



Esercitazione 08: Campionamento e ricostruzione di un segnale

Brognoli Roberto, Garbi Luca, Libardi Gabriele

Issue: 1

Date: September 11, 2020

University of Trento
Department of Physics
Via Sommarive 14, 38123
Povo (TN), Italy

Introduzione

L'obiettivo dell'esercitazione è quello di realizzare e studiare il campionamento mediante un dispositivo *sample and hold*. Nella prima parte dell'esercitazione verrà implementato un oscillatore a rilassamento al fine di generare il segnale digitale richiesto dall'operazione di campionamento. Nella seconda parte, un segnale verrà invece prima campionato e poi ricostruito a partire dalla sequenza campionata.

1 Setup

1.1 Materiali

- Generatore di funzione d'onda *Rigol DG1022* (impedenza nominale in uscita $R_s = 50 \Omega$);
- multimetro digitale (DMM) *Agilent 34410A*;
- oscilloscopio *Agilent DSOX2002A*;
- cavi coassiali BNC-banana e BNC-BNC;
- resistori e capacitori vari;
- 1 Op-Amp uA741, 1 integrato *sample and hold* LF398;
- 1 transistor npn 2N2222, 1 trimmer da $100 \text{ k}\Omega$.

1.2 Procedure di misura

In questa esercitazione sia l'Op-Amp che l'integrato LF398 sono alimentati fornendo ai rispettivi pin di alimentazione $+12 \text{ V}$ e -12 V , limitando ciascun ramo dell'alimentatore a 20 mA . Viene innanzitutto costruito il circuito in figura (1) utilizzando un Op-Amp uA741, un trimmer da $100 \text{ k}\Omega$ sul ramo di feedback negativo e un transistor npn 2N2222. Esso

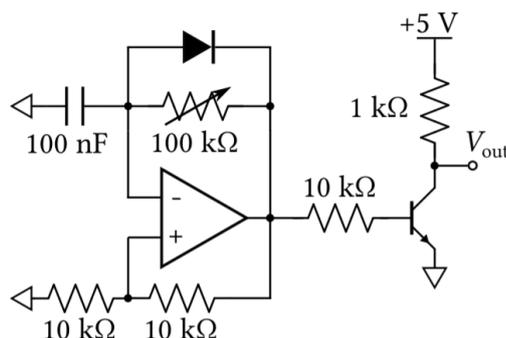


Figure 1: Generatore di un segnale digitale per il controllo del *sample and hold*.

genera un segnale TTL adatto a pilotare un *sample and hold*. Il trimmer viene regolato in modo da ottenere un segnale di frequenza $f = 1 \text{ kHz}$ e vengono misurati il duty-cycle e l'ampiezza del segnale in uscita.

Il segnale in uscita del circuito precedente viene utilizzato come V_{logic} del *sample and hold* raffigurato in figura (2). Esso viene realizzato tramite un integrato LF398 e una capacità

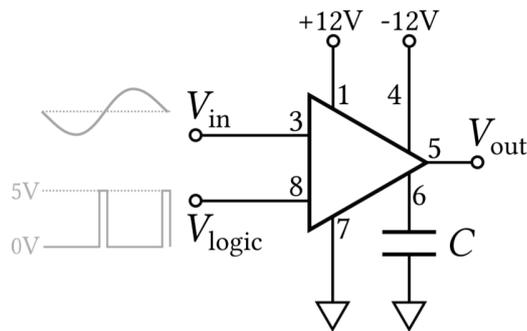


Figure 2: Sample and hold.

$C = (10 \pm 3) \text{ nF}$. Viene verificato il funzionamento del circuito per un segnale sinusoidale in ingresso con frequenza 100 Hz e 1 kHz. Dopodiché, usando il generatore di funzione come V_{logic} , vengono campionati segnali sinusoidali e triangolari a frequenze di 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz e 900 Hz e ricostruiti tramite le relazioni riportate nella sezione di analisi.

2 Descrizione e discussione dei risultati

L'analisi dei dati è suddivisa in tre sotto sezioni. Nella prima viene presentata l'implementazione del generatore di segnale digitale per il controllo del *sample and hold* utilizzato nella seconda parte. Infine sono esposti i risultati della ricostruzione dei segnali campionati.

Non viene riportata una sezione per la conclusione in quanto i risultati vengono già esaminati e commentati in questa sezione.

2.1 Generatore di segnale digitale

Il circuito in figura (1) è un'implementazione di oscillatore a rilassamento con un transistor, il cui compito è quello di limitare le tensioni in uscita e adattarle a quelle richieste dalla logica TTL (0-5 V). Sfruttando l'output del comparatore (in questo caso un op-amp *uA741*) infatti si riesce a mandare in interdizione o in regime attivo il BJT. In questo modo in uscita sul collettore abbiamo rispettivamente un segnale a 5 V o 0 V. A differenza di un semplice

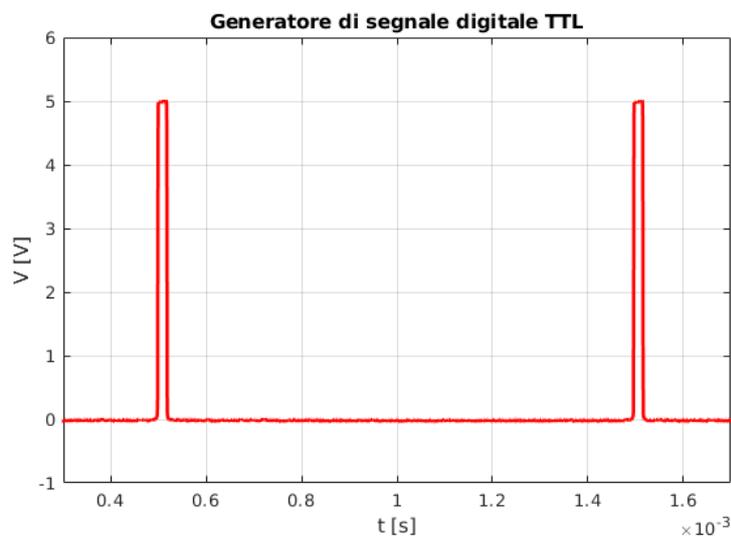


Figure 3: Segnale TTL generato.

oscillatore a rilassamento qui viene utilizzato anche un diodo in modo che quando l'output dell'operazionale è in saturazione positiva il diodo è in interdizione, mentre quando si ha saturazione negativa il diodo in zona attiva è in parallelo al trimmer. In questo modo la resistenza del circuito RC serie cambia per le due saturazioni e riusciamo ad avere degli impulsi in output, cambiando il *duty-cycle* dell'onda quadra in uscita. Regoliamo allora il trimmer in modo da ottenere l'output di figura (3).

Il valore di resistenza utilizzato è $R = (12.75 \pm 0.01) \text{ k}\Omega$. Otteniamo così un segnale di frequenza 1 kHz, con *duty-cycle* di $20 \mu\text{s}$ e ampiezza di 5 V.

2.2 Sample and hold

Il circuito di figura (2) utilizza gli impulsi logici del generatore della sezione precedente per effettuare il sampling del segnale V_{in} in ingresso. Utilizzando come segnale in entrata un senoide di frequenza $f_{in} = 100 \text{ Hz}$ otteniamo il campionamento che si può osservare in figura (4). Essendo la frequenza di campionamento 10 volte maggiore di quella campionata notiamo che per ogni periodo di senoide ci sono stati 10 punti acquisiti dal *sample and hold*. Portando invece la frequenza f_{in} vicino ad 1 kHz invece si ottiene in segnale in figura (5). Questo segnale risulta costante poiché evidentemente le acquisizioni del *sample and hold*

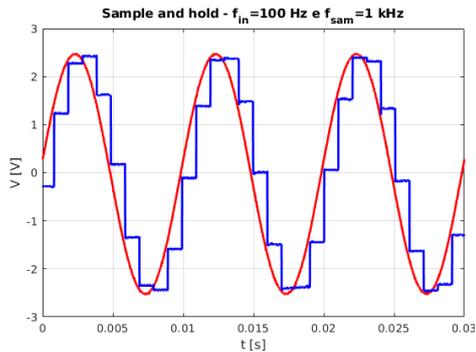


Figure 4: In rosso V_{in} , in blu V_{out} .

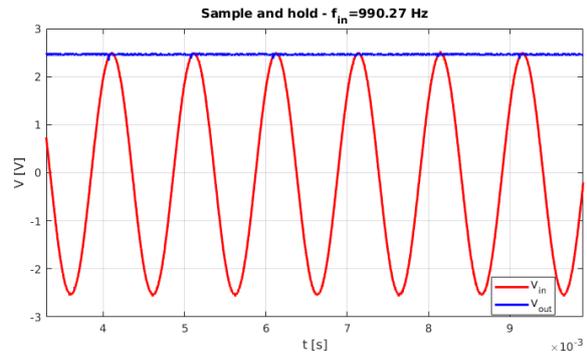


Figure 5: In rosso V_{in} , in blu V_{out} .

avvengono sempre quando il senoide da campionare ha compiuto un periodo completo e si ritrova nello stesso punto dell'acquisizione precedente. Il fatto che ciò avvenga ad una frequenza di 990.27 Hz è dato da una misura della frequenza iniziale per il V_{logic} soltanto approssimata in quanto effettuata con i cursori dell'oscilloscopio in laboratorio. Quello che possiamo notare invece è che la stabilità del valore di f_{in} necessario per osservare un segnale pressoché costante in output è molto precaria. Infatti lasciando il circuito acceso e indisturbato anche solo per un minuto notiamo che iniziano già ad esserci varie fluttuazioni che causano instabilità. Queste fluttuazioni sono tipicamente date dal rumore termico sul circuito che genera il segnale logico.

2.3 Ricostruzione del segnale campionato

Utilizziamo ora il generatore di forme d'onda per fornire il segnale logico V_{logic} (0-5 V) di frequenza $f_s = 1 \text{ kHz}$ e larghezza degli impulsi pari a $20 \mu\text{s}$. Misuriamo il valore di frequenza f_{in} minimo per il quale il segnale campionato è costante. Vediamo che, al contrario del caso precedente, il segnale rimane costante per svariati minuti anche quando f_{in} non è precisamente 1 kHz ma anche per valori di frequenza che si discostano da questo di decine di mHz. Quello che ci aspettiamo è che comunque su un periodo di tempo più lungo di un paio di minuti anche per queste frequenze il segnale campionato non sia perfettamente costante.

Campioniamo successivamente un segnale sinusoidale di frequenza pari a 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz e 900 Hz. Troviamo l'esempio a 50 Hz in figura (6), mentre in figura (7) è raffigurata la sua ricostruzione. La ricostruzione di questo segnale è stata effettuata attraverso la

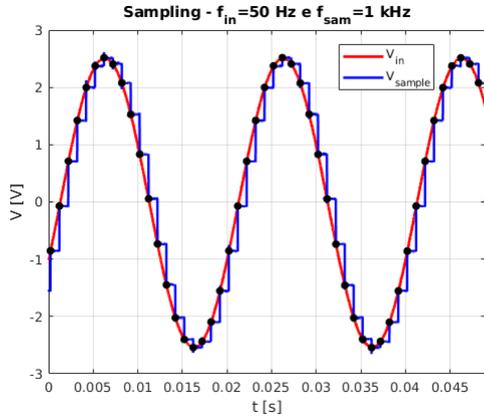


Figure 6: Campionamento segnale sinusoidale.

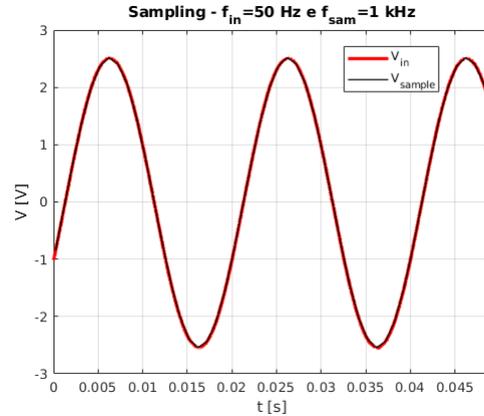


Figure 7: Ricostruzione segnale sinusoidale.

formula

$$r(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(nT)k(t-nT) \quad (1)$$

dove T è il periodo di campionamento (per noi pari a 1 ms), $x(nT)$ sono i nostri campionamenti e $k(t)$ è il kernel utilizzato per la ricostruzione. In questo caso particolare è stato fatto uso di un'interpolazione lineare e quindi di un kernel triangolare:

$$k(t) = \begin{cases} \frac{T-|t|}{T} & \text{per } |t| \leq T, \\ 0 & \text{per } |t| > T \end{cases} \quad (2)$$

Sebbene nel caso particolare della figura precedente il segnale ricostruito corrisponda bene con quello campionato, nelle figure (8) e (9), per i segnali a 200 Hz e 900 Hz vediamo una corrispondenza non ottima.

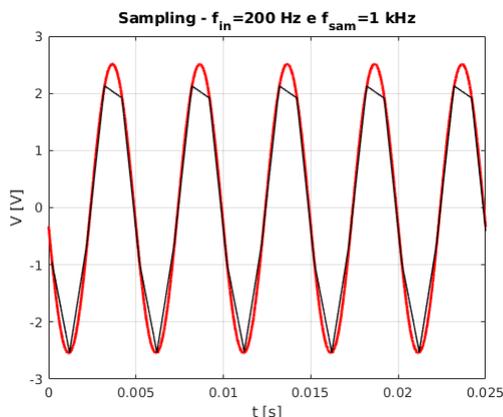


Figure 8: Ricostruzione segnale sinusoidale.

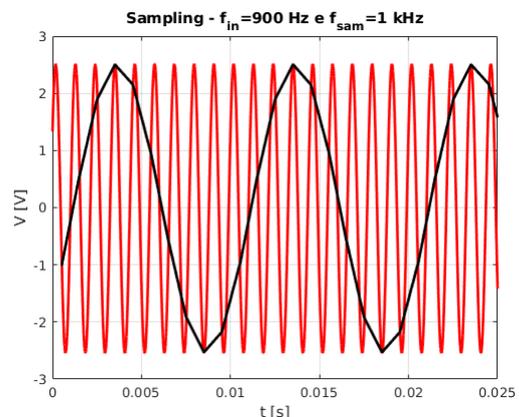


Figure 9: Ricostruzione segnale sinusoidale.

Soprattutto nel secondo caso in cui si può testimoniare un effetto di aliasing. Un fenomeno del tutto analogo viene riscontrato anche quando il segnale da campionare è un'onda triangolare anziché sinusoidale. C'è però da dire che, ancora, per la frequenza

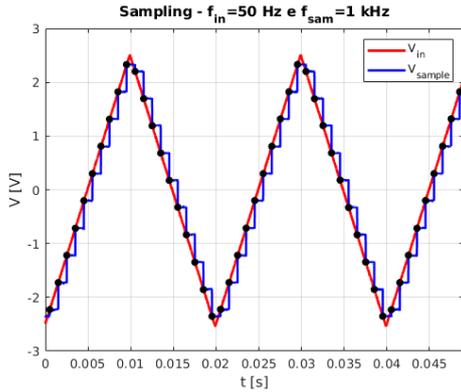


Figure 10: Campionamento segnale triangolare.

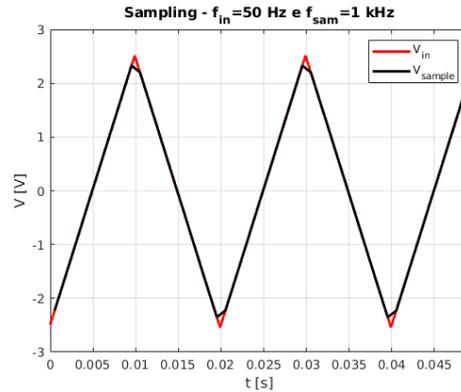


Figure 11: Ricostruzione segnale triangolare.

di 50 Hz il campionamento e la ricostruzione sono affidabili come si può notare dalle figure (10) e (11). Di seguito sono infine riportate quattro ricostruzioni degli stessi segnali sinusoidali e triangolari utilizzati in precedenza. L'unica differenza è il kernel utilizzato per la ricostruzione, che questa volta è

$$k(t) = \text{sinc}\left(\frac{\pi t}{T}\right) \quad (3)$$

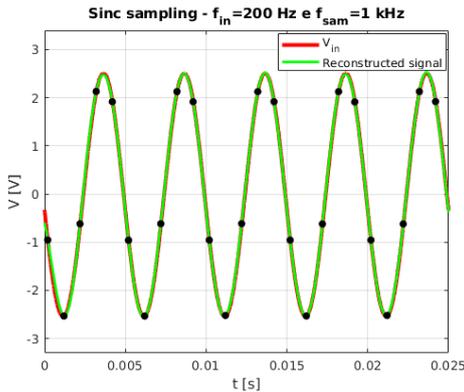


Figure 12: Ricostruzione segnale sinusoidale.

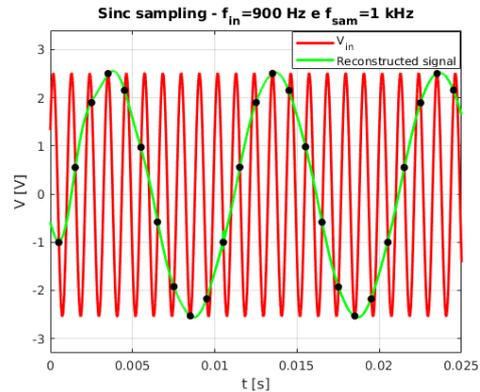


Figure 13: Ricostruzione segnale sinusoidale.

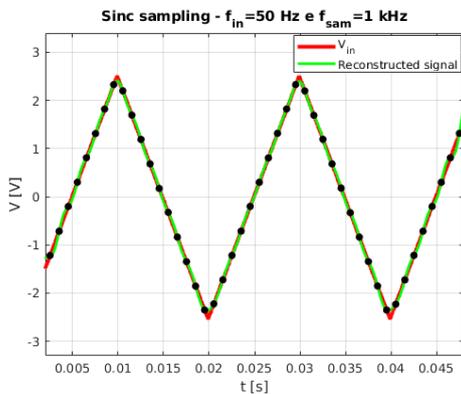


Figure 14: Ricostruzione segnale triangolare.

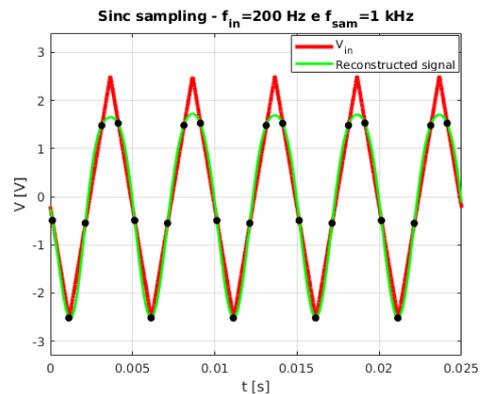


Figure 15: Ricostruzione segnale triangolare.

La ricostruzione a 200 Hz (Fig.12) è nettamente migliorata soprattutto per quanto riguarda le creste e i ventri. Per il segnale a 900 Hz osserviamo però ancora il fenomeno di

aliasing (Fig.13). Una maggiore difficoltà sui punti di cambio pendenza nella ricostruzione può invece essere notata sui segnale triangolari a 50 e 200 Hz (Fig.14 e 15).