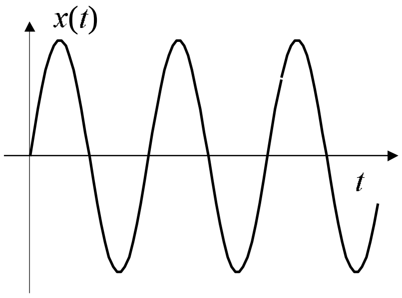
# Campionamento

- Posizione del problema
- Campionamento uniforme
- Ricostruzione
- Teorema del campionamento
- Significato della formula di ricostruzione
- Sistema di conversione A/D
  - sample & hold
  - quantizzazione
- Sistema di conversione D/A

Università degli studi di Padova
Facoltà di Ingegneria

# Campionamento: problema

**problema**: trasformare un segnale analogico in un flusso numerico di dati senza perdita di informazione




0, 0.7, -0.6, 0.1, 0.5, ...

- regola di trasformazione ?
- ricostruzione segnale di partenza ?

Università degli studi di Padova
Facoltà di Ingegneria

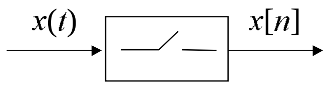


Università degli studi di Padova
Facoltà di Ingegneria

# Campionamento uniforme

$x(t)$: segnale tempo-continuo

**segnale campionato** (sequenza):

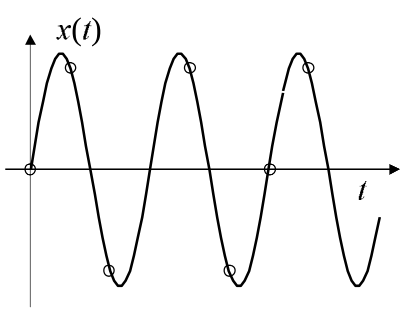


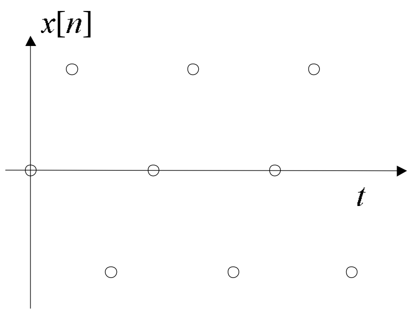

$$x[n] = x(nT), \quad n = \ldots -1, 0, 1, \ldots$$

- il flusso di dati numerici, ovvero il segnale campionato si ottiene considerando i valori assunti dal segnale tempo-continuo di ingresso in istanti temporali equispaziati del tipo ..., $-2T$, $-T$, 0, $T$, $2T$,…
- l’intervallo di tempo $T$ prende il nome di **intervallo (o periodo) di campionamento**
- $F_C = 1/T$ prende il nome di **frequenza di campionamento**



# Campionamento uniforme




$x(t)$: segnale tempo-continuo

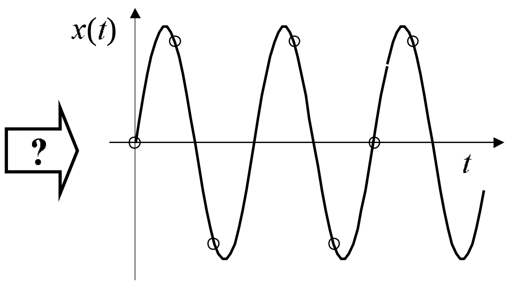
$x[n] = \ldots, 0, 0.7, -0.6, 0.1, 0.5, \ldots$
(flusso di dati numerici)

# Ricostruzione

**problema inverso**

assegnata una sequenza $x[n]$, è possibile ricostruire il segnale tempo-continuo di partenza $x(t)$ ?

..., 0, 0.7, -0.6, 0.1, 0.5, ...






# Teorema del campionamento

assegnata una sequenza $x[n]$

- ottenuta dal campionamento uniforme di un segnale tempo-continuo $x(t)$, il quale è a banda limitata e con larghezza di banda $B$ (banda = ampiezza intervallo t.c. FT di $x(t)$, $X(f) \neq 0$)
- se la frequenza di campionamento $F_C = 1/T$ è tale che

$$F_C \geq B$$

**allora**

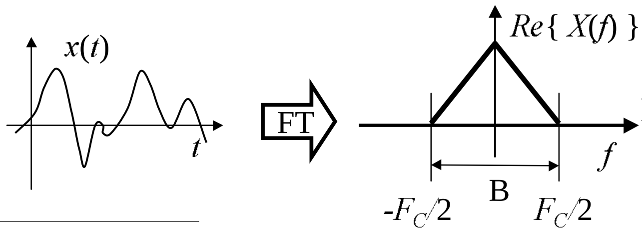
- è possibile ricostruire il segnale di partenza $x(t)$ a partire dalla sequenza di campioni $\{x[n],\ n \in \mathrm{Z}\}$
- formula di ricostruzione $$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x[n] \frac{sin \pi F_c (t - nT)}{\pi F_c (t - nT)}$$

# Teorema del campionamento

$x(t)$: segnale tempo continuo $\rightarrow$ $X(f)$ trasformata di Fourier (FT)

$x(t)$ reale $\Rightarrow$

- $X(f)$ a simmetria hermitiana ( $X(-f) = X^*(f)$ )
- larghezza di banda, $B$, = 2 volte massima componente in frequenza di $x(t)$
- $F_C \geq B$ significa frequenza di campionamento > 2 volte massima componente in frequenza di $x(t)$



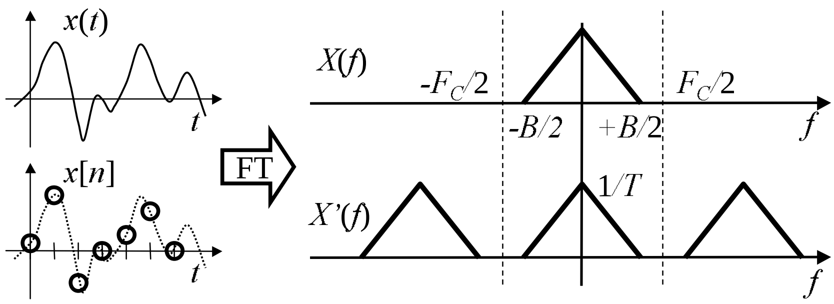

segnale a banda limitata



# Teorema del campionamento

al campionamento nel tempo corrisponde l'operazione di periodicizzazione in frequenza della corripondente trasformata

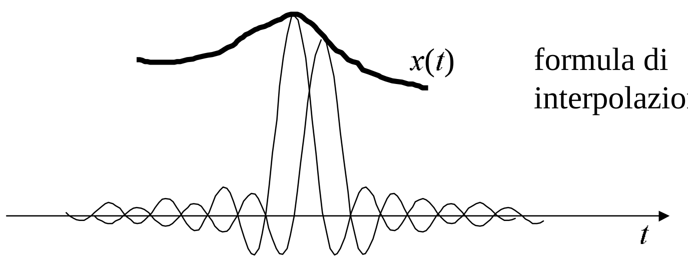
$$X'(f) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(f + kF_C)$$



# Ricostruzione: significato

$$x(t)=\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x[n]\frac{sin\pi F_c(t-nT)}{\pi F_c(t-nT)}$$

combinazione lineare di nuclei del tipo *sinc*(·), secondo coefficienti di combinazione uguali ai campioni *x*[*n*]



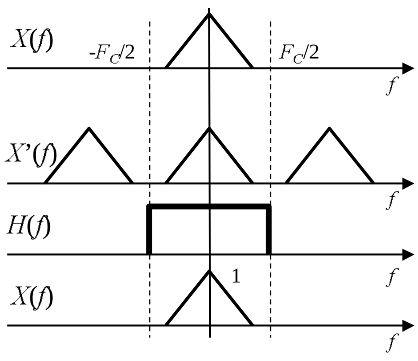

formula di interpolazione !



# Ricostruzione: significato (2)

$$x(t)=\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x[n]\frac{sin\pi F_c(t-nT)}{\pi F_c(t-nT)}$$

- convoluzione di x[*n*] con *sinc*(*t*)
- applicazione di un filtro
- filtro passa-basso ideale con frequenza di taglio pari a $F_C/2$




segnale tempo-continuo

segnale campionato

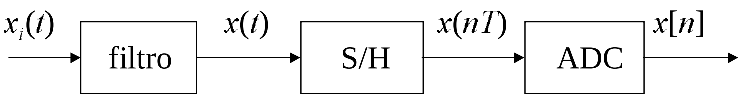
filtro passa-basso ideale

segnale campionato e filtrato

# Sistema di conversione A/D

Il teorema del campionamento prevede

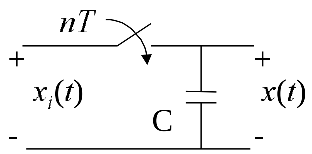
1. segnale limitato in banda
   → *filtro* analogico *anti - aliasing*
2. campioni presi in *istanti* del tipo $nT$
   → circuito *sample and hold*
3. costruzione della sequenza $x[n]$
   → convertitore ADC






# Sample and Hold

circuito equivalente ideale




interruttore

chiuso per $t = nT$, $n = \ldots, -1, 0, 1, \ldots$

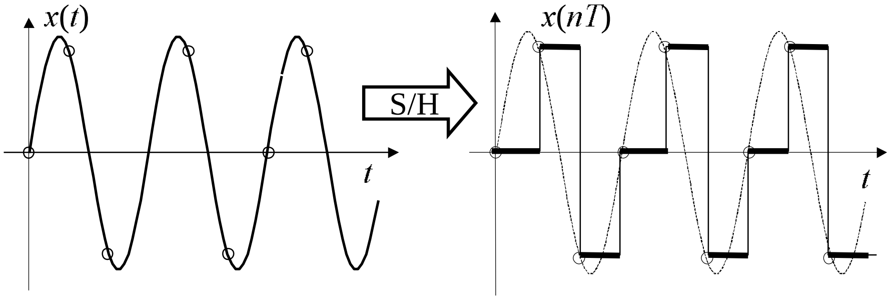
aperto per $t \neq nT$

interruttore chiuso: tensione condensatore = $x_i(t)$

interruttore aperto: condensatore mantiene tensione precedente

# Sample and Hold

S/H: trasforma il segnale tempo-continuo analogico di ingresso in un segnale tempo-continuo analogico "a tratti"




**motivazione impiego S/H**: un circuito di conversione analogico-digitale "vede" un segnale costante durante l'intervallo di conversione $[nT, nT+T)$



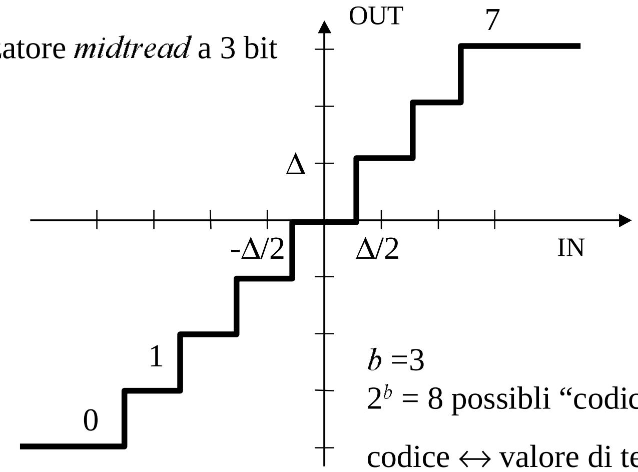
# Conversione A/D

Convertitore Analogico-Digitale (ADC):

- converte il segnale al suo ingresso, supposto costante durante gli intervalli di conversione, in una sequenza *numerica*
- numero finito di possibili valori ⇒ ***quantizzazione***
- no. di livelli di quantizzazione $B = 2^b$
- $b$: no. di bit del convertitore ADC
- passo di quantizzazione $\Delta = V_{FS}/2^{b-1}$
- intervallo (nominale) di conversione: $[-V_{FS}, V_{FS}]$

# Quantizzazione

quantizzatore *midtread* a 3 bit



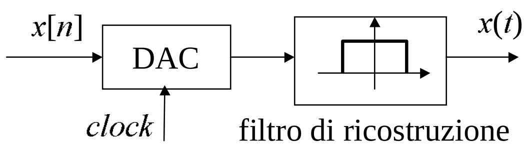

$b$ =3
$2^b$ = 8 possibli "codici"di uscita

codice ↔ valore di tensione



# Sistema di conversione D/A

Il teorema del campionamento prevede la possibilità di ricostruire il segnale tempo-continuo di ingresso
- formula di ricostruzione = filtro passa basso ideale
- ipotesi ulteriore, numero di bit segnale quantizzato, *b*, sufficientemente elevato da poter trascurare l'effetto della quantizzazione




DAC (Digital to analog converter): trasforma un numero in un valore di tensione proporzionale al valore numerico di ingresso