ad aumentarlo tramite un amplificatore non invertente, come in figura 22.

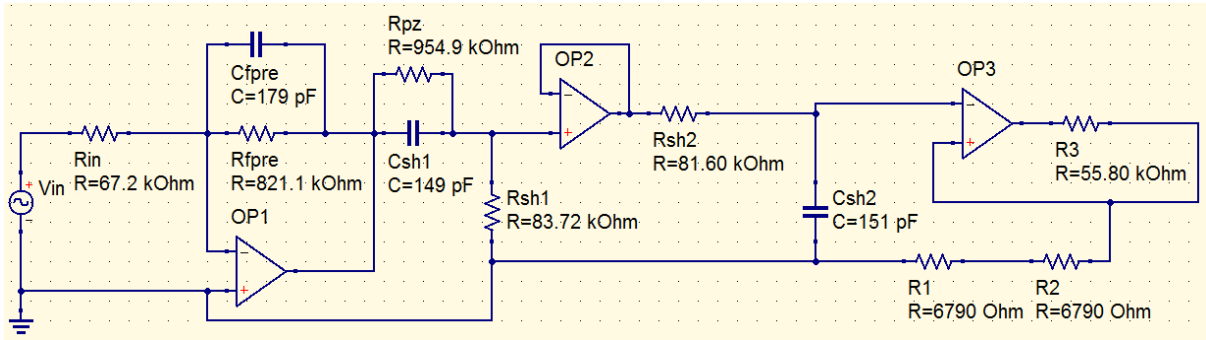


Figura 22: Schema circuito 3

Si è impostato il periodo T del segnale del generatore a monte del circuito pari a $T=10\mu s$. Si è quindi misurata l'ampiezza del segnale in uscita dallo shaper:

$$V : shpmax = (0.59 \pm 0.04)mV \quad (34)$$

Per ottenere un segnale di uscita dall'amplificatore di 3V si sono scelte le resistenze nel circuito come in tabella 8.

In uscita si è ottenuto allora:

$$V_{outmax} = (2.96 \pm 0.06)V \quad (35)$$

Componente	Valore
R1 (fs:10k Ω)	6.810 \pm 0.005 k Ω
R2 (fs:10k Ω)	6.790 \pm 0.005 k Ω
R3 (fs:100k Ω)	55.80 \pm 0.02 k Ω

Tabella 8: Resistenze amplificatore. Incertezze

Si è quindi studiata la linearità della catena così ottenuta similmente a come si è preceduto nel circuito 1:

T (μ s)	Vout (mV)	σ_{Vout} (mV)	mv/div	$Q_{in}(\mu$ C)	σ_Q (μ C)
1	296	5	50	15.0	0.6
2	608	10	200	30	1
3	896	2	200	45	2
4	1200	20	200	60	3
5	1500	30	500	74	3
6	1800	30	500	89	4
7	2080	40	500	104	5
8	2380	40	500	119	5
9	2680	50	500	134	6
10	2980	50	500	149	6

Tabella 9: Periodo impostato tramite generatore. Tensione tramite cursori oscilloscopio, carica Q in ingresso della catena elettronica. Incertezze.

Ottenendo valori per il fit lineare $y = mx + q$:

$$m = (19.96 \pm 0.05) \frac{1}{nF} \quad (36)$$

$$q = (8 \pm 5)mV \quad (37)$$

e con indice di correlazione di

$$r = 0.999 \quad (38)$$

confermando la linearità cercata. I grafici dei nostri dati [23](#) e dei relativi residui [24](#) evidenziano ulteriormente la conferma della nostra ipotesi di linearità.

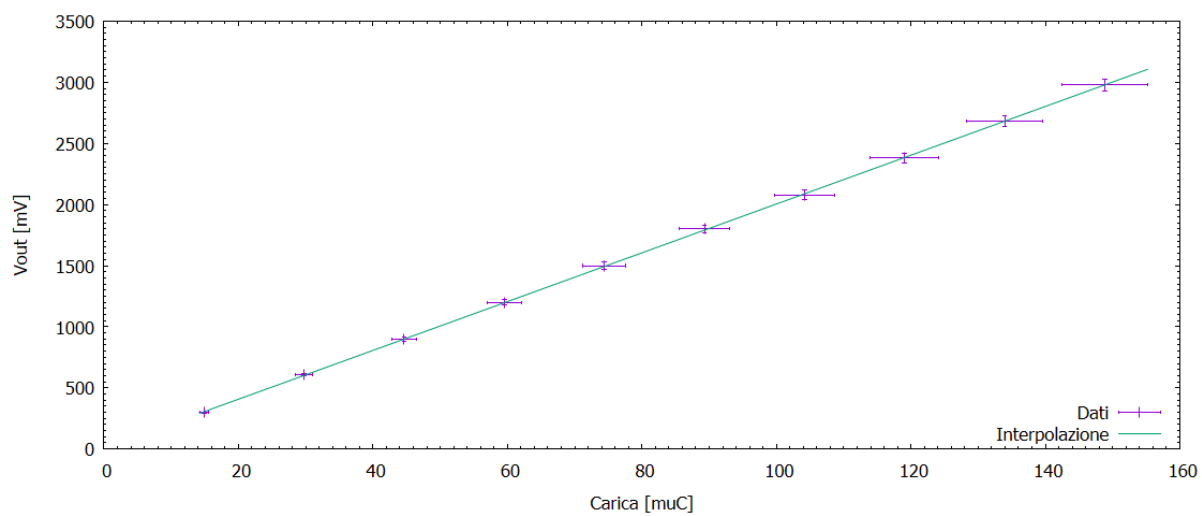


Figura 23: Fit lineare

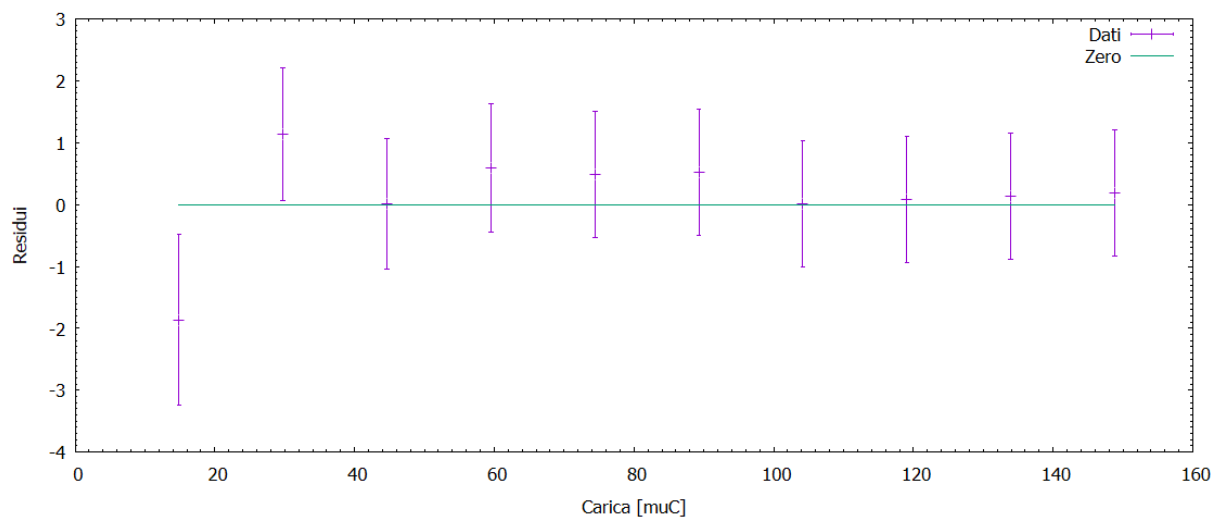


Figura 24: Residui fit lineare, tutti i dati in accordo entro i 3σ

Infine, si è analizzata la risposta in frequenza della catena elettronica, ottenendo la tabella 10

f _q (Hz)	V _{in} (V)	$\sigma_{V_{in}}$ (V)	V _{out} (V)	$\sigma_{V_{out}}$ (V)	H	σ_H
500	1.08	0.04	5.00	0.09	4.6	0.2
1000	1.08	0.04	4.92	0.08	4.5	0.2
2000	1.08	0.04	4.76	0.08	4.4	0.2
3000	1.08	0.04	4.60	0.08	4.3	0.2
5000	1.08	0.04	4.20	0.07	3.9	0.2
7000	1.08	0.04	3.64	0.07	3.4	0.1
9000	1.06	0.02	3.16	0.05	2.98	0.07
12000	1.06	0.02	2.50	0.04	2.36	0.06
15000	1.06	0.02	1.96	0.04	1.85	0.05
18000	1.06	0.02	1.56	0.03	1.47	0.09
20000	1.06	0.02	1.34	0.03	1.26	0.03
25000	1.06	0.02	0.98	0.02	0.90	0.03

Tabella 10: Frequenza impostata tramite generatore. V_{in}(1V/div primi sei dati e 0.2V/div restanti) e V_{out}(1V/div primi sei dati e 0.5V/div restanti) rilevati tramite cursori oscilloscopio. Ampiezza H. Incertezze

Con funzione di fit teorica:

$$y = \frac{A}{\sqrt{1 + (\frac{x}{f_t})^2}} \quad (39)$$

con A amplificazione massima e f_t frequenza di taglio:

$$A = 4.67 \pm 0.09 \quad (40)$$

$$f_t = (6.7 \pm 0.3) KHz \quad (41)$$

I grafici dei nostri dati 25 e dei relativi residui 26 mostra come il nostro fit sia buono come andamento qualitativo ma non ottimo dal punto di vista numerico, questo probabilmente è dovuto alla presenza di molte componenti all'interno del circuito, che lo discostano dal caso ideale.

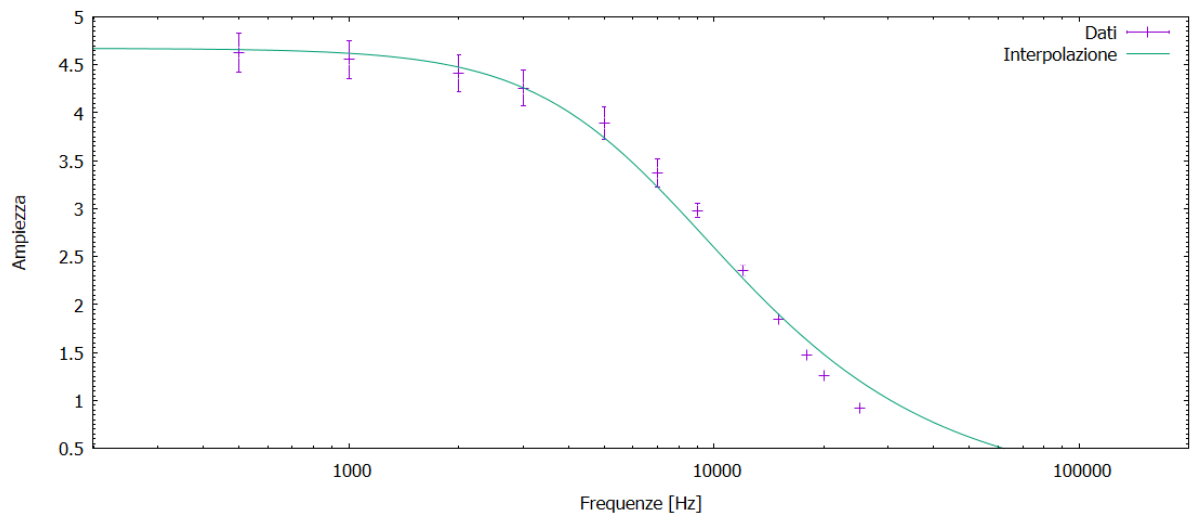


Figura 25: Grafico frequenza/ampiezza

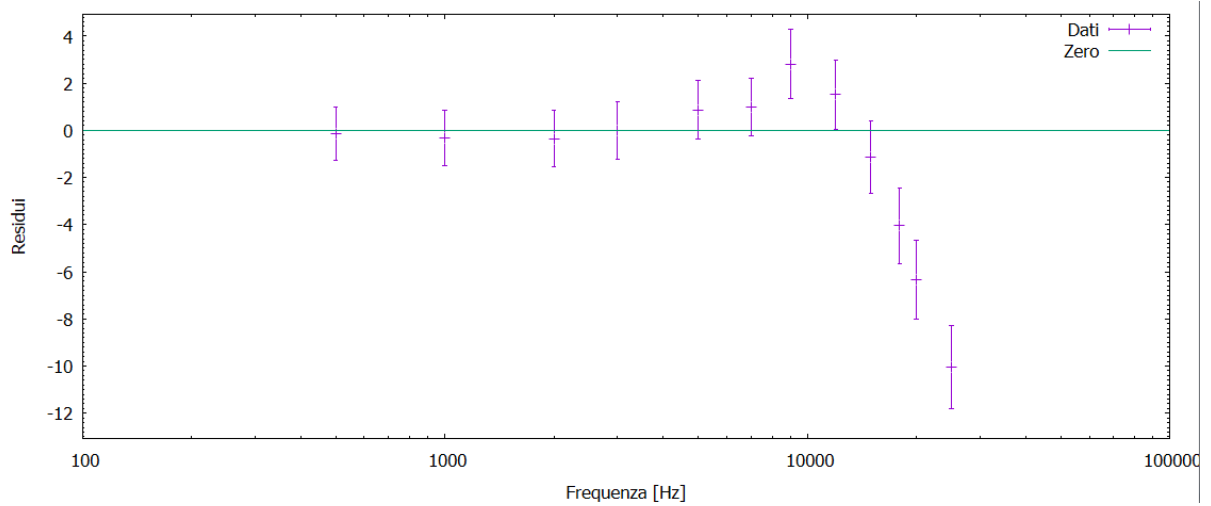


Figura 26: Residui fit, in questo caso si ha un discostamento negli ultimi dati.

La simulazione di LTspice riguardante l'ambito delle frequenze riporta dei dati compatibili con i nostri dati come si vede in figura 27 ma non perfettamente come nei casi precedenti di simulazioni. In particolare si nota come il valore massimo non sia perfettamente coincidente e questo può essere dovuto all'errore presente dalle resistenze dell'amplificatore.

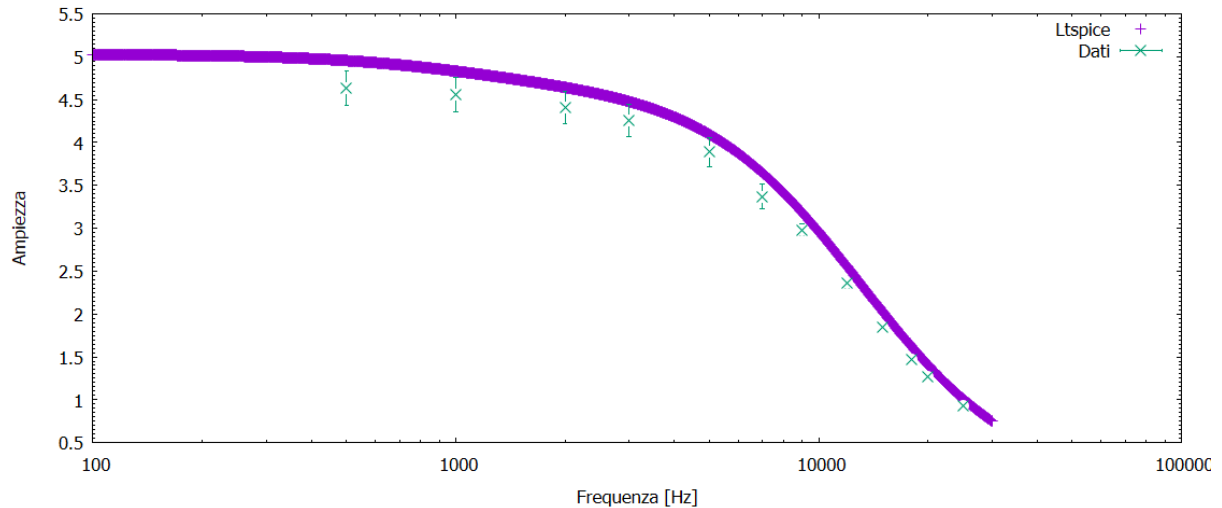


Figura 27: Confronto tra i nostri dati e la simulazione.

Riportiamo inoltre l'immagine 28 dell'oscilloscopio con l'uscita del nostro amplificatore non invertente e il suo ingresso.

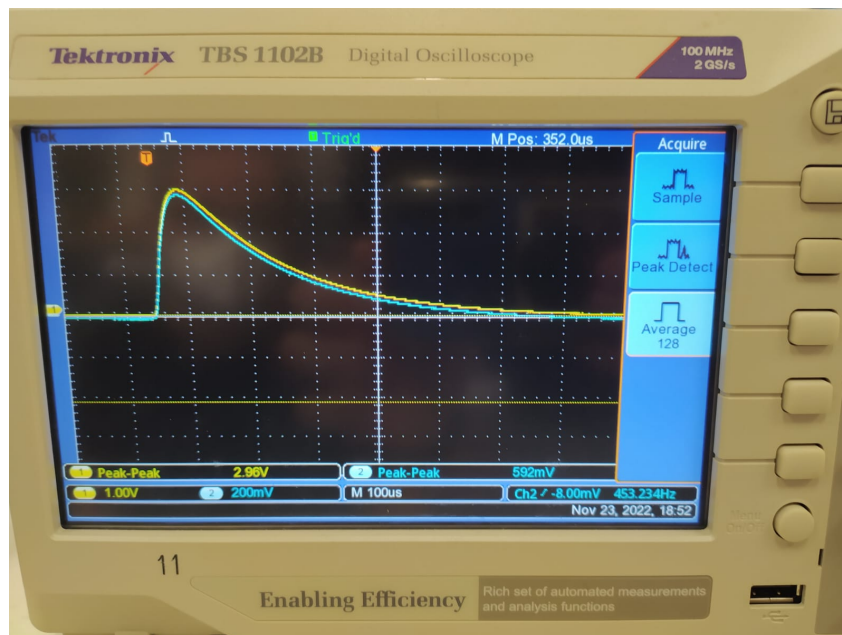


Figura 28: Figura oscilloscopio, V_{in} (blu), V_{out} (giallo)

4 Conclusioni

Per l'esperienza si sono studiati tre circuiti, per osservare la risposta in tensione di una catena elettronica.

Dall'analisi del preamplificatore di carica si è verificata la linearità tramite fit $y=mx+q$, con coefficiente di correlazione di 0.999. Successivamente si è analizzata la fase di scarica per ottenere una stima del tempo caratteristico. Infine si è studiata la risposta in frequenza, ottenendo un grafico di frequenza/ampiezza in linea con le previsioni.

Dall'analisi dello shaper si è osservata inizialmente la risposta in diverse condizioni riscontrando solo problemi riguardo lo shaping time e la frequenza di taglio. Possiamo solamente affermare che l'analisi dati risulta corretta e che un ulteriore presa dati o un confronto con altri gruppi può portarci a delle conclusioni. Infatti se lo shaping time fosse completamente errato la simulazione LTspice mostrerebbe un diverso andamento mentre risulta concorde con i nostri dati.

Successivamente, si è collegata l'uscita del preamplificatore all'ingresso dello shaper, osservando tramite oscilloscopio la relativa figura e fornendo una stima dell'undershoot:

$$V_{undershoot} = (-16 \pm 4)mV \quad (42)$$

Si è poi ridotto questo valore al minimo tramite una resistenza R_{pz} :

$$R_{pzatt} = (990 \pm 80)k\Omega \quad (43)$$

$$R_{pz} = (954.9 \pm 0.6)k\Omega \quad (44)$$

Questi dati permettono di contruire un sistema più che ottimale. Infine si sono sostituite le Rsh1,2 con due resistenze Rsh1',Rsh2', ottenendo un segnale derivato come ci aspettavamo.

Tramite un'amplificatore non invertente semplice si è amplificato il segnale in uscita dallo shaper. Si è analizzata la linearità della catena, ottenendo indice di correlazione di 0.999, per infine studiarne la risposta in frequenza, ottenendo un grafico di frequenza/ampiezza in linea con le simulazioni e le previsioni.

In generale tutti i nostri dati hanno confermato le nostre stime teoriche e simulazioni con LTspice dal punto di vista qualitativo se non numericamente, l'unico problema che si è riscontrato riguarda la sezione nel quale abbiamo modificato lo shaping time con le due nuove resistenze, in particolare abbiamo trovato un offset su tutto il segnale che però l'oscilloscopio non segnava, e dunque risulta un vero e proprio fondo di circa 0.004V che abbiamo provveduto ad eliminare. Per comprendere meglio come risolvere il problema sono richieste misure aggiuntive ed in particolare che il segnale in uscita sia aumentato in ampiezza.

*(**Commento su risposta in frequenza Shaper**) Nel fit effettuato si è utilizzata solo una frequenza di taglio, tuttavia non risulta corretto, nonostante la compatibilità tra le due stime. Infatti, la formula corretta sarebbe $f(x) = \frac{A}{\sqrt{[1+(x/f_1)^2][1+(f_2/x)^2]}}$ ma abbiamo riscontrato dei problemi nei risultati dei fit che venivano completamente errati con le nostre stime (anche inserendo in gnuplot i valori iniziali). Di conseguenza essendo le nostre stime teoriche tra le due frequenze compatibili il problema non produce un errore tale da giustificare il valore del nostro risultato che risulta minore rispetto ad entrambi i valori teorici.