



## Laboratorio 2

Michele Ferrero 268542, Emanuele Falci 268617,  
Gabriele Ferro 268510, Riccardo Drago 269663

A.A. 2021-2022

# Introduzione

Il seguente laboratorio analizza la risposta di un filtro RC utilizzando un segnale sinusoidale di ampiezza nota.

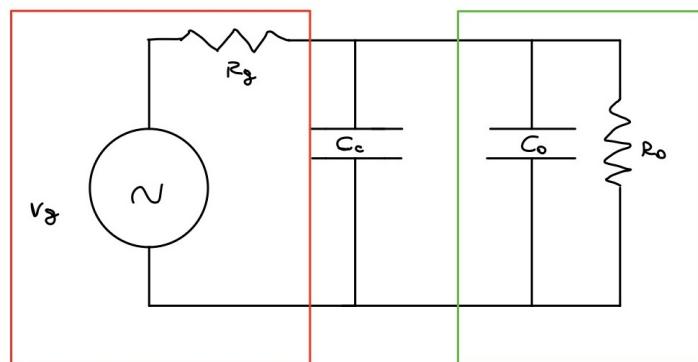
Sono stati utilizzati i seguenti strumenti presenti in laboratorio:

- Oscilloscopio digitale - *Rigol DS1054 Z*
- Multimetro - *Hewlett Packard 34401A*
- Generatore d'onda - *Hantek HDG2032B*
- Cavo coassiale BNC-BNC
- Cavo coassiale BNC-coccodrillo
- Connettore BNC a T

Per ogni misura effettuata vengono utilizzate le rispettive incertezze, presenti sui manuali dei costruttori.

## Prima di tutto...

La frequenza misurata sia dall'oscilloscopio che dal multimetro è pari a  $1kHz$ .



Lo schema complessivo del collegamento tra generatore di segnali (in rosso) e l'oscilloscopio digitale (in verde) è quello soprastante.

Si è rappresentato il cavo coassiale mediante un condensatore  $C_c$ .

# 1 Uso dei generatori di segnali

## 1.1 Frequenza dei segnali

Di seguito sono riportate le frequenze massime generabili dal generatore di forme d'onda a disposizione per ciascun tipo diverso di segnale.

Carrier Frequency		
The maximum carrier frequency varies by function, as shown below. The default is 1 kHz for all functions.		
Function	Minimum Frequency	Maximum Frequency
Sine	1µHz	the highest frequency
Square	HDG2102B, HDG2082B, HDG2062B, HDG2032B, HDG2022B, HDG2012B, HDG2002B	1µHz ~ 5MHz
	HDG2102B, HDG2082B, HDG2062B, HDG2032B, HDG2022B,	1µHz ~ 4MHz
Ramp	HDG2102B, HDG2082B	1µHz ~ 3MHz
	HDG2012B, HDG2002B	1µHz ~ 3MHz
Pulse	HDG2102B, HDG2082B, HDG2062B, HDG2032B, HDG2022B, HDG2012B, HDG2002B	1µHz ~ 5MHz

La misura della frequenza è pari a  $1kHz$  sia sull'oscilloscopio che sul multmetro mentre gli errori sono rispettivamente:

1. Per quanto riguarda l'incertezza è necessario considerare la time base accuracy. In questo caso il costruttore assicura che sia  $\leq \pm 25ppm$ .

$$T = (1.00 \pm 4,00 * 10^{-2})ms$$

Si calcola l'errore relativo dell'oscilloscopio:

$$\epsilon_{ocd} = 2.5 * 10^{-5}$$

Va inoltre aggiunta l'incertezza generata dall'operatore.

$$\epsilon_{op} = \frac{\delta t_1 + \delta t_2}{t_2 - t_1} = \frac{2*10^{-5} + 2*10^{-5}}{1*10^{-3}} = 0.04$$

L'errore relativo totale è dato dalla somma dei due contributi:

$$\epsilon_T = \epsilon_{ocd} + \epsilon_{op} = 2.5 * 10^{-5} + 0.04 = 0.040025$$

L'errore assoluto risulta essere:

$$\delta_T = T * \epsilon_T = 1 * 10^{-3} * 0.040025 = 4.0025 * 10^{-5}s$$

Da esso si ricava dunque facilmente la frequenza utilizzando la formula:

$$f = \frac{1}{T} = (1.00 \pm 4 * 10^{-2}) kHz$$

dove l'errore viene calcolato utilizzando la formula generica:

$$\delta_f = \left| \frac{df}{dT} \right| * \delta_T = \left| -\frac{1}{T^2} \right| * \delta_T = 40 Hz$$

2. Per il calcolo dell'incertezza del risultato viene preso dal manuale dello strumento:

$$Frequenza : \% of reading = 0.01\%$$

grazie al quale si ottiene:

$$\delta_f = \frac{0.01}{100} * 1 * 10^3 = 0.1 Hz$$

Da cui successivamente viene ottenuta la frequenza con relativa incertezza:

$$f = (1.00 \pm 1 * 10^{-4}) kHz$$

I due valori delle frequenze risultano dunque compatibili.

## 1.2 Tipo ed ampiezza dei segnali

Per quanto riguarda le ampiezze del generatore di segnale esse risultano solo dipendenti dalla frequenza e non dal tipo di segnale generato:

Amplitude Range	$\leq 20 MHz : 2mVpp - 20Vpp ; \leq 60 MHz : 2mVpp - 15Vpp ; \leq 80 MHz : 2mVpp - 10Vpp ;$ $\leq 90 MHz : 2mVpp - 5Vpp ; \leq 100 MHz : 2mVpp - 2Vpp$
-----------------	---

Il generatore in esame presenta frequenza massima pari a  $30 MHz$ , per cui possono essere generati segnali con tensione compresa tra  $V_{pp} = 2mV$  e  $V_{pp} = 20V$  per frequenze  $\leq 20 MHz$  e tra  $V_{pp} = 2mV$  e  $V_{pp} = 15V$  per frequenze fino a  $30 MHz$ .

Non risultano distorsioni apprezzabili del segnale generato, fino a frequenze di  $30 MHz$ , utilizzando valori di tensione entro il range indicato nelle specifiche.

## 1.3 Offset

Il segnale utilizzato per questa parte è costituito da una parte di segnale variabile, di ampiezza  $V_p = 1V$  e frequenza  $f = 1kHz$ , e da una parte di segnale continua  $V_{DC} = \pm 0.2V$  denominata sullo strumento come offset.

Sperimentalmente è stato possibile dimostrare il diverso comportamento dell'oscilloscopio nelle due diverse modalità AC e DC:

La componente di offset risulta essere visibile soltanto nella modalità DC. Questo è dovuto alla presenza di un filtro passa alto nella modalità AC che va ad eliminare la componente continua del segnale in ingresso.



Figure 1: Configurazione del generatore di segnali

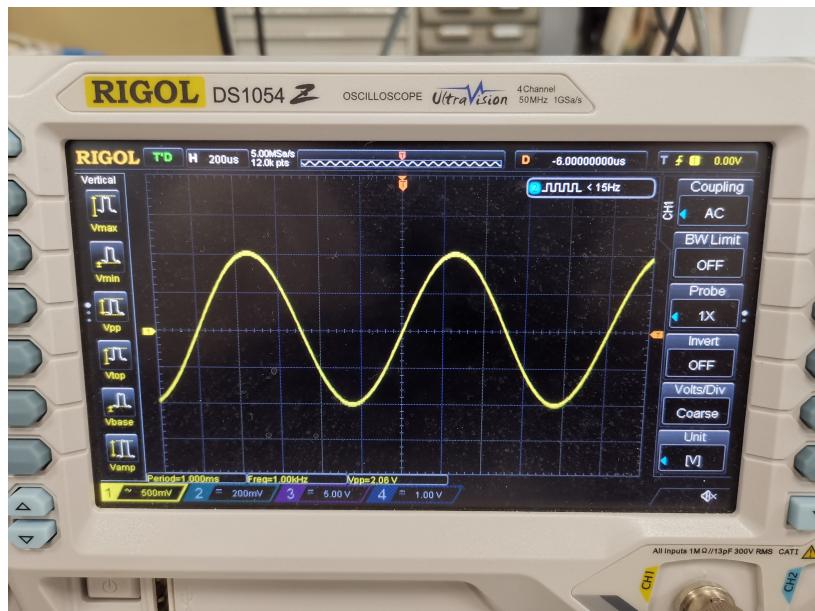


Figure 2: AC Mode

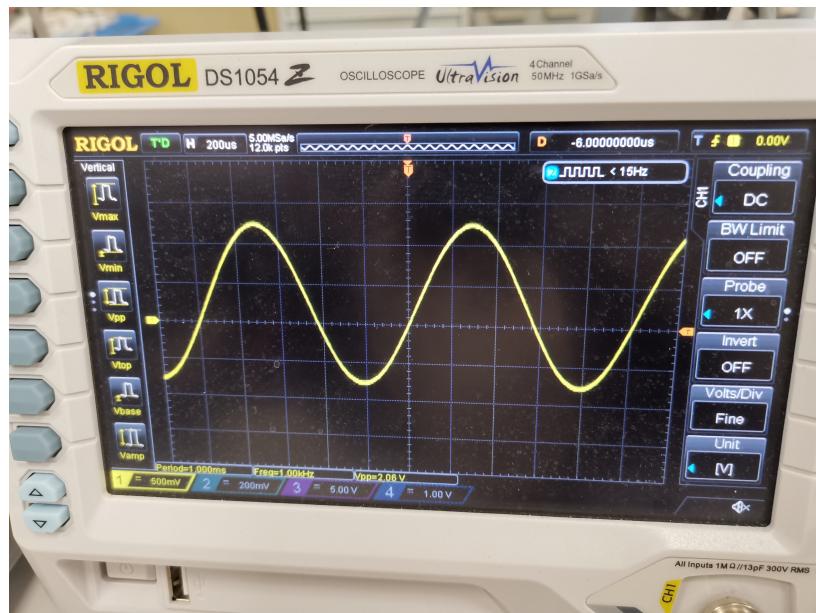
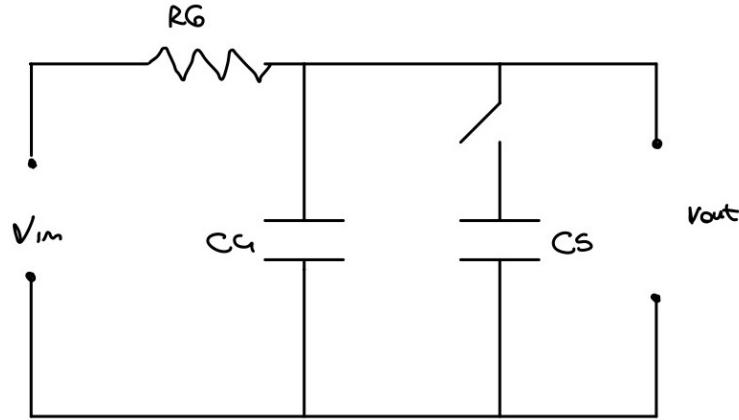


Figure 3: DC Mode

## 2 Scheda con filtro RC



Tramite la lettura dei codici sui componenti è possibile ricercare i valori nominali. Nel caso in esame risultano essere:

$$R_6 = 1k\Omega$$

$$C_4 = 0.01\mu F$$

$$C_5 = 0.01\mu F$$

Tramite l'utilizzo del multmetro, in particolare della sua funzione “*continuity*”, è possibile ricavare lo schema circuitale del PCB riportato all'inizio del paragrafo.

Le incertezze dei componenti sono ricavate tramite i relativi codici:

- La resistenza presenta la quarta, e ultima, fascia dorata che sta a indicare un'incertezza pari a  $\pm 5\%$ .
- I condensatori invece, non presentando alcun carattere di riferimento, vengono considerati con una incertezza pari al  $\pm 20\%$  del loro valore nominale.

Per quanto riguarda l'incertezza riferita alle frequenze di taglio viene calcolata tramite l'applicazione del metodo deterministico.

Interruttore aperto

$$f_{co} = \frac{1}{2\pi * RC} = \frac{1}{2\pi * R_6 C_4} = 15919.49 Hz$$

$$\epsilon_{co} = \epsilon_{C4} + \epsilon_{R6} = 25\%$$

$$\delta_{co} = \epsilon_{co} * f_{co} = 3979.99 Hz$$

Interruttore chiuso

$$f_{co} = \frac{1}{2\pi * RC} = \frac{1}{2\pi * R_6(C_4+C_5)} = 7957.74Hz$$

$$\epsilon_{co} = \epsilon_{C4} + \epsilon_{C5} + \epsilon_{R6} = 45\%$$

$$\delta_{co} = \epsilon_{co} * f_{co} = 3223.70Hz$$

### 3 Risposta del dominio della frequenza di un filtro passa basso (diagrammi di Bode)

Per lo studio in frequenza del circuito è necessario valutare i risultati ottenuti per varie frequenze mantenendo gli altri parametri del segnale invariati. I valori impiegati per le seguenti misure sono:

$$V_{pp} = 0.8V$$

Frequenza tra  $1kHz$  e  $1MHz$

I valori ottenuti sono visibili nei seguenti grafici. Inoltre per ogni frequenza misurata è mostrato un campo di valori che indica l'errore assoluto della misura.

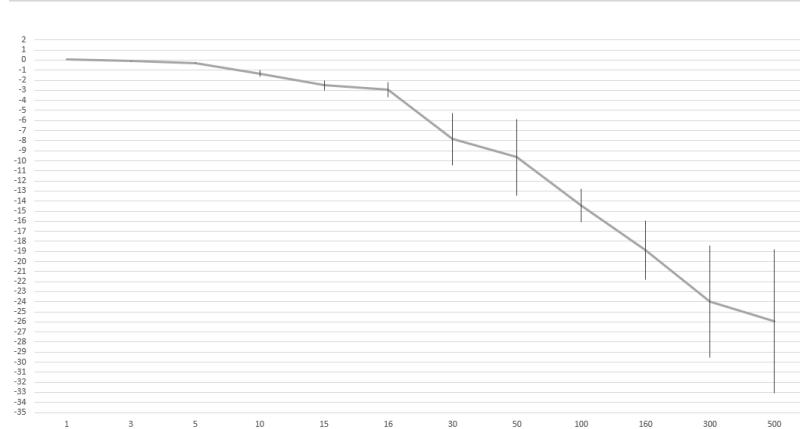


Figure 4: Bode passa basso  $f_t = 15919.49Hz$  modulo

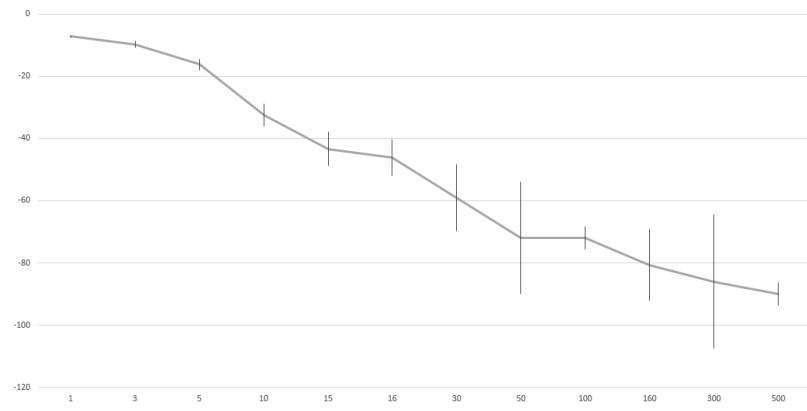


Figure 5: Bode passa basso  $f_t = 15919.49 \text{ Hz}$  fase

I seguenti grafici mostrano invece il comportamento in frequenza del circuito a seguito della chiusura dell'interruttore.

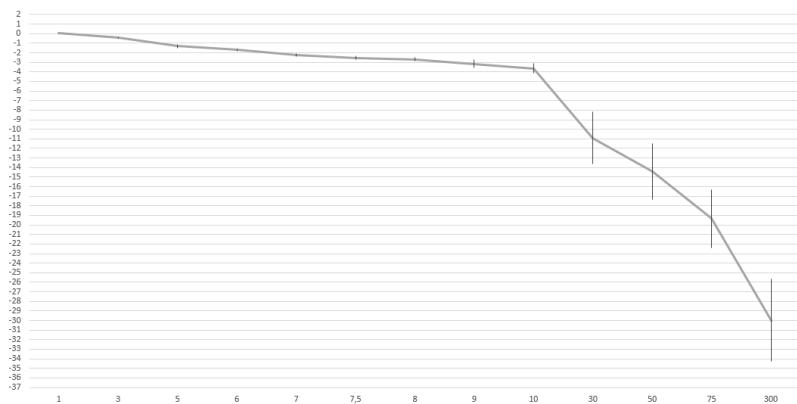


Figure 6: Bode passa basso  $f_t = 7957.74 \text{ Hz}$  modulo

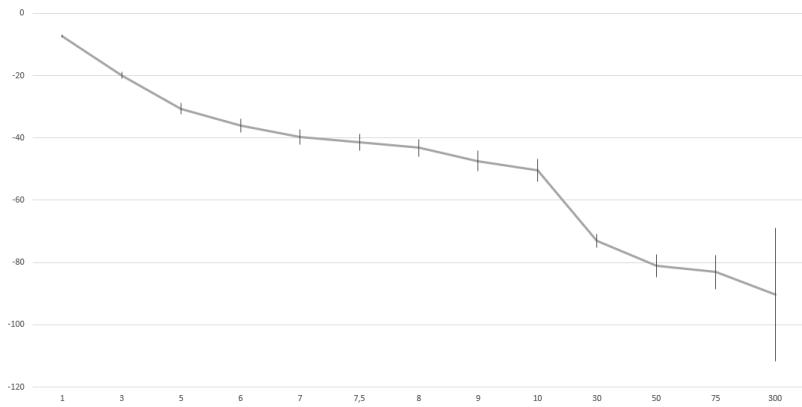


Figure 7: Bode passa basso  $f_t = 7957.74\text{Hz}$  fase

## 4 Filtro passa alto

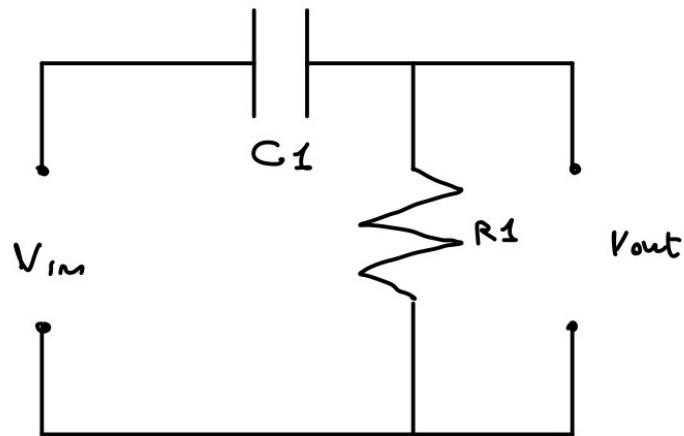


Figure 8: circuito passa alto

Si segue lo stesso procedimento visto nel punto precedente.

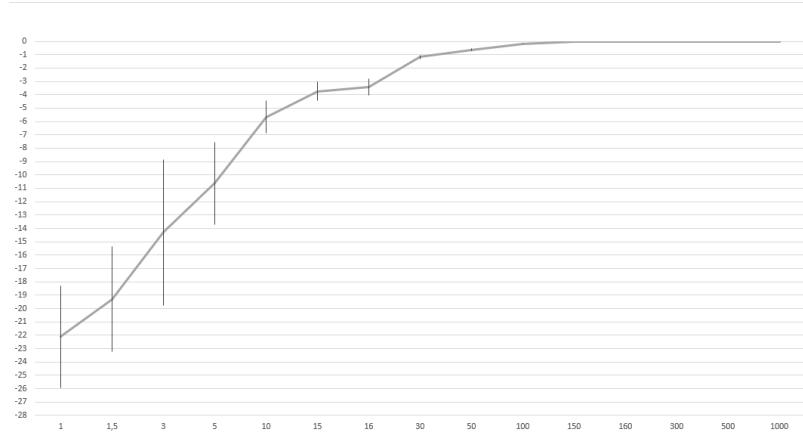


Figure 9: Bode passa alto  $f_t = 15919.49\text{Hz}$  modulo

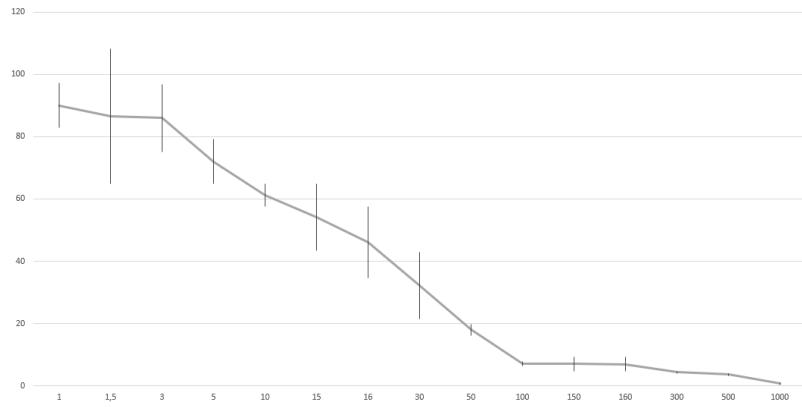


Figure 10: Bode passa alto  $f_t = 15919.49\text{Hz}$  fase

## 5 Errori e dati grezzi

FILTO PASSABASSO CON C SINGOLÒ (INT e)															
FREQUENZA(KHZ)	VIN(mV)	VOUT(mV)	TEMPO SFASO (s)	PERIODO (s)	variazione in dB	FASE in gradi	timediv periodo	timediv sfaso	Errore time (relativo)	Errore sfaso (relativo)	Errore fase	V/div ampiezza VOUT	V/div IN	Errore relativo modulo	Errore Modulo
1	815	820	-2,00E-05	1,00E-03	0,05	-7,20	2,00E-04	5,00E-06	4,00E-02	5,01%	-6,49E-01	2,00E-01	2,00E-01	21,53%	1,14E-02
3	830	820	-9,00E-06	3,35E-04	-0,11	-9,67	5,00E-05	5,00E-06	2,99E-02	11,12%	-1,36E+00	2,00E-01	2,00E-01	21,33%	-2,23E-02
5	815	790	-9,00E-06	2,00E-04	-0,27	-14,00	5,00E-05	5,00E-06	2,99E-02	11,12%	-2,14E+00	2,00E-01	2,00E-01	16,37%	-1,14E-02
10	815	700	-9,00E-06	1,00E-04	-1,32	-32,40	5,00E-05	5,00E-06	1,00E-01	11,12%	-6,84E+00	2,00E-01	2,00E-01	23,37%	-3,09E-01
15	815	610	-8,00E-06	6,65E-05	-2,52	-43,31	1,00E-05	5,00E-06	3,01E-02	12,51%	-6,72E+00	1,00E-01	2,00E-01	18,01%	-4,53E-01
16	815	580	-8,00E-06	6,25E-05	-2,95	-46,08	1,00E-05	5,00E-06	3,20E-02	12,51%	-7,24E+00	2,00E-01	2,00E-01	25,97%	-7,67E-01
30	790	320	-5,50E-06	3,35E-05	-7,85	-59,10	5,00E-06	5,00E-06	2,99E-02	18,19%	-1,25E+01	2,00E-01	1,00E-01	33,07%	-2,60E+00
50	790	260	-4,00E-06	2,00E-05	-9,65	-72,00	5,00E-06	5,00E-06	5,00E-02	25,01%	-2,16E+01	2,00E-01	1,00E-01	39,42%	-3,80E+00
100	790	150	-2,00E-06	1,00E-05	-14,43	-72,00	5,00E-06	5,00E-06	5,00E-02	5,01%	-1,08E+01	2,00E-01	1,00E-01	11,44%	-1,65E+00
160	790	90	-1,40E-06	6,25E-06	-18,97	-86,00	5,00E-06	5,00E-06	1,00E-01	14,28%	-2,08E+01	1,00E-01	1,00E-01	15,35%	-3,46E+00
300	790	50	-8,00E-07	3,35E-06	-23,97	-85,97	5,00E-07	1,00E-06	2,99E-02	25,01%	-2,41E+01	2,00E-02	1,00E-01	23,17%	-5,55E+00
500	790	40	-5,00E-07	2,00E-06	-25,91	-90,00	5,00E-07	1,00E-07	5,00E-02	4,01%	-8,11E+00	2,00E-02	1,00E-01	27,57%	-7,14E+00
FILTO PASSABASSO CON C SINGOLÒ (INTERRUTTORE CHIUSO)															
1	815	820	-2,00E-05	1,00E-03	0,05	-7,20	2,00E-04	5,00E-06	4,00E-02	5,01%	-6,49E-01	2,00E-01	2,00E-01	21,53%	1,14E-02
3	815	775	-1,85E-04	3,35E-04	-0,44	-19,88	5,00E-05	5,00E-06	2,99E-02	5,41%	-1,67E+00	2,00E-01	2,00E-01	16,47%	-7,20E-02
5	815	700	-1,70E-04	2,00E-04	-1,32	-30,00	5,00E-05	5,00E-06	5,00E-02	5,89%	-3,20E+00	2,00E-01	2,00E-01	15,27%	-3,09E-01
6	815	665	-1,65E-05	1,00E-04	-12,17	-36,00	5,00E-05	5,00E-06	6,00E-02	6,07%	-4,37E+00	1,00E-01	2,00E-02	7,705	-1,32E-01
7	810	625	-1,60E-05	1,45E-04	-2,28	-39,71	5,00E-05	5,00E-06	6,90E-02	6,26%	-5,23E+00	1,00E-01	2,00E-02	8,13%	-1,83E-01
7,5	810	605	-1,55E-05	1,35E-04	-2,53	-43,33	5,00E-05	5,00E-06	7,41E-02	6,46%	-5,73E+00	1,00E-01	2,00E-02	8,36%	-2,13E-01
8	810	595	-1,50E-05	1,25E-04	-2,68	-43,20	5,00E-05	5,00E-06	8,00E-02	6,67%	-6,34E+00	1,00E-01	2,00E-02	8,48%	-2,27E-01
9	790	550	-1,45E-05	1,10E-04	-3,15	-47,45	5,00E-05	5,00E-06	9,90E-02	6,90%	-7,59E+00	1,00E-01	1,00E-01	13,57%	-4,27E-01
10	790	520	-1,40E-06	1,00E-04	-3,03	-50,40	5,00E-05	5,00E-06	1,00E-01	7,15%	-8,64E+00	1,00E-01	1,00E-01	14,03%	-5,10E-01
30	790	225	-6,80E-06	9,35E-05	-10,91	-73,07	5,00E-06	1,00E-06	2,99E-02	2,95%	-4,34E+00	1,00E-01	1,00E-01	25,13%	-7,24E+00
50	790	150	-4,50E-06	2,00E-05	-14,43	-81,00	5,00E-06	1,00E-06	5,00E-02	4,45%	-7,66E+00	5,00E-02	1,00E-01	20,24%	-2,92E+00
75	790	85	-3,00E-06	1,30E-05	-19,36	-83,08	5,00E-06	1,00E-06	7,69E-02	6,67%	-1,19E+01	2,00E-02	1,00E-01	15,92%	-3,08E+00
300	790	25	-8,40E-07	3,35E-06	-29,99	-90,27	5,00E-07	1,00E-06	2,99E-02	23,81%	-2,42E+01	5,00E-03	1,00E-01	14,37%	-4,31E+00
FILTO PASSAALTO															
1	830	65	2,00E-04	1,00E-03	-22,12	90,00	2,00E-04	1,00E-04	4,00E-02	8,00%	3,59E+00	1,00E-02	2,00E-01	17,37%	8,84E+00
1,5	830	90	1,60E-04	6,65E-04	-19,30	86,63	1,00E-04	2,00E-04	3,01E-02	-25,00%	-1,90E+01	2,00E-02	2,00E-01	20,38%	-9,91E+00
3	830	160	8,00E-05	3,35E-04	-14,30	85,97	5,00E-05	5,00E-06	2,99E-02	-12,50%	-8,17E+00	1,00E-01	2,00E-01	38,10%	-4,45E+00
5	815	240	4,00E-05	2,00E-05	-10,62	72,00	5,00E-05	2,00E-05	5,00E-02	-10,00%	-3,59E+00	1,00E-01	2,00E-01	29,13%	-3,09E+00
10	815	425	1,70E-05	1,00E-05	-5,66	61,20	2,00E-05	5,00E-06	4,00E-02	-5,88%	-1,15E+00	1,00E-01	2,00E-01	21,15%	-1,20E+00
15	815	530	1,00E-05	6,65E-05	-3,74	54,14	1,00E-05	1,00E-05	3,01E-02	-20,00%	-9,19E+00	1,00E-01	2,00E-01	19,10%	-7,14E+00
16	815	550	8,00E-06	6,25E-05	-3,42	46,08	5,00E-05	1,00E-05	1,60E-01	-25,00%	-4,14E+00	1,00E-01	2,00E-01	18,80%	-6,42E+00
30	790	69	3,00E-06	3,35E-05	-1,18	32,24	5,00E-06	5,00E-06	2,99E-02	-33,33%	-9,78E+00	1,00E-01	1,00E-01	11,95%	-1,40E+01
50	790	735	1,00E-06	-0,63	18,00	5,00E-06	5,00E-07	5,00E-02	-10,00%	-8,99E+00	1,00E-01	1,00E-01	11,56%	-7,24E+02	
100	790	775	2,00E-06	-0,17	7,20	5,00E-06	5,00E-07	5,00E-02	-5,00%	-1,00E+01	1,00E-01	1,00E-01	11,49%	-7,00E+02	
150	790	790	1,20E-07	6,125E-06	0,00	1,00E-06	2,00E-07	2,025E-02	-53,33%	-2,11E+00	1,00E-01	1,00E-01	11,14%	0,00E+00	
180	790	790	1,20E-07	6,25E-06	0,00	6,91	1,00E-06	2,00E-07	3,025E-02	-53,33%	-2,08E+00	1,00E-01	1,00E-01	11,14%	0,00E+00
300	790	790	4,00E-08	3,35E-06	0,00	4,30	5,00E-07	2,00E-08	2,99E-02	-10,00%	-3,01E+01	1,00E-01	1,00E-01	11,14%	0,00E+00
500	790	790	2,00E-08	2,00E-06	0,00	3,60	5,00E-07	1,00E-08	5,00E-02	-10,00%	-1,80E+01	1,00E-01	1,00E-01	11,14%	0,00E+00
1000	790	790	2,00E-09	1,00E-06	0,00	0,72	5,00E-07	1,00E-09	-50,00%	-4,00E+01	1,00E-01	1,00E-01	11,14%	0,00E+00	

Figure 11: schema dei dati con errori

Gli errori sono stati calcolati mediante le seguenti formule:

- Errore relativo sulla fase =  $\epsilon_T + \epsilon_{diff} + 2 * \epsilon_{ocd}$
- Errore relativo sul modulo =  $\epsilon_{op1} + \epsilon_{op2} + \epsilon_{ocd1} + \epsilon_{ocd2}$

dove nel primo caso abbiamo:

$$\epsilon_T = \epsilon_{diff} = \frac{\delta t_1 + \delta t_2}{t_2 - t_1}$$
$$\epsilon_{ocd} = 25 ppm$$

e nel secondo caso:

$$\epsilon_T = \epsilon_{diff} = \frac{\delta t_1 + \delta t_2}{t_2 - t_1}$$
$$\epsilon_{ocd} = \frac{\epsilon_{FS} * V_{FS}}{V}$$