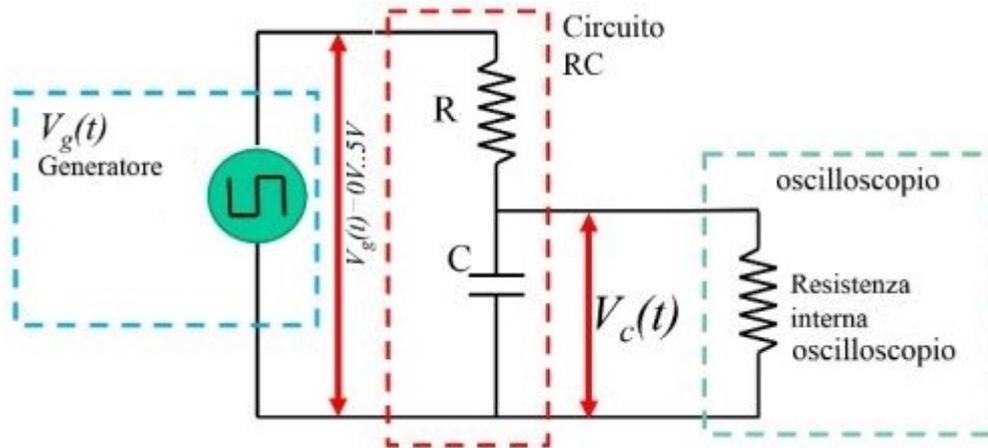


Carica e scarica di un condensatore

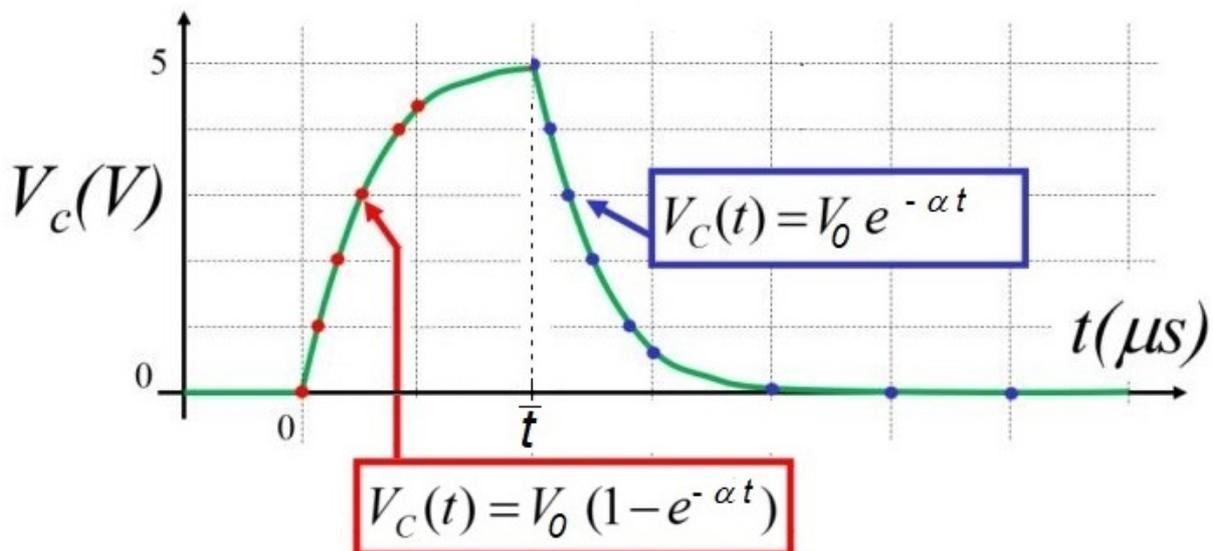
Introduzione

In questa esperienza di laboratorio si vuole analizzare il segnale che proviene dalla carica e scarica di un condensatore integrato in un circuito come in figura:



Il circuito è costituito da un generatore di tensione che genera una onda quadra periodica 0V..5V , da una resistenza R e da un condensatore C.

Poiché la frequenza con cui viene generata l'onda quadra ha un periodo di qualche ms, il processo di carica e scarica del condensatore è periodico e molto veloce per cui sarà possibile vederlo solo con un oscilloscopio. Ai capi del condensatore l'andamento della tensione sarà di questo genere :



I valori ottenuti sperimentalmente attraverso una campionatura rappresentano rispettivamente :
punti rossi : processo di carica del condensatore

punti blu : processo di scarica

Entrambe i processi possono essere interpolati e modellizzati matematicamente con delle funzioni esponenziali sopra riportate in cui il valore di α viene rappresentato in questa forma

$$\alpha = \frac{1}{RC}$$

Il fattore RC viene chiamato *tempo caratteristico del circuito* e misura la rapidità con cui un condensatore di capacità C si carica (e si scarica) attraverso un resistore di resistenza R.

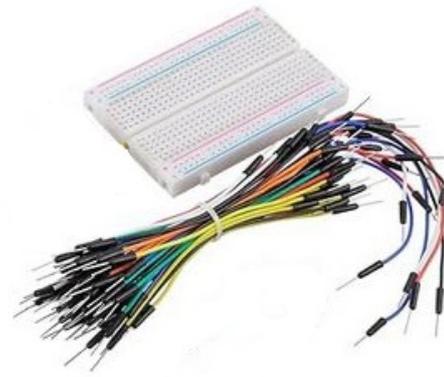
Elenco dei Materiali e degli Strumenti impiegati

Elenco dei materiali usati usati in laboratorio

Arduino UNO R3



Breadboard e cavi



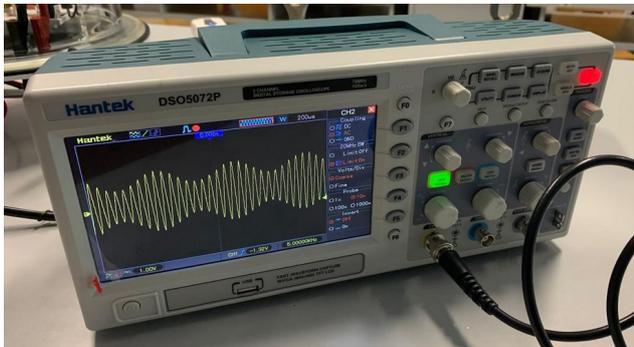
Condensatore elettrolitico



Resistenza elettrica (valore non noto)



Oscilloscopio Hankek DSO5072P



Introduzione Teorica Generale

Introduzione generale

Un circuito RC è un circuito elettrico con un resistore e un condensatore collegato in serie o parallelo. È un circuito fondamentale nell'elettronica ed è molto diffuso.

I condensatori, così come le resistenze, i transistor e le induttanze, sono tra i componenti più utilizzati nell'elettronica.

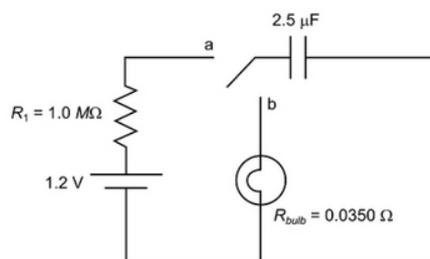
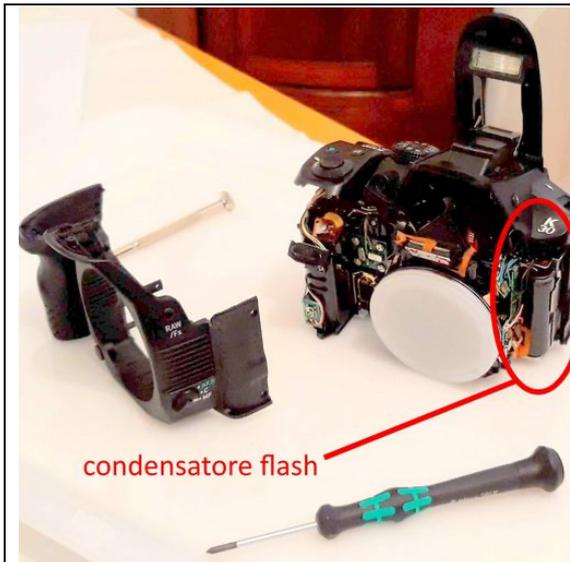
Un uso molto comune del circuito RC è nel flash delle macchine fotografiche professionali.

I flash utilizzano tubi allo xeno e sono collegati attraverso un circuito RC.

Quando la fotocamera è accesa, la batteria carica il condensatore. Quando il condensatore è completamente carico, solitamente indicato da una luce sulla fotocamera, è possibile premere il pulsante di scatto.

Ciò significa che il fotografo premendo lo scatto disconnette il condensatore dalla fonte di tensione e lo scarica sul flash. In termini tecnici :

- quando l'interruttore è sulla posizione (a) il condensatore si carica
- quando si preme il pulsante di scatto l'interruttore mette in collegamento il condensatore con il bulbo (posizione b), determinando l'accensione del flash
- Il lampo di luce scarica il condensatore in una minuscola frazione di secondo che dura un tempo brevissimo



Per capire il tempo di scarica e il tempo di ricarica del condensatore è necessario comprendere le caratteristiche fisiche dei componenti usati:

Resistori

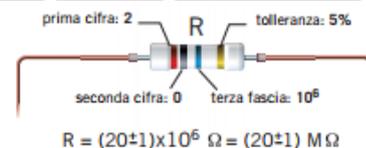
Il resistore è un componente elettrico che segue la prima legge di Ohm.

Spesso i resistori sono chiamati impropriamente resistenze e vengono rappresentati negli schemi elettrici con il seguente simbolo



Per riconoscere il valore della resistenza , misurata in Ohm , vengono riportate sulla sua superficie degli anelli colorati che opportunamente decodificati forniscono il valore numerico della resistenza

	anello 1 CIFRA	anello 2 CIFRA	anello 3 MULTIPLICATORE	anello 4 TOLLERANZA
NERO	-	0	1	-
MARRONE	1	1	10	-
ROSSO	2	2	10 ²	-
ARANCIO	3	3	10 ³	-
GIALLO	4	4	10 ⁴	-
VERDE	5	5	10 ⁵	-
BLU	6	6	10 ⁶	-
VIOLA	7	7	10 ⁷	-
GRIGIO	8	8	10 ⁸	-
BIANCO	9	9	10 ⁹	-
ORO	-	-	10 ²¹	5%
ARGENTO	-	-	10 ²²	10%

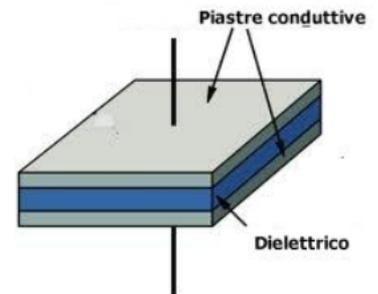


Condensatori

Il condensatore è un componente elettrico formato da due armature fatte in modo che quando una di esse riceve una carica Q l'altra acquista per induzione una carica $-Q$.

All'interno del condensatore ci sono due superfici metalliche chiamate armature, separate da uno strato di materiale isolante. Questo materiale isolante ha la funzione di impedire il movimento di cariche elettriche di segno opposto tra le armature, e si chiama dielettrico.

Tra i materiali impiegati per le lamine troviamo metalli come l'alluminio, il tantalio, la carta metallizzata e il carbone attivo. La bachelite, la formica (laminato plastico) e la cellulosa sono tra i materiali utilizzati invece per lo strato isolante.

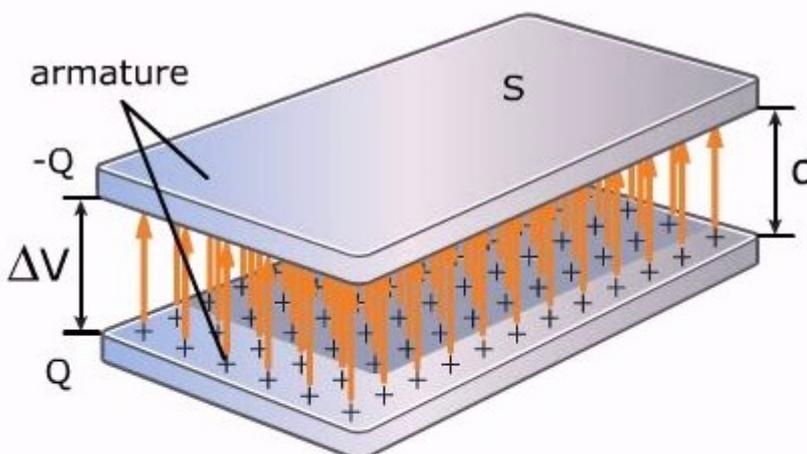
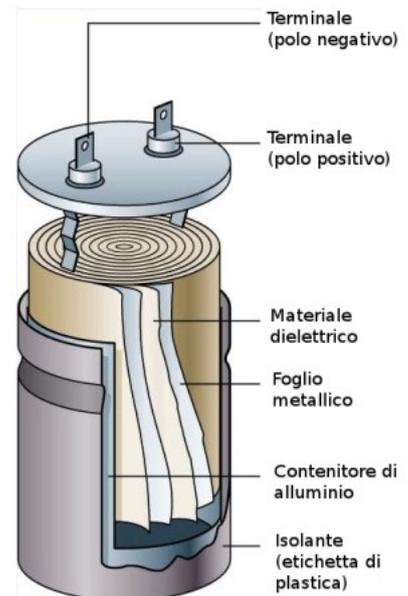


La carica Q presente sull'armatura è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale applicato ΔV tra le armature e il rapporto tra le due grandezze è costante ed è chiamato capacità del condensatore :

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

La capacità si misura in Farad.

Nel caso di un condensatore piano la capacità è direttamente proporzionale alla superficie delle armature ed inversamente proporzionale alla loro distanza :



$$\Delta V = E d = \frac{\sigma}{\epsilon} d = \frac{Q d}{S \epsilon}$$

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

I condensatori vengono rappresentati negli schemi elettrici con il seguente simbolo:



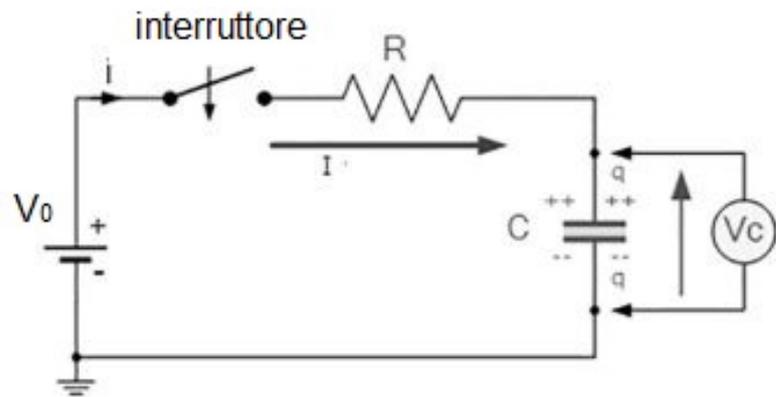
Il circuito RC

Il circuito RC è costituito da un generatore di tensione collegato in serie ad un resistore di resistenza R e ad un condensatore di capacità C .

Nel caso sperimentale il generatore è Arduino UNO che misura i valori di potenziale rispetto ad un riferimento comune GND ovvero la terra che per semplicità indichiamo con V_0 .

Attraverso il movimento in apertura e chiusura dell'interruttore presente nel circuito è possibile misurare la carica e la scarica del condensatore in funzione del tempo mediante la misura della differenza di potenziale alle sue estremità.

Nelle condizioni iniziali ovvero quando il circuito è aperto da molto tempo la differenza di potenziale ai capi del condensatore è nulla.



Carica del condensatore in un circuito RC

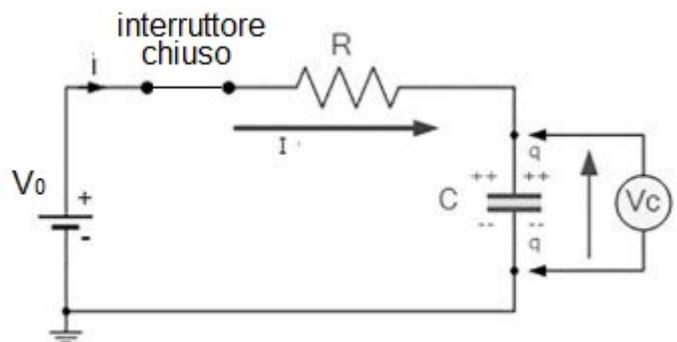
Quando il circuito viene chiuso tramite l'azionamento dell'interruttore il condensatore inizia a caricarsi.

Applicando la seconda legge di Kirchhoff alla maglia :

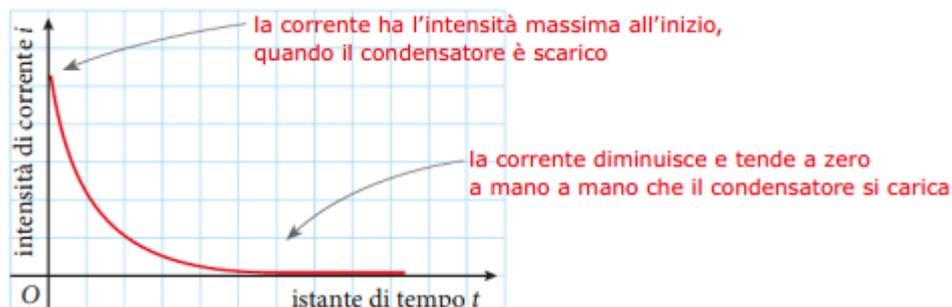
$$V_0 - R i - V_c = 0$$

Per cui:

$$V_c = V_0 - R i$$



Se misurassimo l'intensità di corrente i con un amperometro nell'istante in cui viene chiuso l'interruttore noteremo che essa ha un andamento decrescente come in figura :



La corrente è massima all'inizio perché il condensatore è scarico. Con l'acquisizione della carica sulle armature la corrente decresce fino ad azzerarsi.

La funzione che descrive l'esponenziale in figura in funzione del tempo t è la seguente:

$$i(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

Il fattore RC è chiamato tempo caratteristico del circuito e misura la rapidità con cui un condensatore si carica attraverso il resistore di resistenza R .

Sostituendo $i(t)$ nella formula

$$V_c = V_0 - R i$$

Si ricava

$$V_c = V_0 - R \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

Poiché il fattore RC appare nell'esponenziale ne deriva che se $t = 5RC$ il valore dell'esponenziale è praticamente nullo ($e^{-5} = 0.0067379$) per cui in quel momento il condensatore ha terminato il processo di carica.

In elettronica il fattore RC viene indicato con la lettera greca τ (tau):

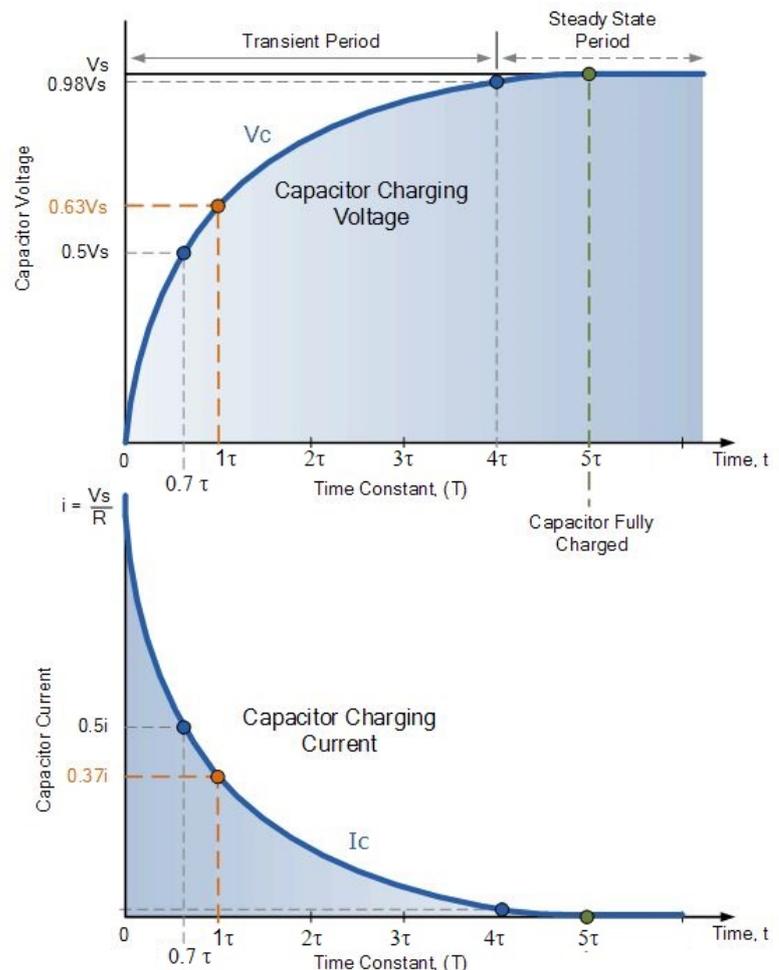
$$\tau = RC \quad \text{tempo caratteristico del circuito}$$

e serve a valutare la durata del transitorio.

Rappresentando in grafico la fase di carica dell'intensità $i(t)$ e la tensione $V(t)$ misurata ai bordi del condensatore si osservano i seguenti punti caratteristici

Tabella di carica

Valore $\tau = RC$	Percentuale di carica	
	Tensione	Corrente
$t = 0.5 \tau$	39.3%	60.7%
$t = 0.7 \tau$	50.3%	49.7%
$t = 1 \tau$	63.2%	36.8%
$t = 2 \tau$	86.5%	13.5%
$t = 3 \tau$	95.0%	5.0%
$t = 4 \tau$	98.2%	1.8%
$t = 5 \tau$	99.3%	0.7%



Scarica del condensatore in un circuito RC

Se apriamo il circuito RC precedentemente caricato, ovvero apriamo l'interruttore, il condensatore non essendo più alimentato si scarica a terra con la corrente invertita rispetto alla fase di carica. Applicando ancora la seconda legge di Kirchhoff alla maglia:

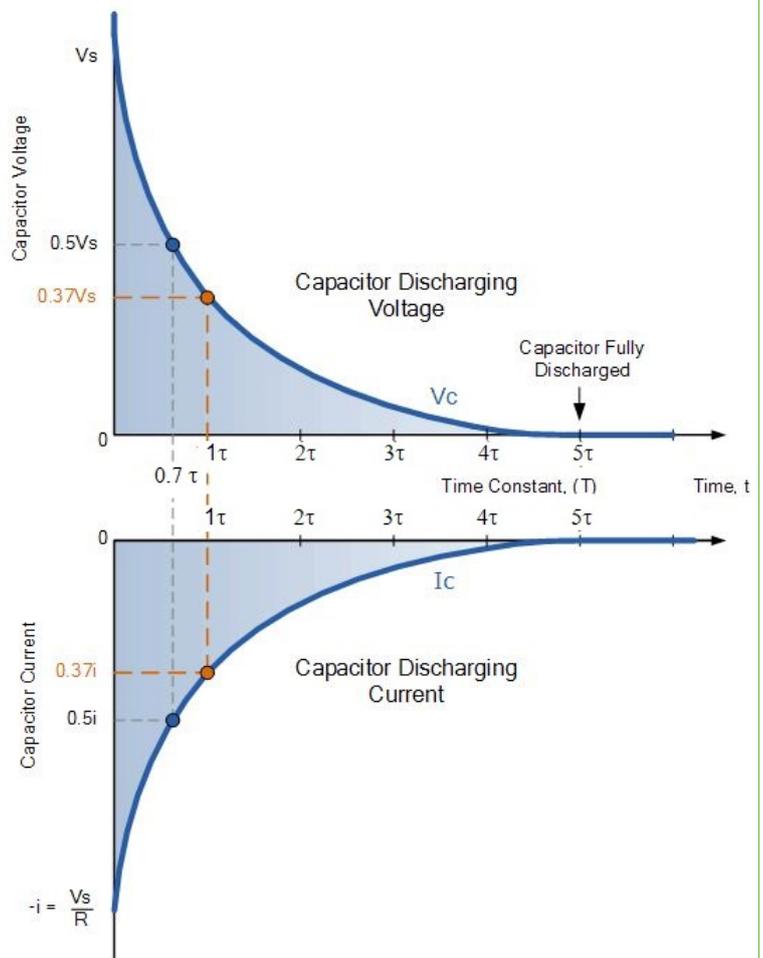
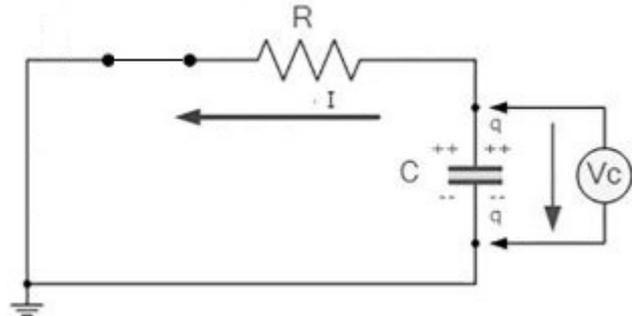
$$-R i + V_c = 0$$

Per cui:

$$V_c = R i$$

Se misurassimo l'intensità di corrente i con un amperometro nell'istante in cui viene escluso il generatore noteremo che essa ha un andamento decrescente rappresentato in figura ed espresso dalla formula esponenziale:

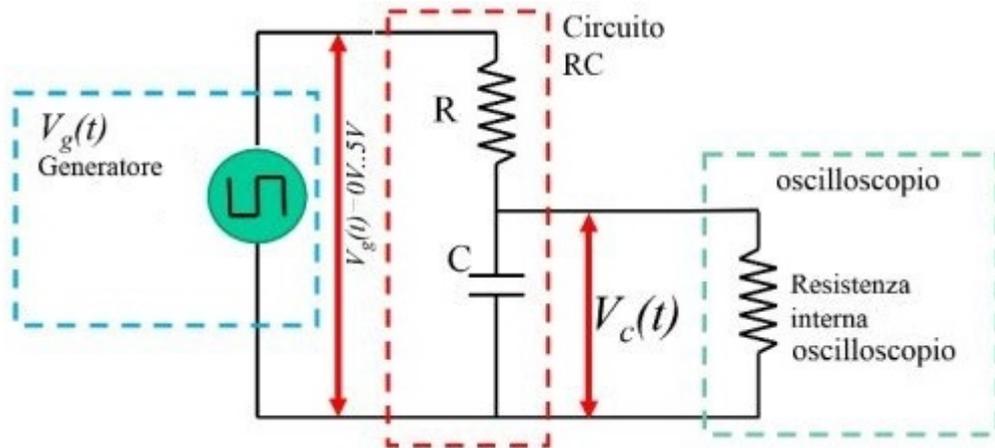
$$V_c = R i = R \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$



Valore $\tau = RC$	Percentuale di scarica	
	Tensione	Corrente
$t = 0.5 \tau$	60.7%	39.3%
$t = 0.7 \tau$	49.7%	50.3%
$t = 1 \tau$	36.8%	63.2%
$t = 2 \tau$	13.5%	86.5%
$t = 3 \tau$	5.0%	95.0%
$t = 4 \tau$	1.8%	98.2%
$t = 5 \tau$	0.7%	99.3%

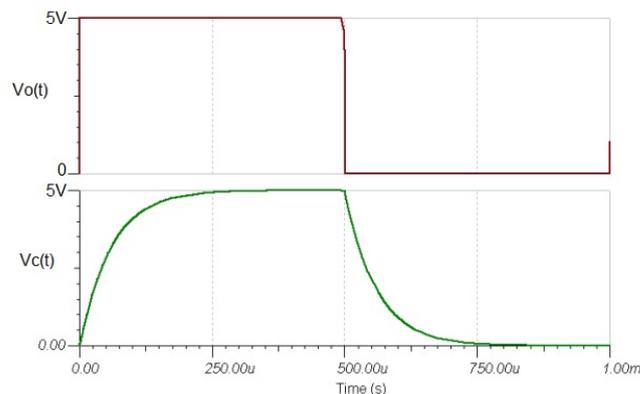
Generatore di onda quadra e oscilloscopio

In presenza di un processo di carica e scarica estremamente rapido, è imprescindibile l'utilizzo di un oscilloscopio per monitorare l'andamento temporale della tensione.



Il circuito RC comprende un generatore di tensione che produce un'onda quadra periodica tra 0V e 5V, una resistenza R e un condensatore C. L'Arduino UNO funge da generatore di tensione e può essere programmato per emettere un'onda quadra periodica come mostrato nel diagramma. Poiché la frequenza dell'onda quadra ha un periodo di alcuni millisecondi, il processo di carica e scarica del condensatore avviene in modo ciclico e molto rapido, rendendolo visibile solo tramite un oscilloscopio.

Andamento teorico onda quadra 0..5V e carica e scarica del condensatore



Visualizzazione su oscilloscopio del modello sopra in grafico



Misura della costante di tempo del circuito

Per misurare la costante di tempo del circuito $\tau = RC$ è necessario usare:

- per il processo di carica la regressione semilogaritmica separando il termine esponenziale e eseguendo il logaritmo naturale dei due membri, si ottiene la relazione :

$$V_c(t) = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

in una retta di equazione:

$$\frac{V_c}{V_0} = \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \rightarrow e^{-\frac{t}{RC}} = \left(1 - \frac{V_c}{V_0} \right) \rightarrow \ln \left(1 - \frac{V_c}{V_0} \right) = -\frac{t}{RC} \rightarrow y = mx$$

dove $m = -\frac{1}{RC}$ è il coefficiente angolare delle retta

- per il processo di scarica la regressione lineare separando il termine esponenziale e eseguendo il logaritmo naturale dei due membri, si ottiene la relazione:

$$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

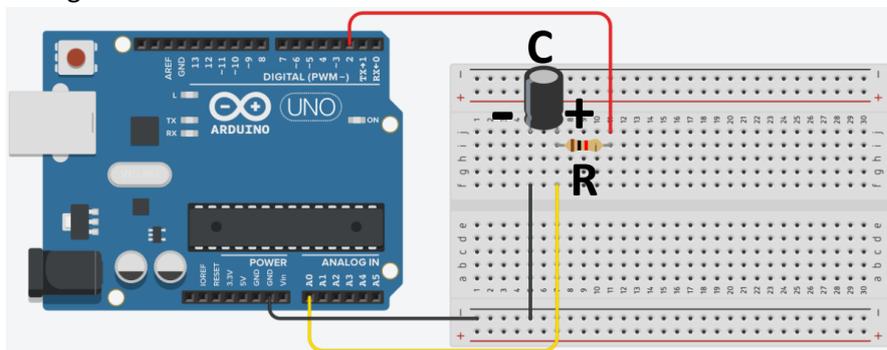
in una retta di equazione:

$$\frac{V_c}{V_0} = e^{-\frac{t}{RC}} \rightarrow \ln \left(\frac{V_c}{V_0} \right) = -\frac{t}{RC} \rightarrow \ln V_c = -\frac{t}{RC} + \ln V_0 \rightarrow y = mx + q$$

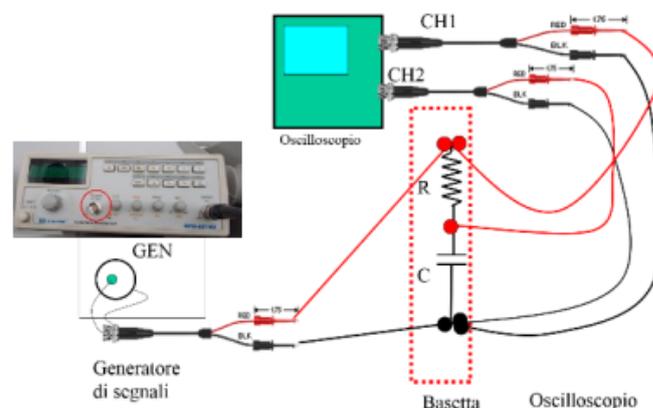
dove $m = -\frac{1}{RC}$ è il coefficiente angolare delle retta e $q = \ln V_0$

Esecuzione dell'esperienza e descrizione dei risultati ottenuti

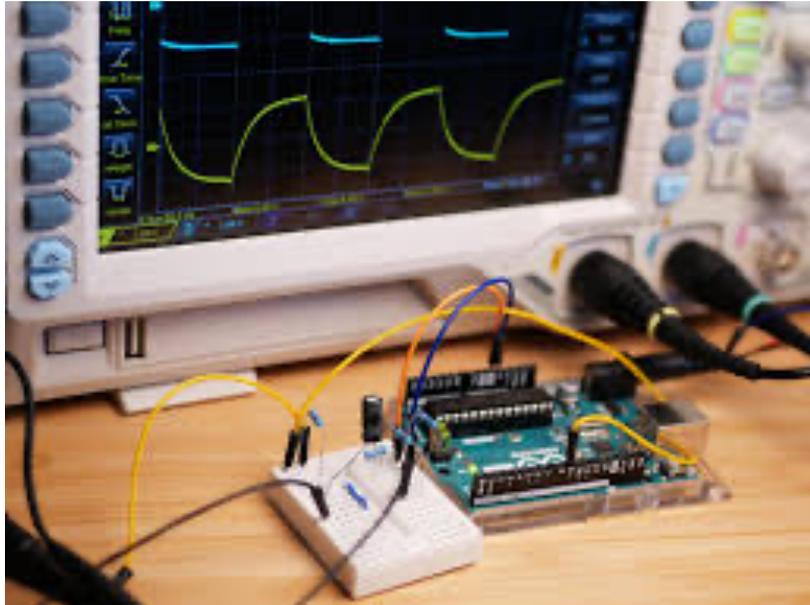
Il circuito RC è stato realizzato in laboratorio utilizzando Arduino UNO e i relativi componenti elettrici disponendoli come in figura



La tensione ai capi del condensatore viene misurata collegando i morsetti dell'oscilloscopio in parallelo al condensatore (canale CH2) come in figura

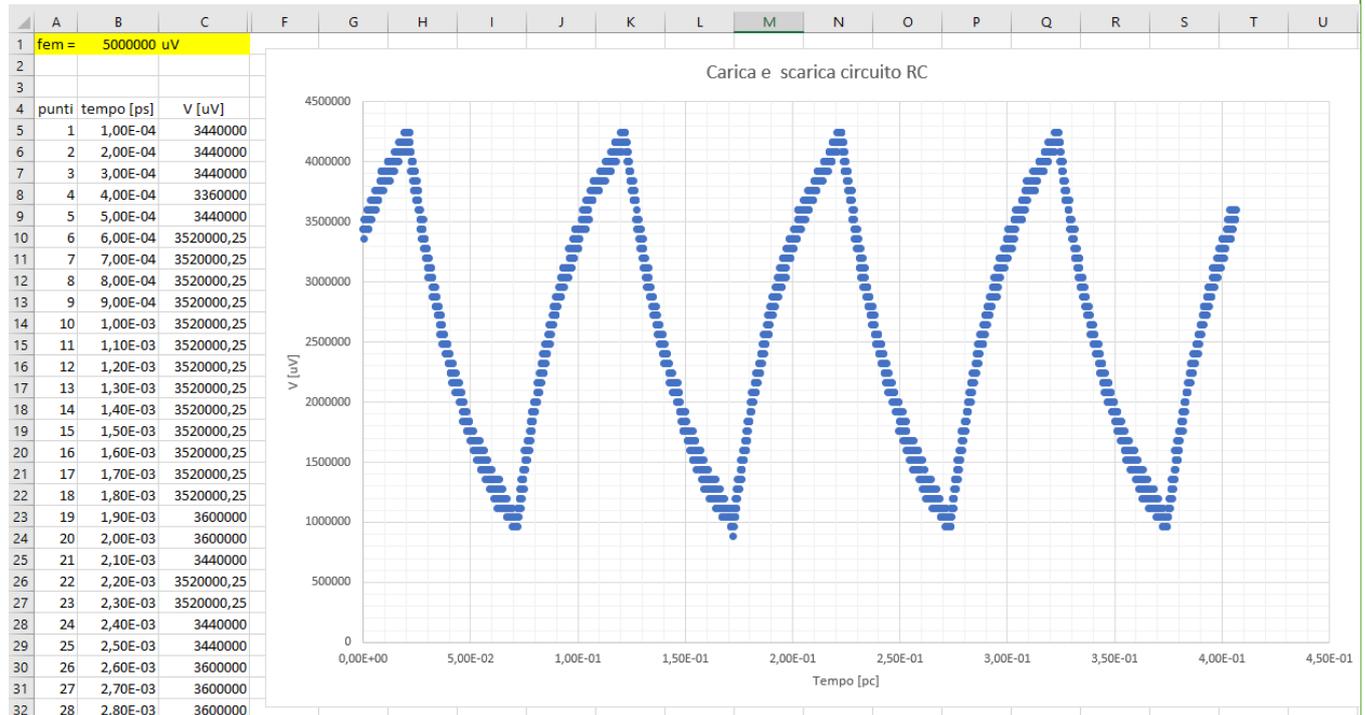


I dati campionati vengono visualizzati sull'oscilloscopio



E successivamente salvati su chiavetta USB in formato testo

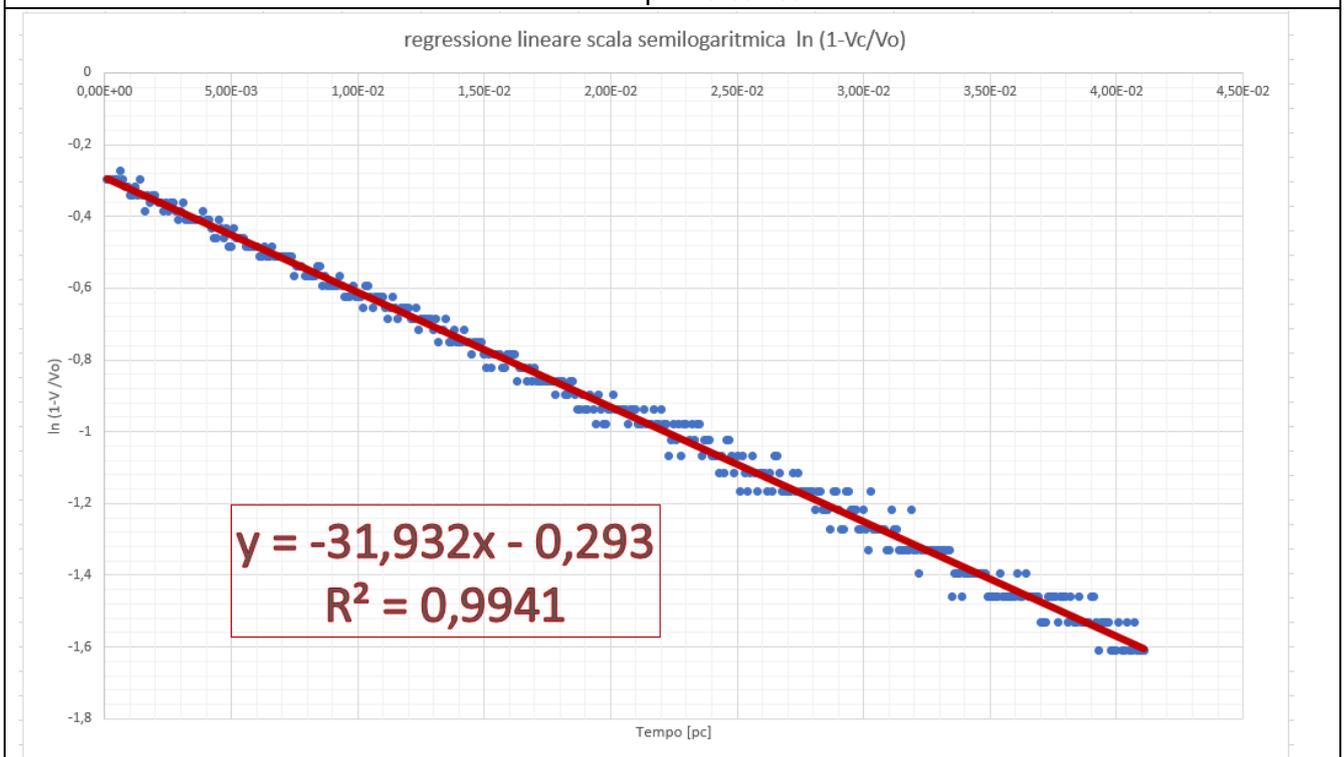
I dati raccolti sono 4064 punti e se importati in Excel possono essere rappresentati nel seguente grafico:



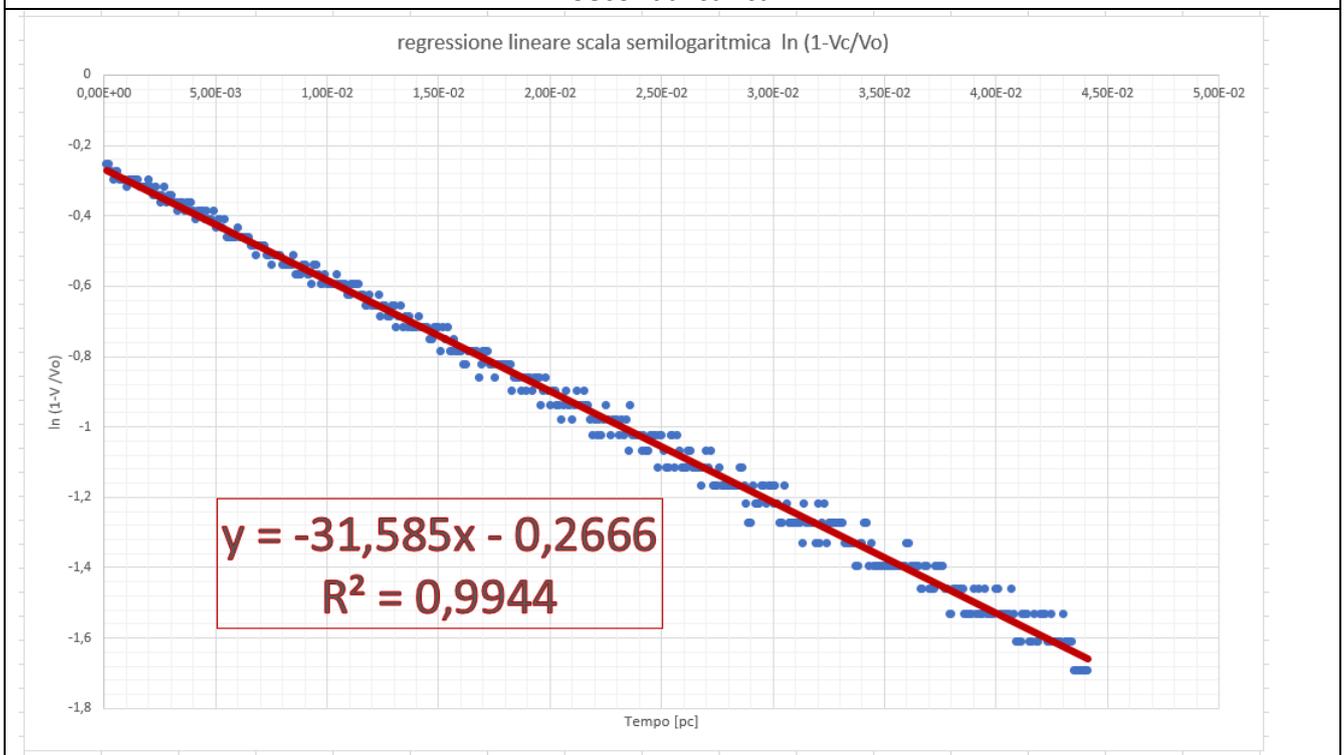
Per ricavare il valore $m = -\frac{1}{RC}$ è necessario separare e studiare tre processi di carica e tre processi di scarica.

I calcoli sono stati svolti in Excel di cui si riportano i grafici delle regressioni per ogni processo di carica e scarica del condensatore:

prima carica

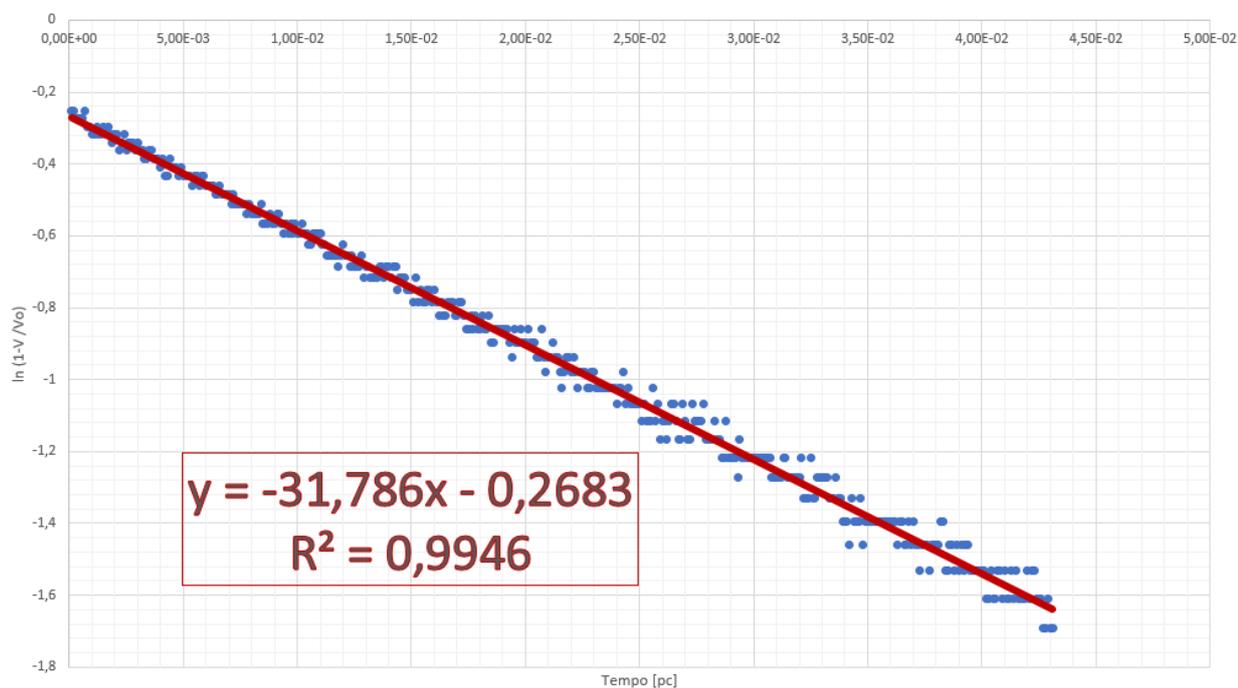


Seconda carica



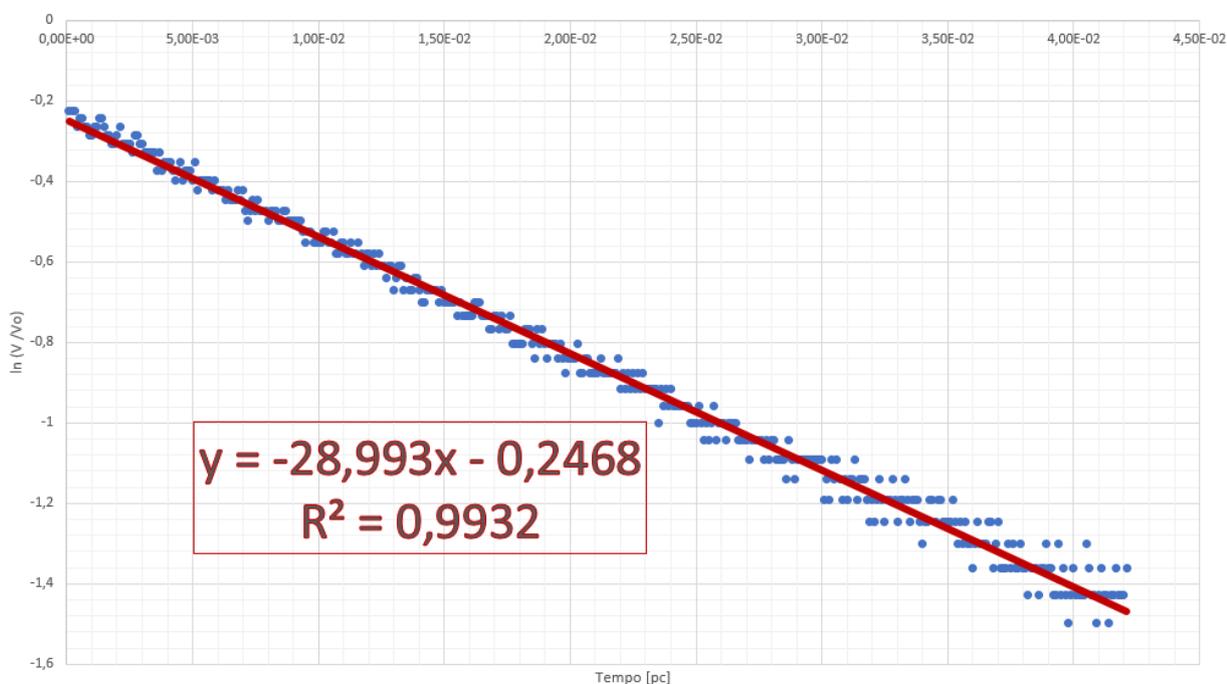
terza carica

regressione lineare scala semilogaritmica $\ln(1-V/V_0)$



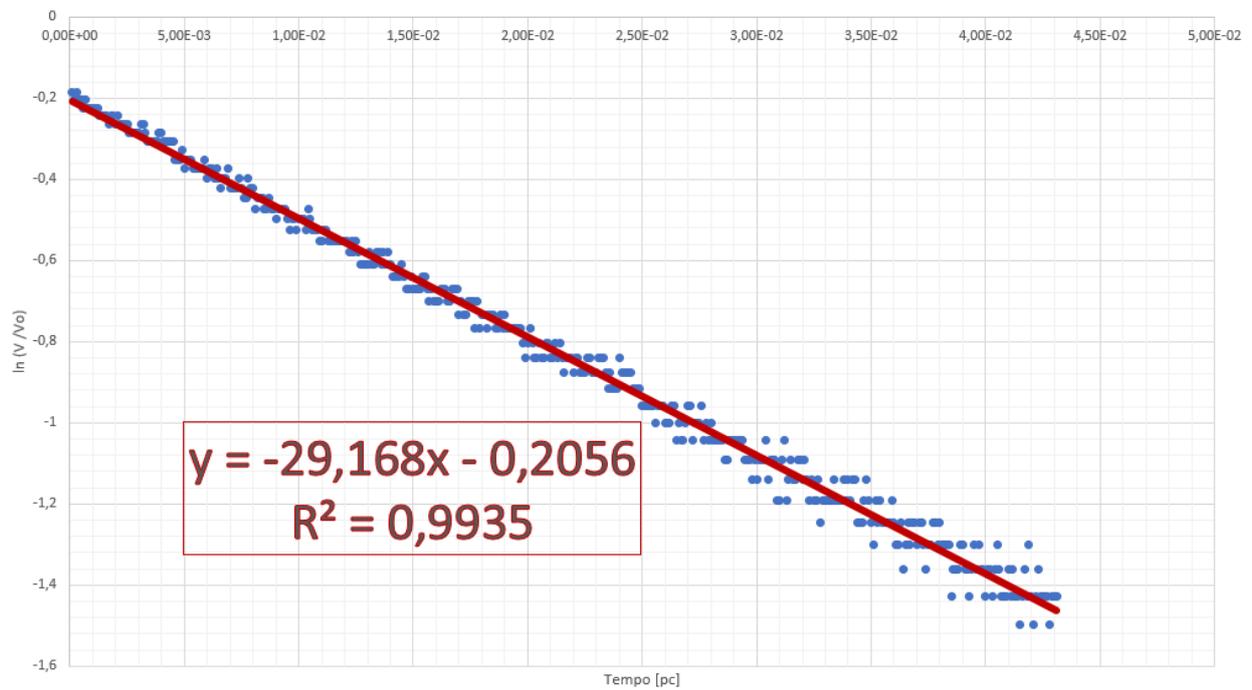
Prima scarica

regressione lineare scala semilogaritmica $\ln(V/V_0)$



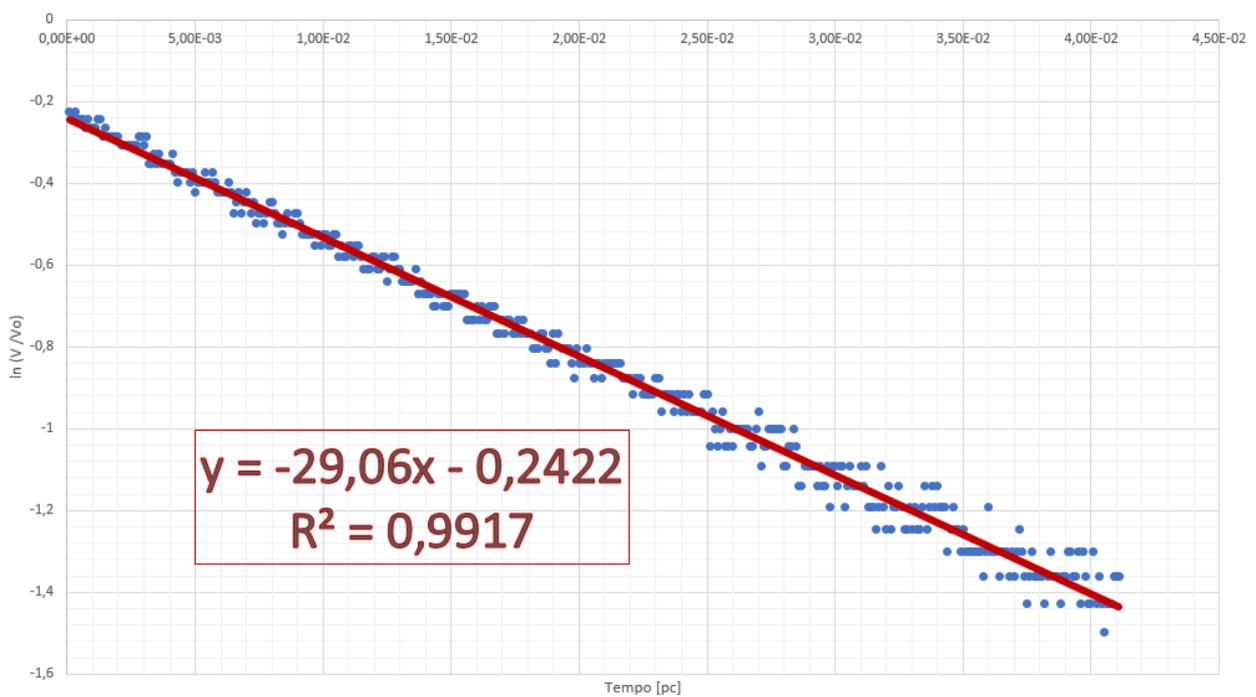
Seconda scarica

regressione lineare scala semilogaritmica $\ln(V/V_0)$



Terza scarica

regressione lineare scala semilogaritmica $\ln(V/V_0)$



Riassumo in tabella i valori di m ricavati e applicando la formula inversa ricaviamo $\tau = RC = -\frac{1}{m}$

	m	m	$\tau = RC = -\frac{1}{m}$ [ms]
Prima carica	-31.932		31.316
Prima scarica		-28.993	34.491
Seconda carica	-31.585		31.660
Seconda scarica		-29.168	34.284
Terza carica	-31.786		31.460
Terza scarica		-29.060	34.411
Media	-31.760	-29.073	32.933

Conclusioni

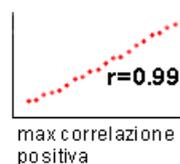
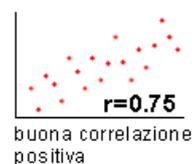
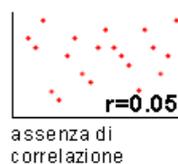
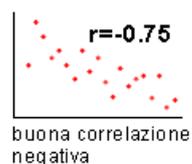
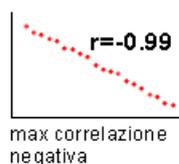
Il valore medio di $\tau = RC$ risultante è di circa 33 ms

In ogni calcolo abbiamo ottenuto un valore di correlazione R^2 veramente buono nelle singole fasi di carica e scarica come qui descritto

Interpretazione del coefficiente r



Esempi:



La variazione percentuale di RC rilevato tra la carica e la scarica è di :

$$var \% = \frac{31.76 - 29.073}{31.93} 100 = 8.4\%$$

Si ipotizza che è un valore dovuto ai rumori/disturbo sul circuito elettrico rilevato dall'oscilloscopio. Lo consideriamo un valore accettabile in quanto entro il 10%

Bibliografia

Appunti alle lezioni di fisica
Walker -Corso di Fisica 1 – libro di testo classe quarta