

# Il “segnale”

Matteo Duranti

[matteo.duranti@infn.it](mailto:matteo.duranti@infn.it)

# Segnali e Sistemi di Acquisizione

Segnale
Suono di un strumento
Trasmissione radiofonica
Movimenti di un vigile
Voce del professore

**SEGNALE:** Grandezza fisica variabile nel tempo a cui è associata una informazione

# Segnali e Sistemi di Acquisizione

<b>Segnale</b>	<b>Rumore</b>
Suono di un strumento	Brusio del pubblico
Trasmissione radiofonica	Segnale del cellulare
Movimenti di un vigile	Persone a passeggio
Voce del professore	Chiacchiere degli studenti

**SEGNALE:** Grandezza fisica variabile nel tempo a cui è associata una informazione

**RUMORE:** Variazione di una grandezza fisica non associata a una informazione

# Segnali e Sistemi di Acquisizione

<b>Segnale</b>	<b>Rumore</b>	<b>Sistema DAQ</b>
Suono di un strumento	Brusio del pubblico	Sala di incisione
Trasmissione radiofonica	Segnale del cellulare	Registratore
Movimenti di un vigile	Persone a passeggio	Occhio e cervello guidatore
Voce del professore	Chiacchiere degli studenti	Occhio e cervello degli studenti

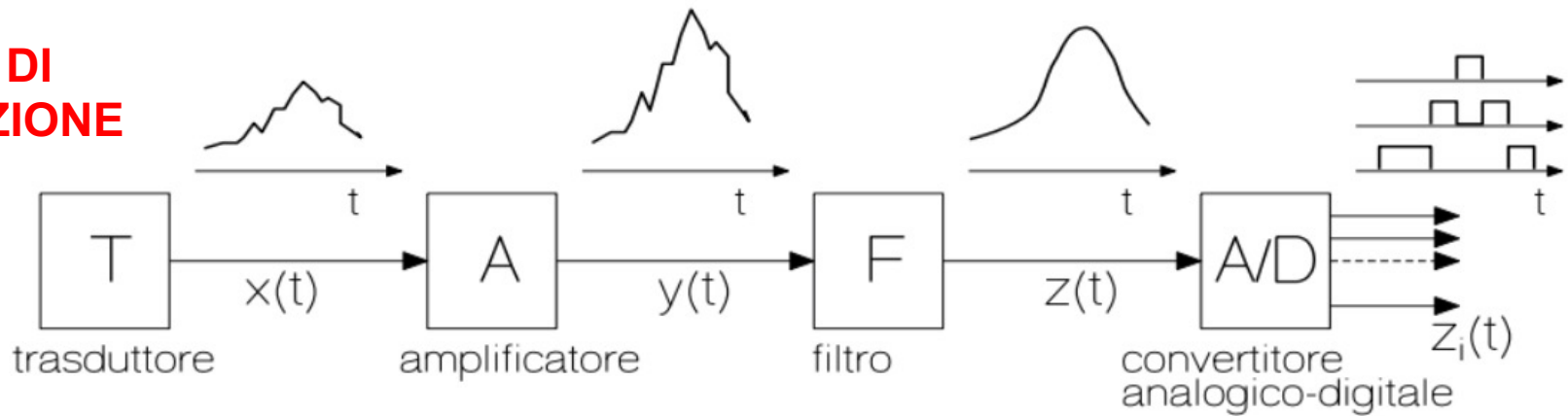
**SEGNALE:** Grandezza fisica variabile nel tempo a cui è associata una informazione

**RUMORE:** Variazione di una grandezza fisica non associata a una informazione

**SISTEMA DAQ:** Sistema per rivelare/acquisire e memorizzare la variazione di una grandezza fisica

# Esempi intuitivi di sistemi elettronici

## SISTEMA DI ACQUISIZIONE



**Segnale dal sensore:** analogico, continuo

$$x(t) = s(t) + n(t) \text{ [segnale interessante + rumore]}$$

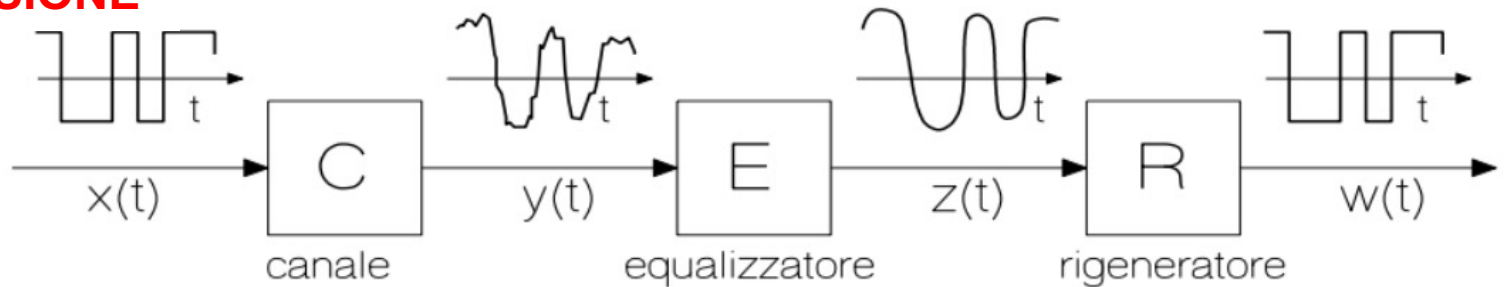
**Amplificatore:** aumenta l'ampiezza del segnale  $y(t) = A \cdot x(t)$

**Filtro:** modifica il segnale per aumentare il rapporto  $s(t)/n(t)$

**ADC:** trasforma il segnale da analogico a digitale per poter essere elaborato da un calcolatore

# Esempi intuitivi di sistemi elettronici

## SISTEMA DI TRASMISSIONE



**Segnale ai capi del canale di trasmissione (cavo):  $x(t)$  digitale, binario**

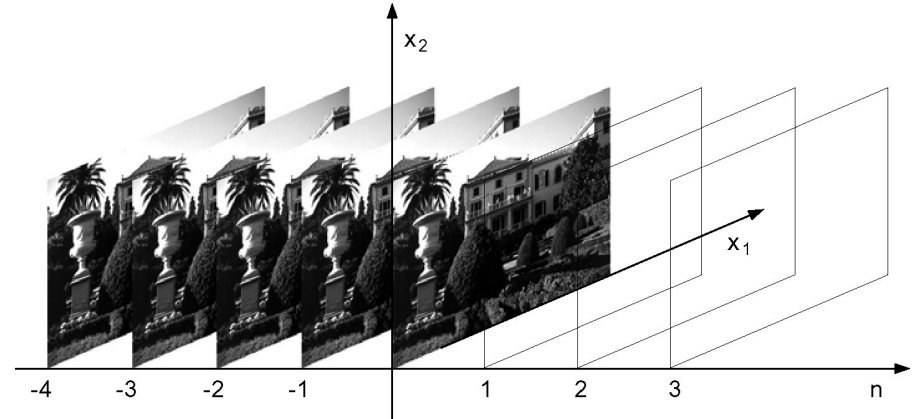
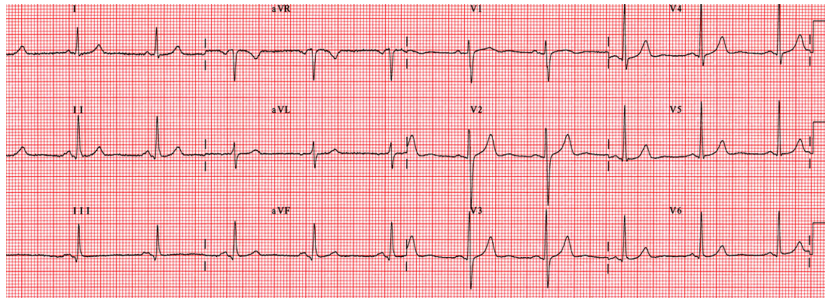
Segnale distorto durante la trasmissione  $y(t)$

Segnale filtrato  $z(t)$  (**equalizzatore**) e rigenerato  $w(t)$  (**discriminatore di segno**) alla fine del sistema di trasmissione: ripristino dell'informazione presente all'entrata del canale di trasmissione.

# Classificazione dei segnali

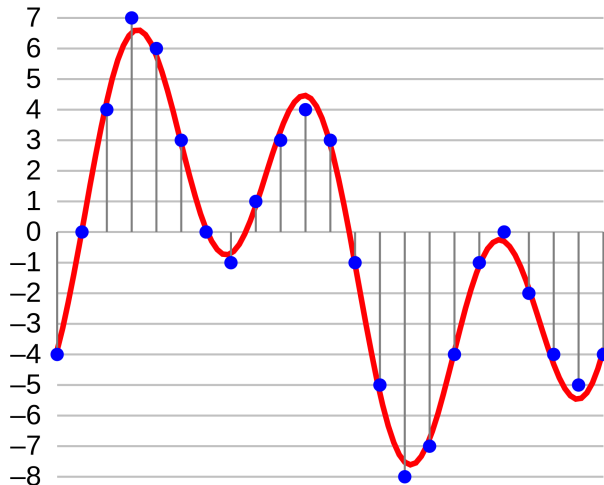
Segnali a:

- **tempo, T, continuo:**  $x(t)$ ,  $t$  reale
- **tempo, T, discreto:**  $x[t]$ ,  $t$  intero



Segnali a:

- **ampiezza, A, continua**
- **ampiezza, A, discreta**

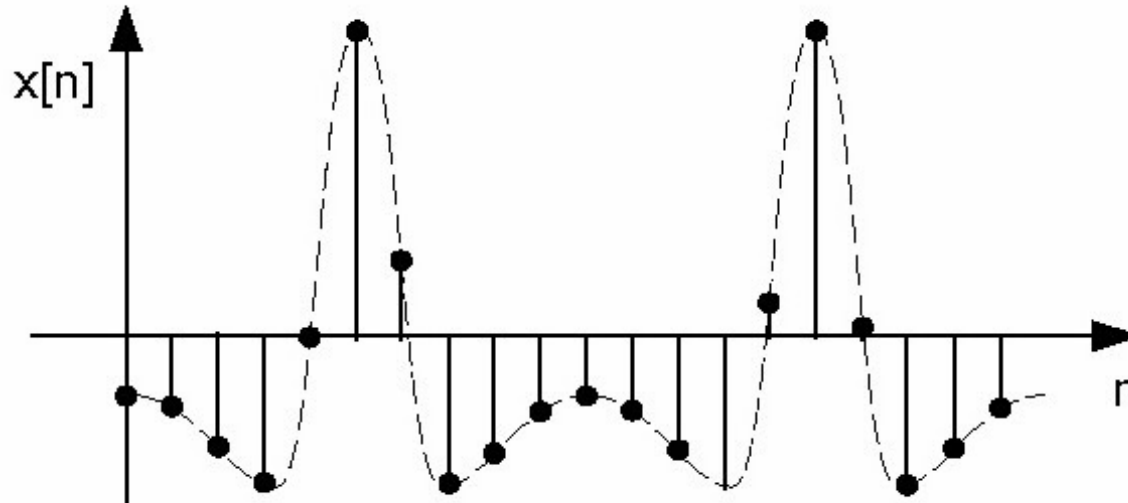


	T continuo	T discreto
A continua	Analogico	Campionato
A discreta		Digitale

# Campionamento di un segnale analogico

**Campionare un segnale analogico  $x(t)$ :** misurare i valori in ampiezza in precisi istanti di tempo (istanti di campionamento)

Tipicamente segnali campionati in istanti regolari nel tempo.



Distanza tra campionamenti adiacenti:  $\Delta T$  (s)

**Frequenza di campionamento:  $f_c = 1 / \Delta T$  (Hz)**

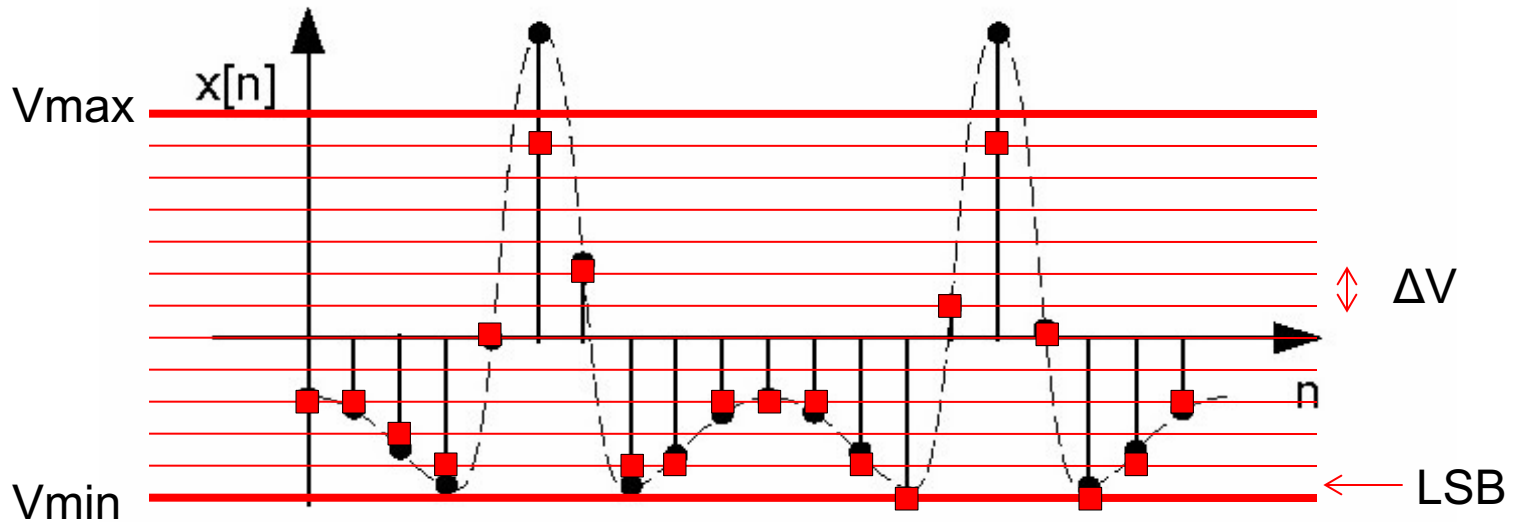
- Occhio umano: 25 Hz
- Immagini TV (PAL): 50 Hz

**Campionamento → Perdita di informazione.** Vedremo che è comunque possibile definire valori di  $f_c$  “adatti” in base alle proprietà temporali del segnale.



# Digitalizzazione di un segnale campionato

**Digitalizzare un segnale campionato  $s[t]$ :** associare i valori in ampiezza campionati a una scala regolare di valori prefissati.



Valore massimo di quantizzazione:  $V_{max}$

Valore minimo di quantizzazione:  $V_{min}$

$$\text{Range} = V_{max} - V_{min}$$

Numero di intervalli:  $n$  (tipicamente potenze di 2: 4bit, 8bit, 16bit, 32bit, ....)

Risoluzione =  $\Delta V = (V_{max} - V_{min}) / n \leftrightarrow$  Least Significant Bit (LSB)

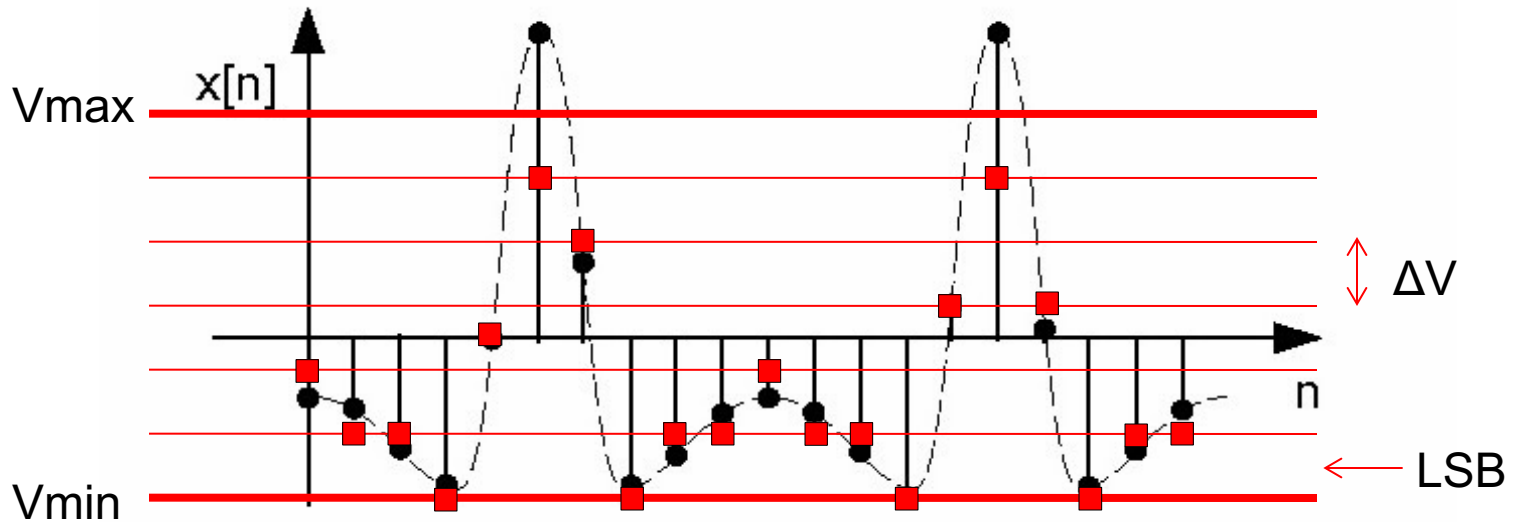
Esempio:  $V_{min} = -5V$ ,  $V_{max} = +5V$ ,  $\#bit = 8 \rightarrow n = 2^8 = 256$

$$\Delta V = 10V / 256 = 40 \text{ mV}$$

# Digitalizzazione di un segnale campionato

**Digitalizzare un segnale campionato  $s[t]$ :** associare i valori in ampiezza campionati a una scala regolare di valori prefissati.

**Arrotondamento:** associo al valore il canale più vicino in ampiezza



Valore massimo di quantizzazione:  $V_{max}$

Valore minimo di quantizzazione:  $V_{min}$

$$\text{Range} = V_{max} - V_{min}$$

Numero di intervalli:  $n$  (tipicamente potenze di 2: 4bit, 8bit, 16bit, 32bit, ....)

Risoluzione =  $\Delta V = (V_{max} - V_{min}) / n \leftrightarrow$  Least Significant Bit (LSB)

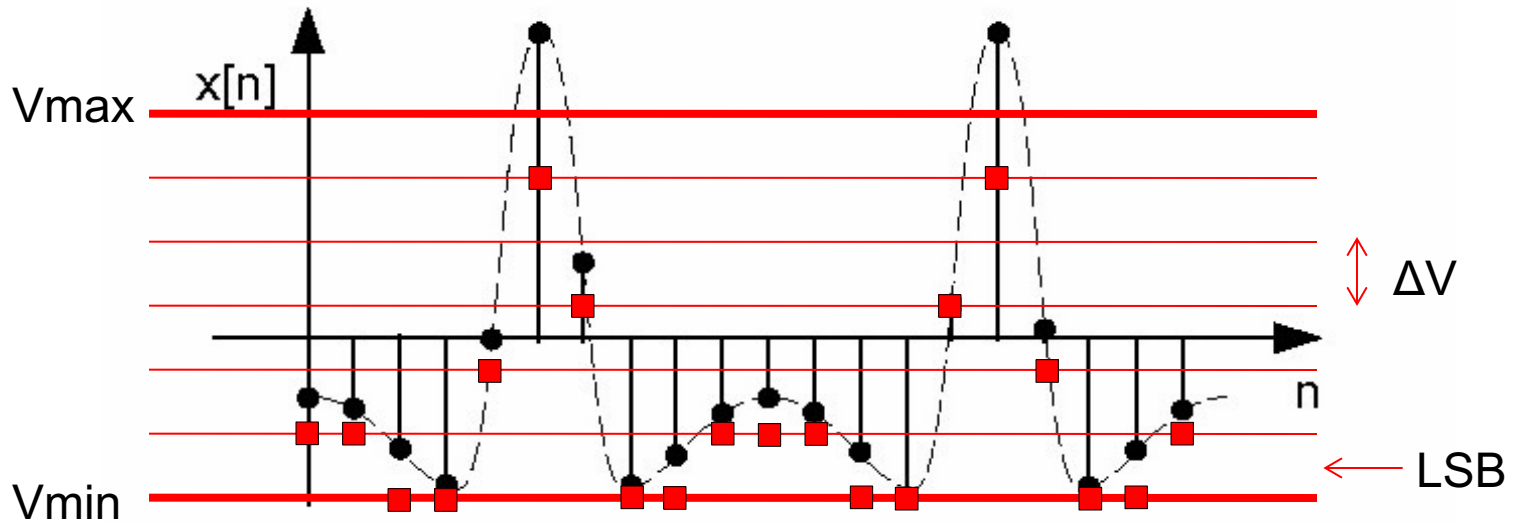
Esempio:  $V_{min} = -5V$ ,  $V_{max} = +5V$ ,  $\#bit = 7 \rightarrow n = 2^7 = 128$

$$\Delta V = 10V / 128 = 80 \text{ mV}$$

# Digitalizzazione di un segnale campionato

**Digitalizzare un segnale campionato  $s[t]$ :** associare i valori in ampiezza campionati a una scala regolare di valori prefissati.

**Troncamento:** associo al valore il canale inferiore più vicino in ampiezza.



Valore massimo di quantizzazione:  $V_{max}$

Valore minimo di quantizzazione:  $V_{min}$

$$\text{Range} = V_{max} - V_{min}$$

Numero di intervalli:  $n$  (tipicamente potenze di 2: 4bit, 8bit, 16bit, 32bit, ....)

Risoluzione =  $\Delta V = (V_{max} - V_{min}) / n \leftrightarrow$  Least Significant Bit (LSB)

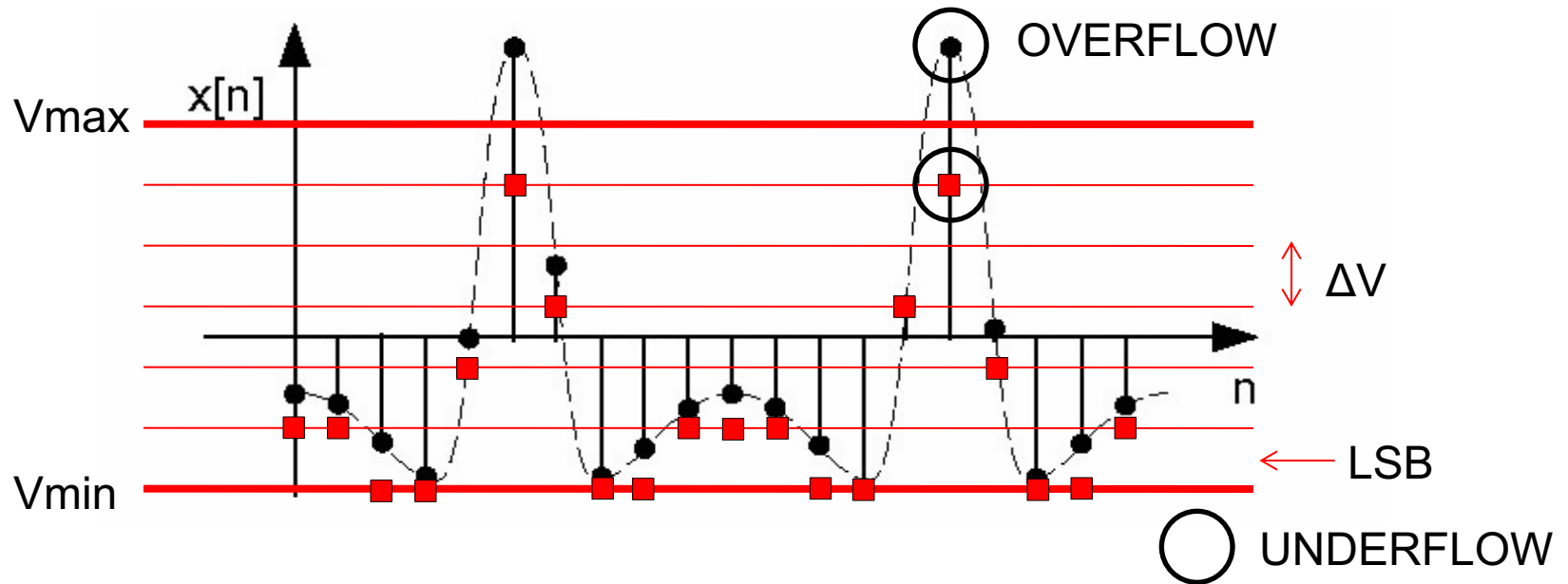
Esempio:  $V_{min} = -5V$ ,  $V_{max} = +5V$ ,  $\#bit = 7 \rightarrow n = 2^7 = 128$

$$\Delta V = 10V / 128 = 80 \text{ mV}$$

# Digitalizzazione di un segnale campionato

**Digitalizzare un segnale campionato  $s[t]$ :** associare i valori in ampiezza campionati a una scala regolare di valori prefissati.

**Troncamento:** associa al valore il canale inferiore più vicino in ampiezza.



Valore massimo di quantizzazione:  $V_{max}$

Valore minimo di quantizzazione:  $V_{min}$

$$\text{Range} = V_{max} - V_{min}$$

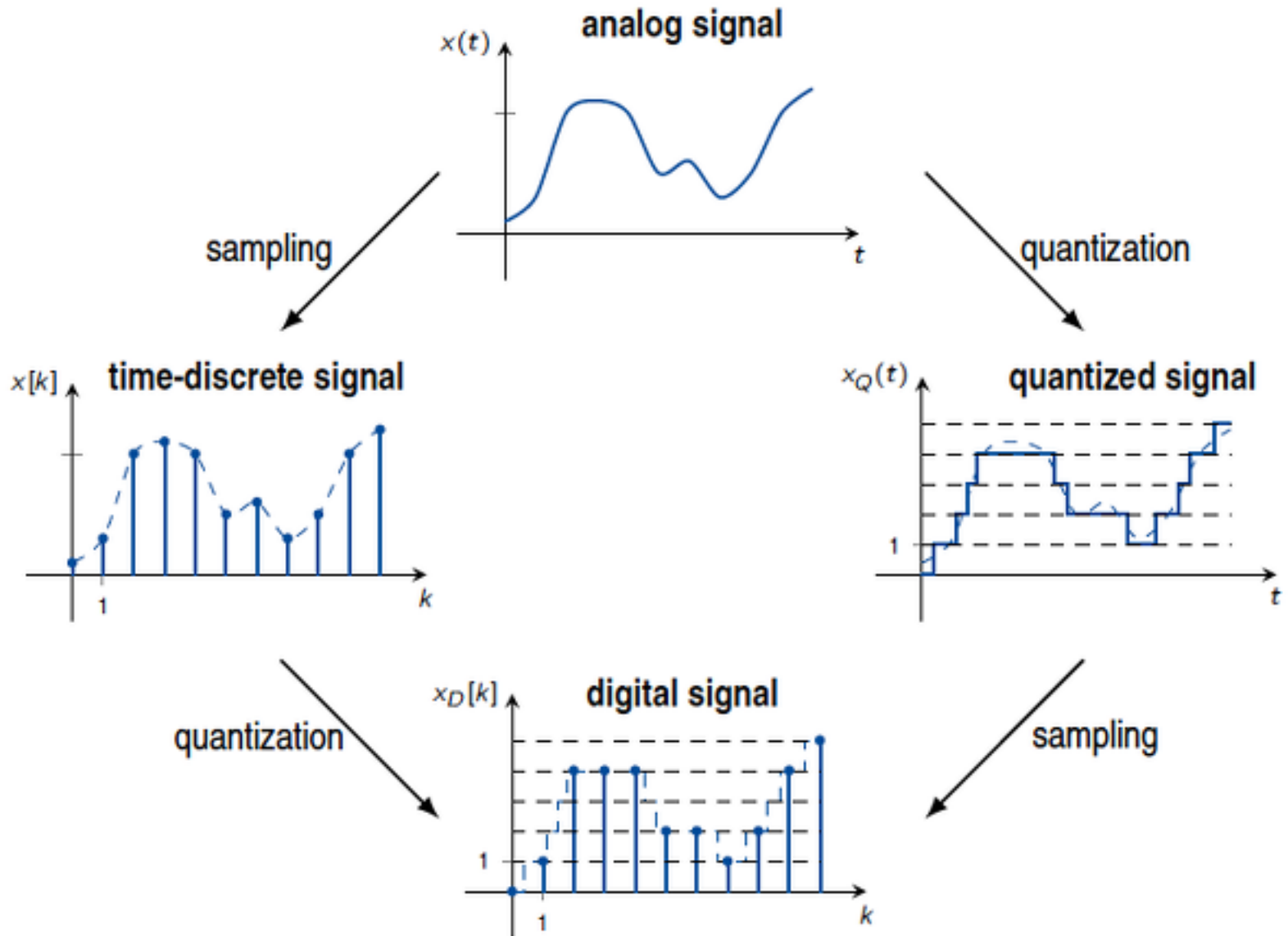
Numero di intervalli:  $n$  (tipicamente potenze di 2: 4bit, 8bit, 16bit, 32bit, ....)

Risoluzione =  $\Delta V = (V_{max} - V_{min}) / n \leftrightarrow$  Least Significant Bit (LSB)

Esempio:  $V_{min} = -5V$ ,  $V_{max} = +5V$ , #bit = 7  $\rightarrow n = 2^7 = 128$

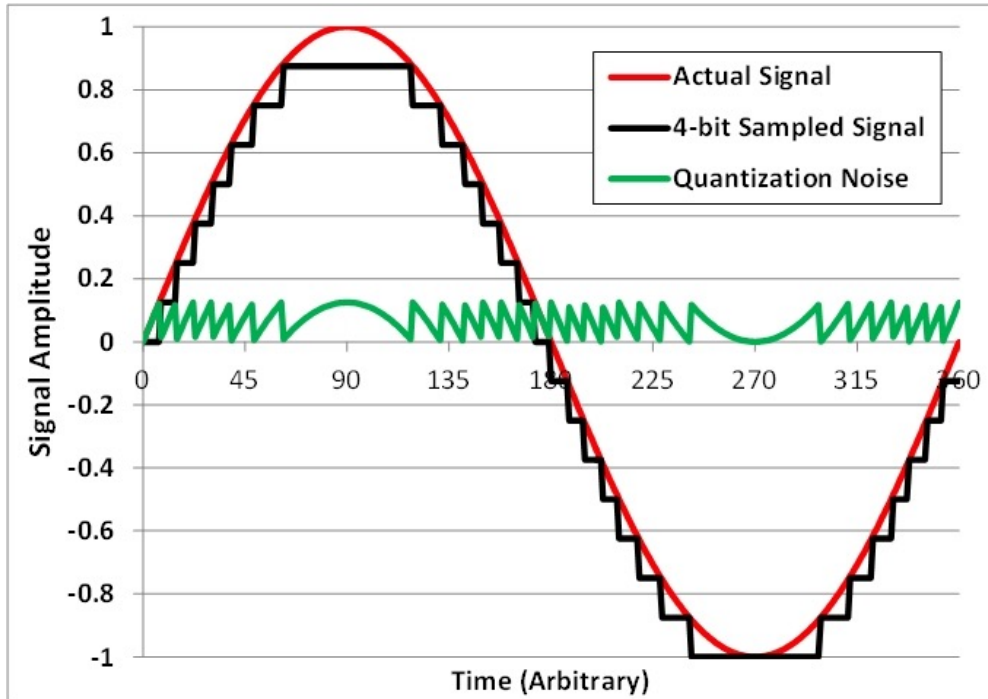
$$\Delta V = 10V / 128 = 80 \text{ mV}$$

# Digitalizzazione di un segnale campionato



# Errore di quantizzazione

**Errore di quantizzazione:** differenza tra il valore analogico e il valore digitale.



Digitalizzare significa perdere informazione.

L'errore che facciamo è  $\Delta < \text{LSB}$ .

La distribuzione di probabilità di  $\Delta$  dipende da come quantizziamo (troncamento o approssimazione) e dalla forma del segnale, specialmente per segnali il cui range è comparabile al LSB dell'ADC

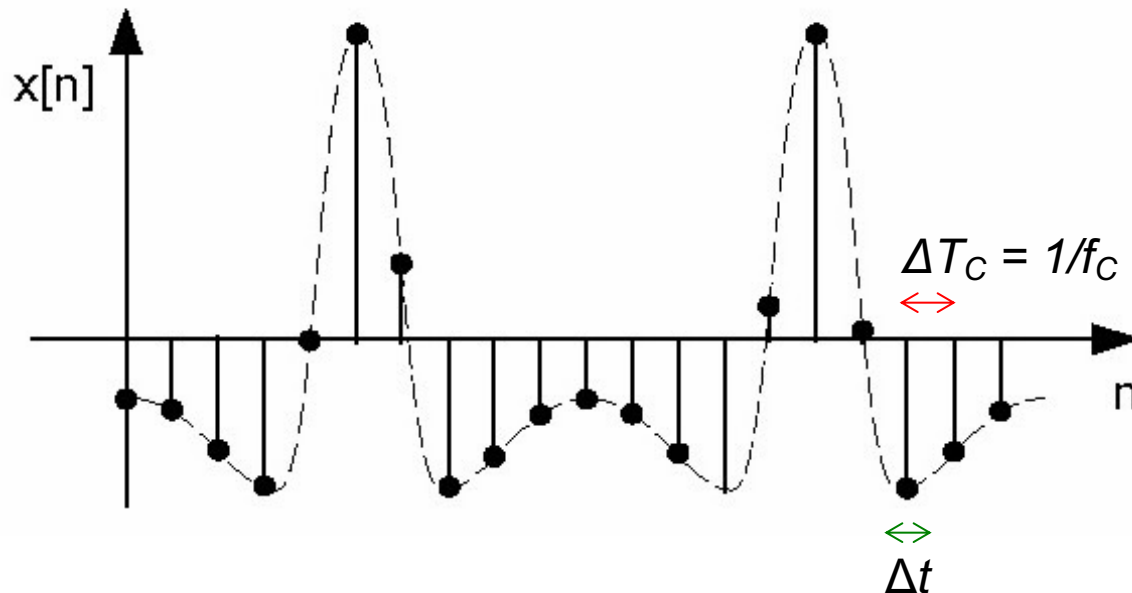
**Perché in molte applicazioni si preferiscono sistemi digitali a sistemi analogici?**

- **Minore dipendenza da rumori esterni**
- **Integrazione in sistemi di trasmissione**
- **Facilità di elaborazione dei segnali digitali**
- **Semplicità e convenienza di memorizzazione**
- **Costo**

# ADC: Analog to Digital Converter

ADC “commerciali” sono caratterizzati da:

- **Range:** Intervallo di tensione che l'ADC può accettare in ingresso:  $[V_{min}, V_{max}]$
- **Numero di canali in cui è diviso il range:** definito dal numero  $n$  di bit
  - $n = 12$  bit:  $N = 2^{12} = 4096$
  - $n = 16$  bit:  $N = 2^{16} = 65536$
- **Risoluzione:** minima variazione di tensione rivelabile:  $(V_{max} - V_{min}) / n$
- **Sampling rate:** frequenza di campionamento  $f_c = 1/\Delta T_c$
- **Sampling time:** intervallo di tempo necessario ad effettuare una operazione di campionamento  $\Delta t$



# Canali e Canali...

“Canali di ADC”: numero di intervalli in cui è diviso il range dell’ADC

- un ADC a 12bit ha 4096 canali di ADC

“Canali di lettura”: numero di segnali (i.e. “fili”) che devono essere letti e digitalizzati da un sistema di acquisizione

Oscilloscopio



1-4 canali di lettura

Fotocamera digitale



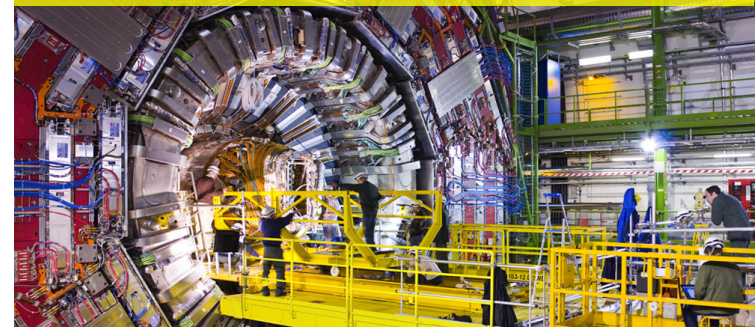
$O(10'000'000)$  canali di lettura

AMS-02 sulla ISS



$O(100'000)$  canali di lettura

CMS a LHC, CERN

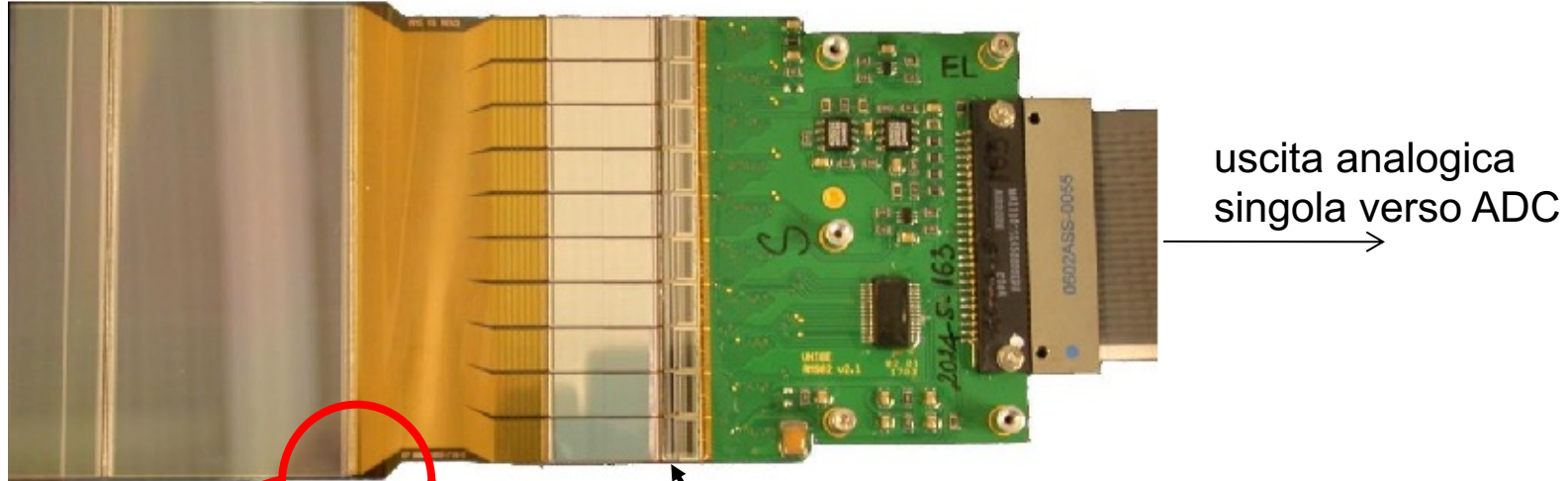


$O(100'000'000)$  canali di lettura



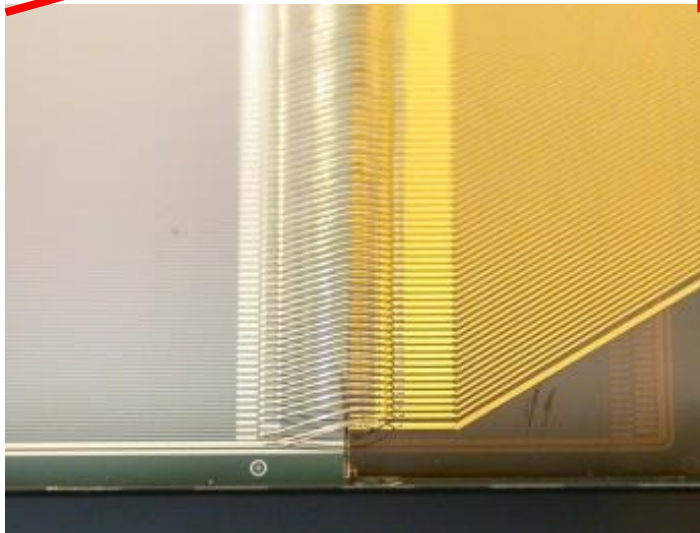
# Un esempio

## Elettronica di front-end per un rivelatore a microstrip al silicio



uscita analogica  
singola verso ADC

640 channels



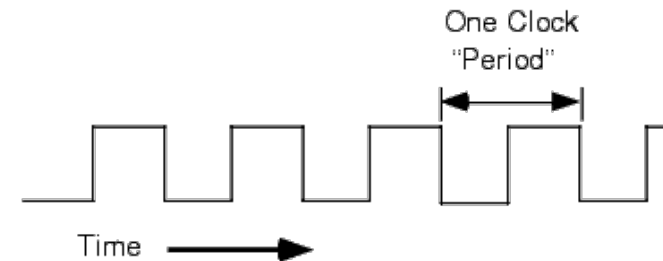
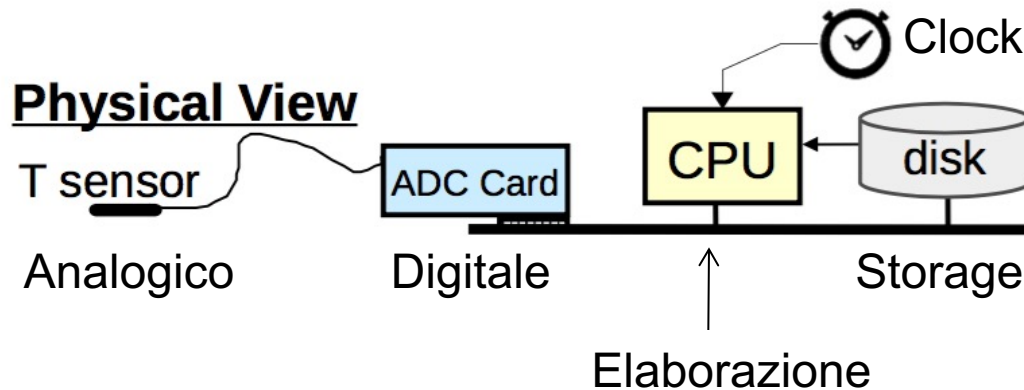
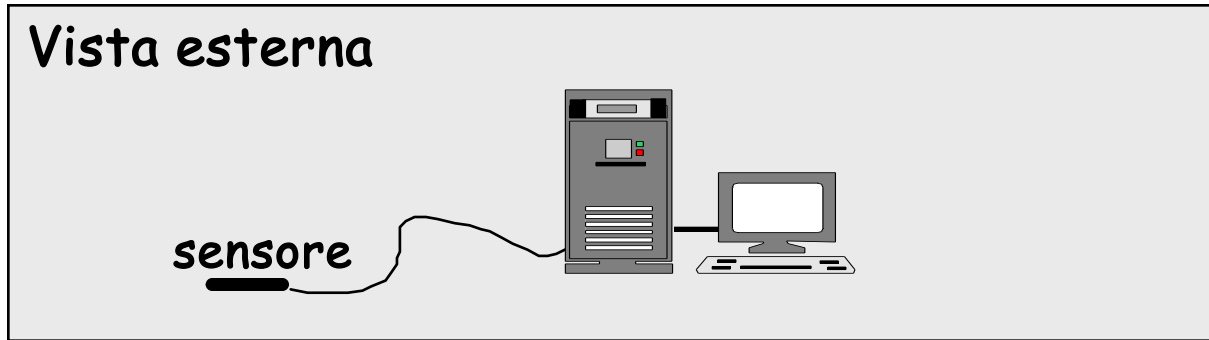
Ad esempio: il tracciatore al silicio del rivelatore AMS-02 ha 192 *rivelatori*, detti *ladder*, ed ognuno a 1024 canali di lettura

→ ~ 200k canali di lettura

# Semplice schema di sistema DAQ

## DAQ: Data AcQuisition (System)

Esempio: registrazione della temperatura misurata da un sensore



**Clock:** segnale interno al DAQ che fornisce una base di tempo per **sincronizzare** i processi intrinsecamente asincroni che operano simultaneamente. Il segnale deve essere stabile: si utilizzano, ad esempio, **oscillatori al quarzo**

# Modalità di acquisizione

## Continua:

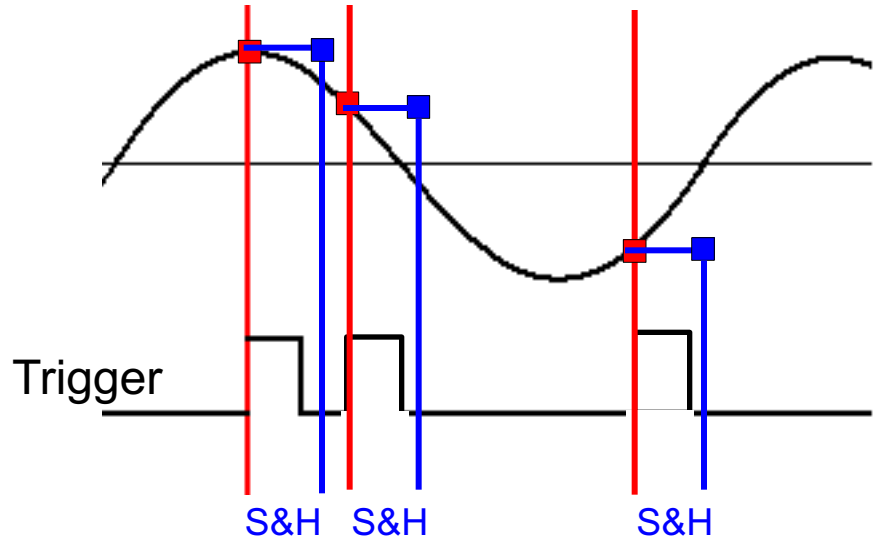
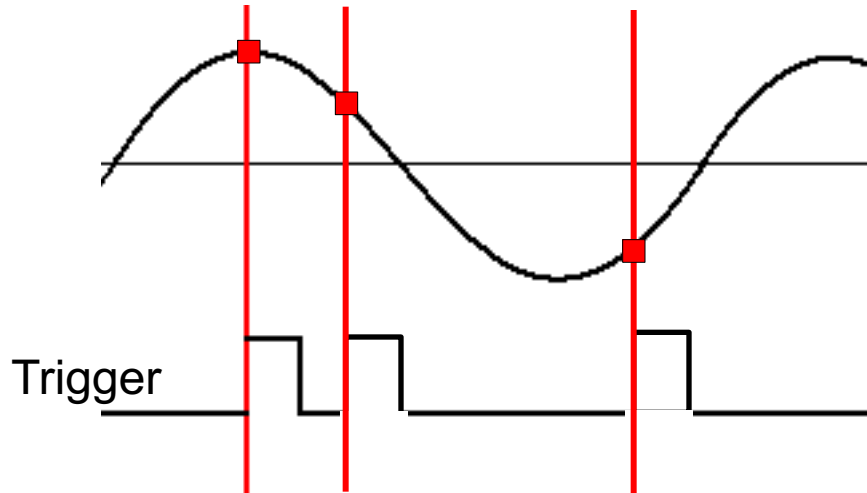
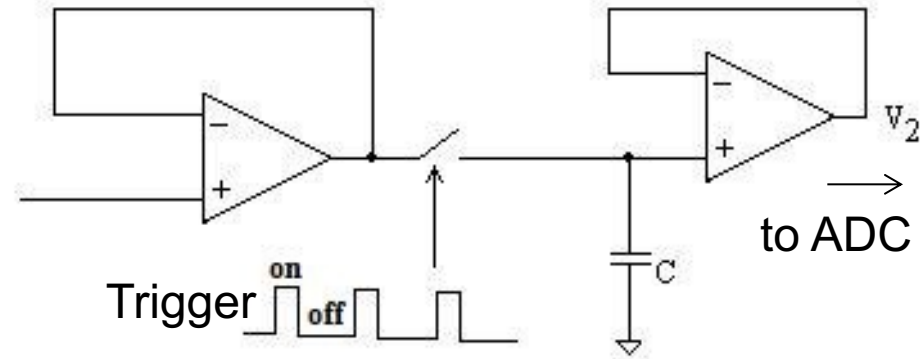
- A partire da un certo  $t_0$ , il sistema acquisisce segnali a una frequenza costante

## Con "trigger":

- Un segnale di trigger definisce l'inizio dell'acquisizione di un certo numero di campioni

Un circuito analogico di **Sample&Hold** (S&H) memorizza il segnale analogico per il tempo necessario affinché l'ADC possa operare la conversione AD (*busy time*).

- si introduce un certo **dead-time** prima della prossima acquisizione



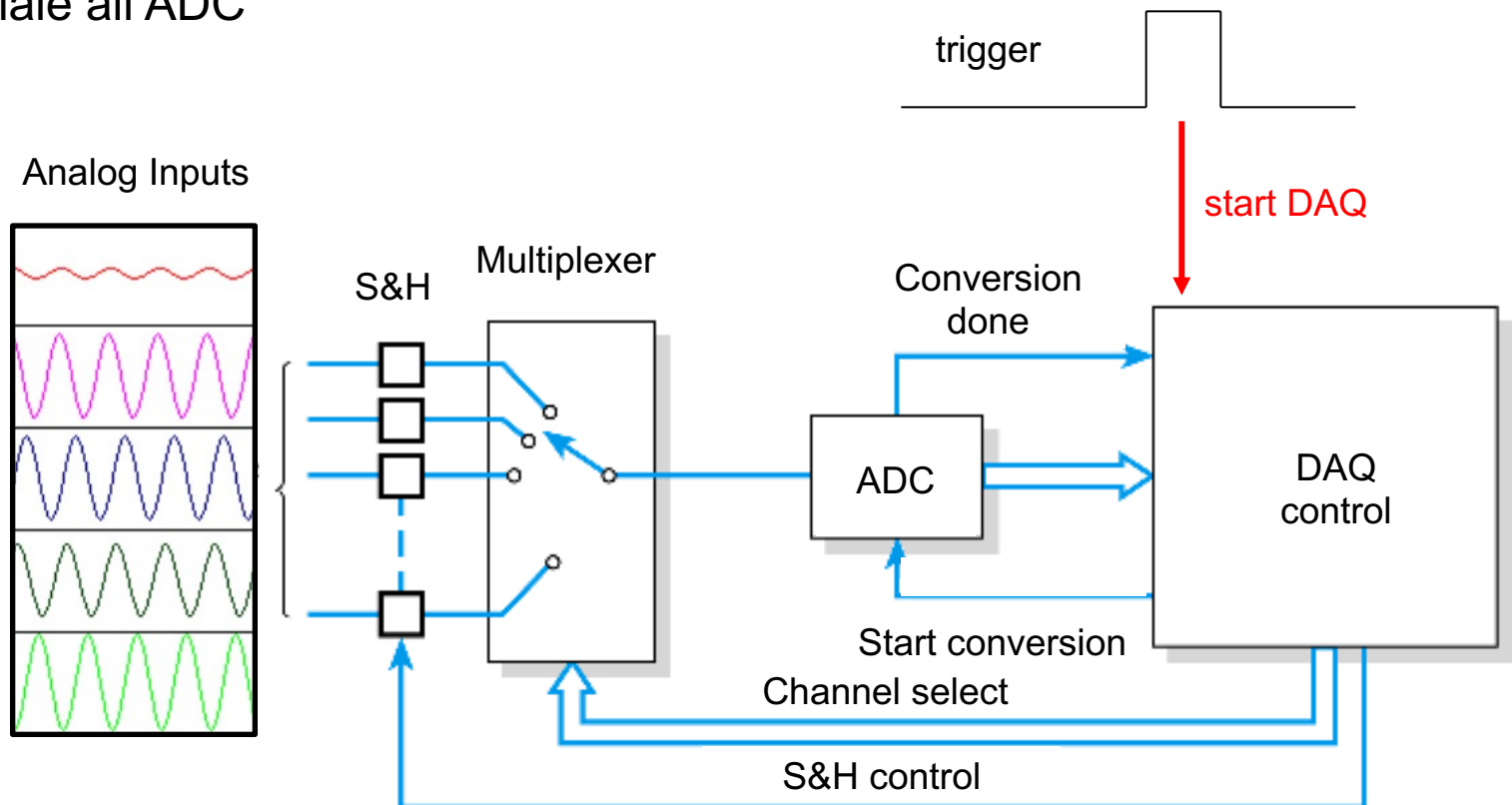
# Modalità di acquisizione

La sequenza di campioni può essere relativa a:

- **lo stesso segnale a tempi diversi**
- **diversi segnali allo stesso istante di tempo** (necessità di *multiplexer*)

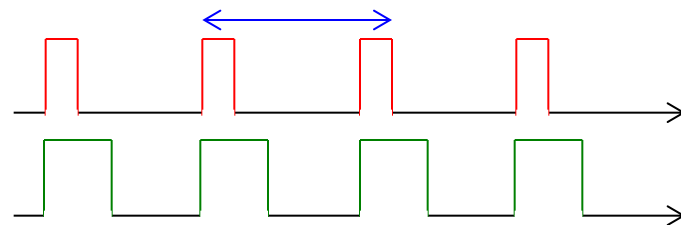
**Multiplexer:** dispositivo che seleziona tra  $N$  input quale redirigere su un unico output

**Sample&Hold:** qui utilizzato per immagazzinare il segnale degli  $N$  canali e inviarli in maniera seriale all'ADC

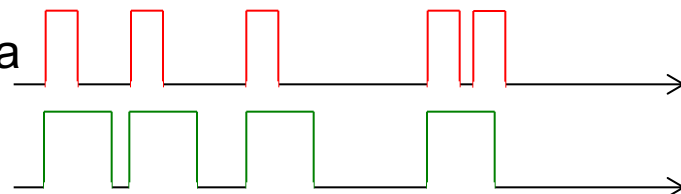


# Tempo morto

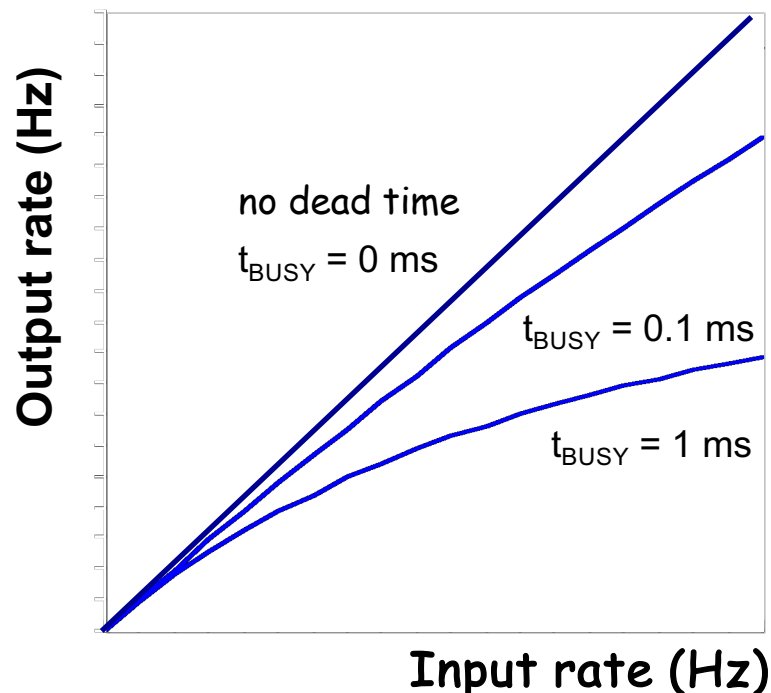
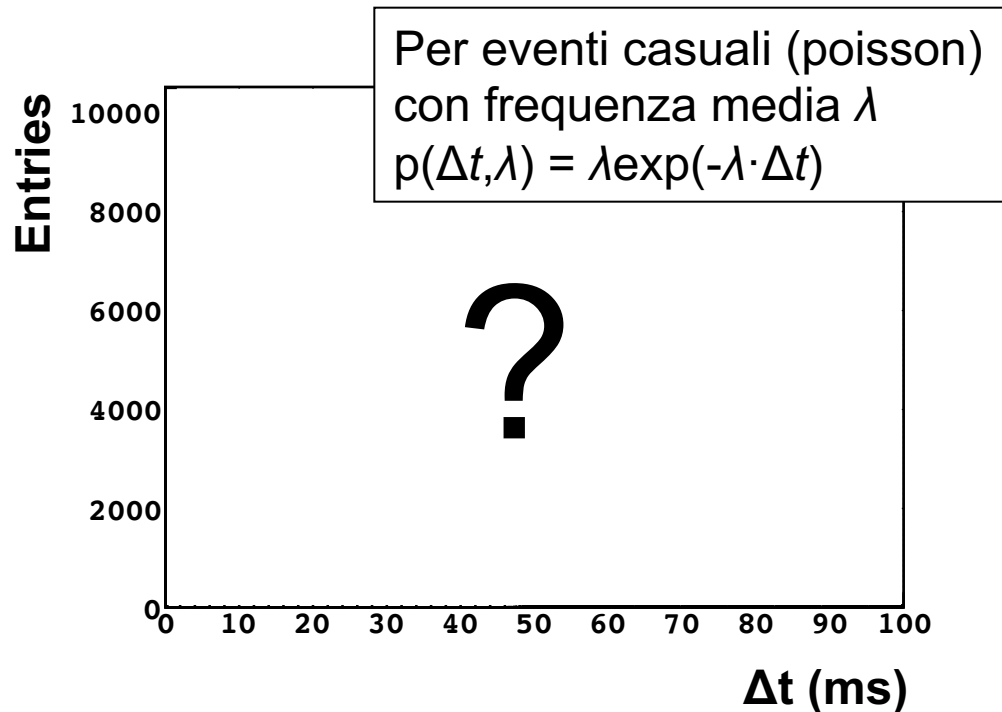
**Trigger Regolari:** se il busy time  $t_{BUSY} < \Delta t_{TRG}$ , allora  
frequenza misurata = frequenza vera



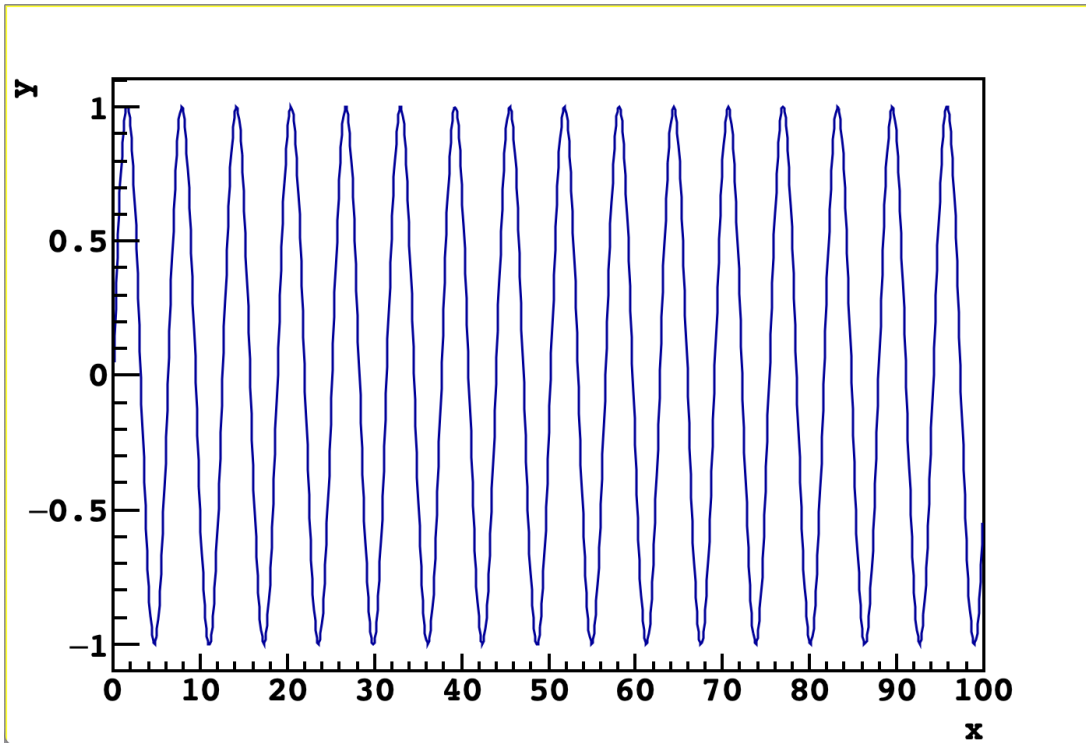
**Trigger Casuali:** se il busy time  $t_{BUSY} \ll \langle \Delta t_{TRG} \rangle$ , allora  
frequenza misurata  $\approx$  frequenza vera



In generale, frequenza misurata < frequenza vera



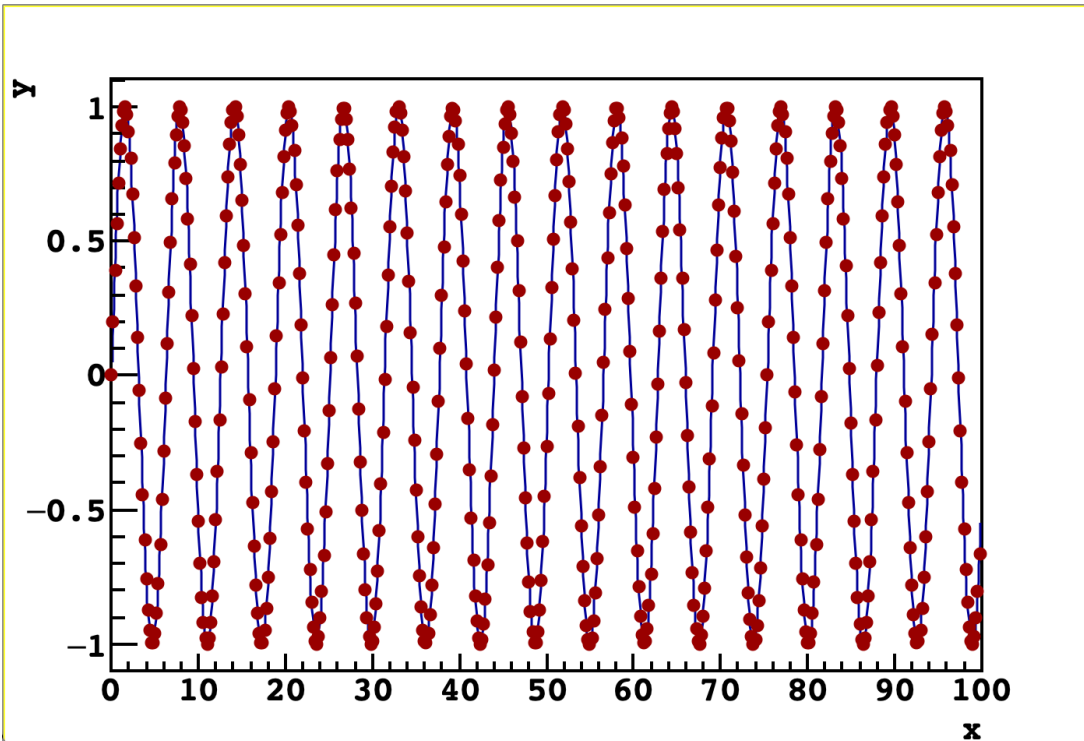
# parentesi: istogrammi...



funzione  $\sin(x)$ :

- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

# parentesi: istogrammi...

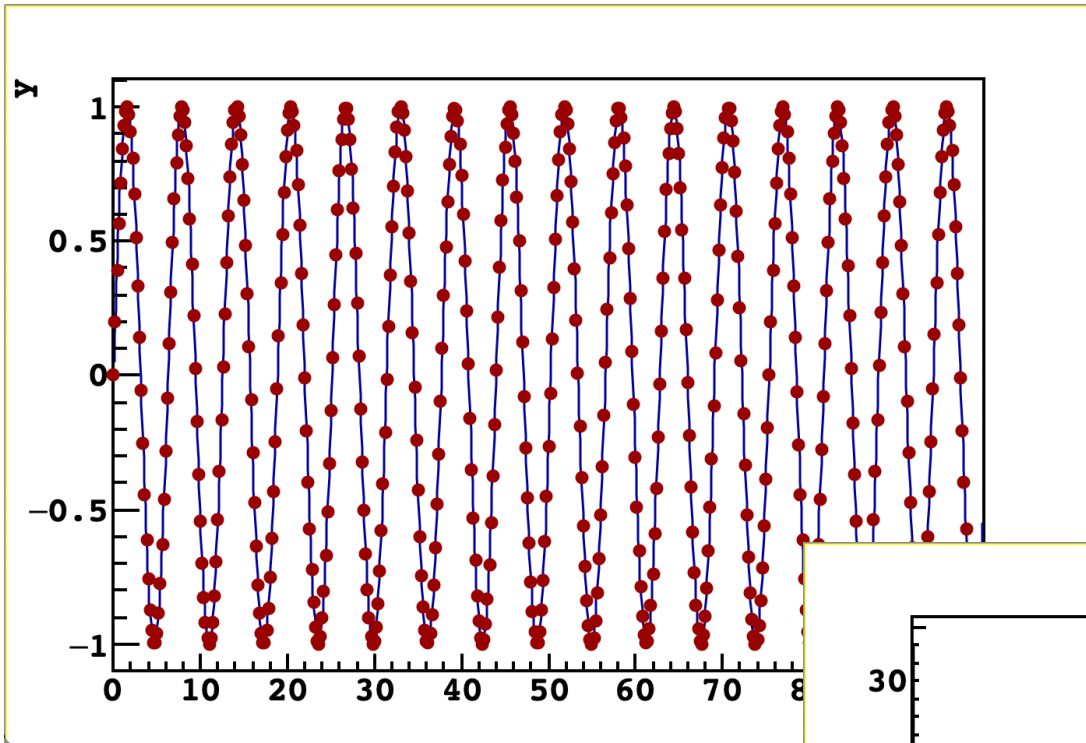


funzione  $\sin(x)$ :

- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

# parentesi: istogrammi...

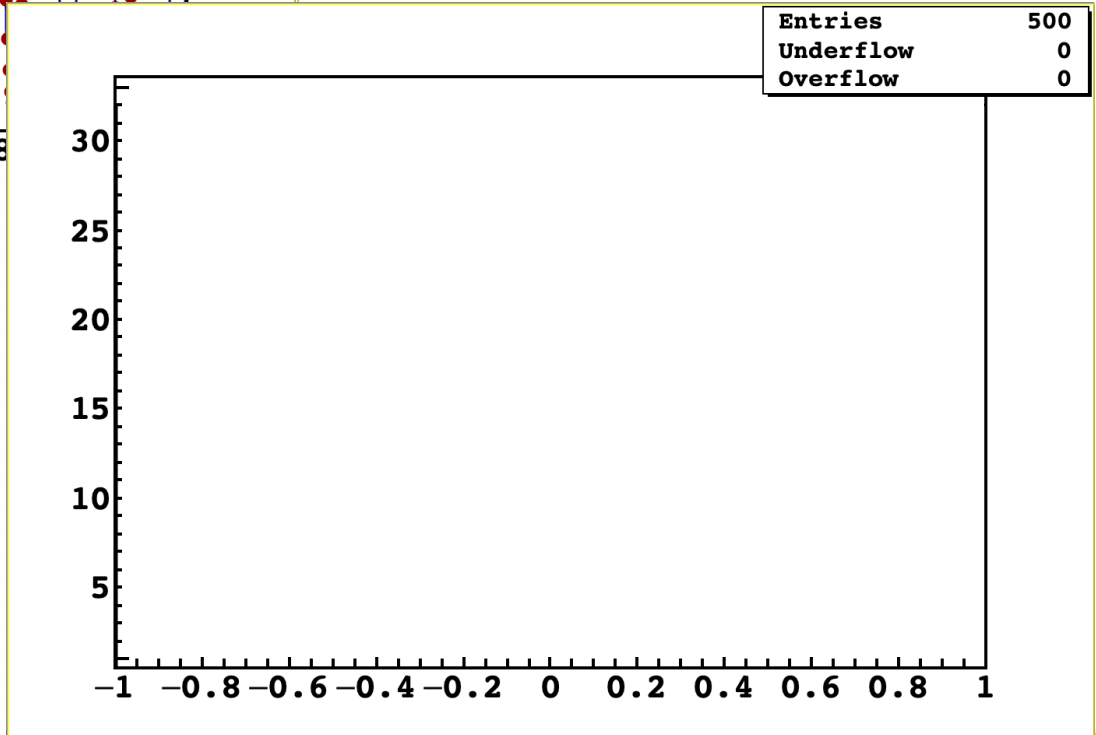


funzione  $\sin(x)$ :

- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

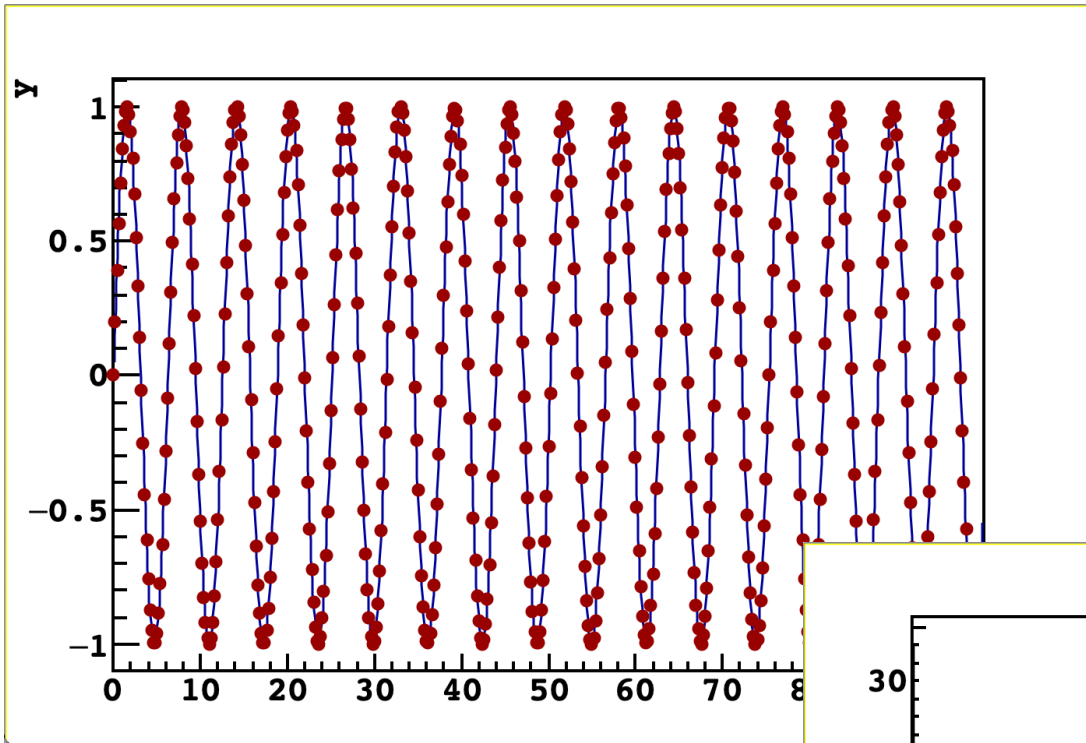
→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

- cosa c'è sull'asse x?





# parentesi: istogrammi...

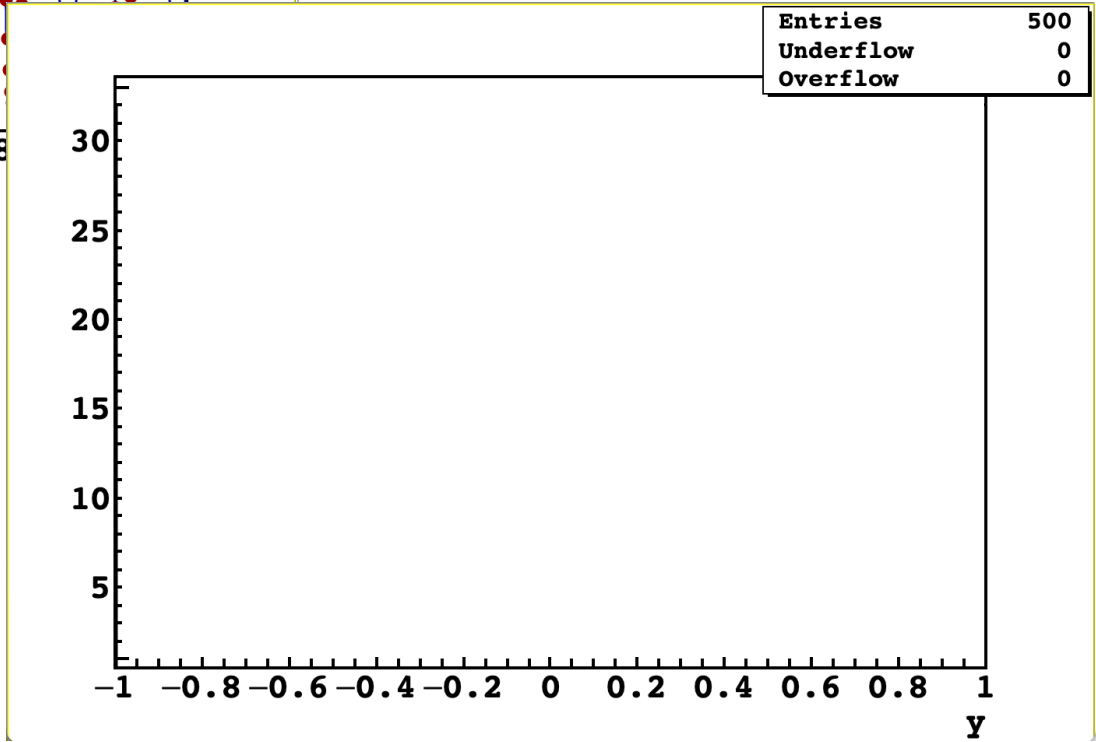


funzione  $\sin(x)$ :

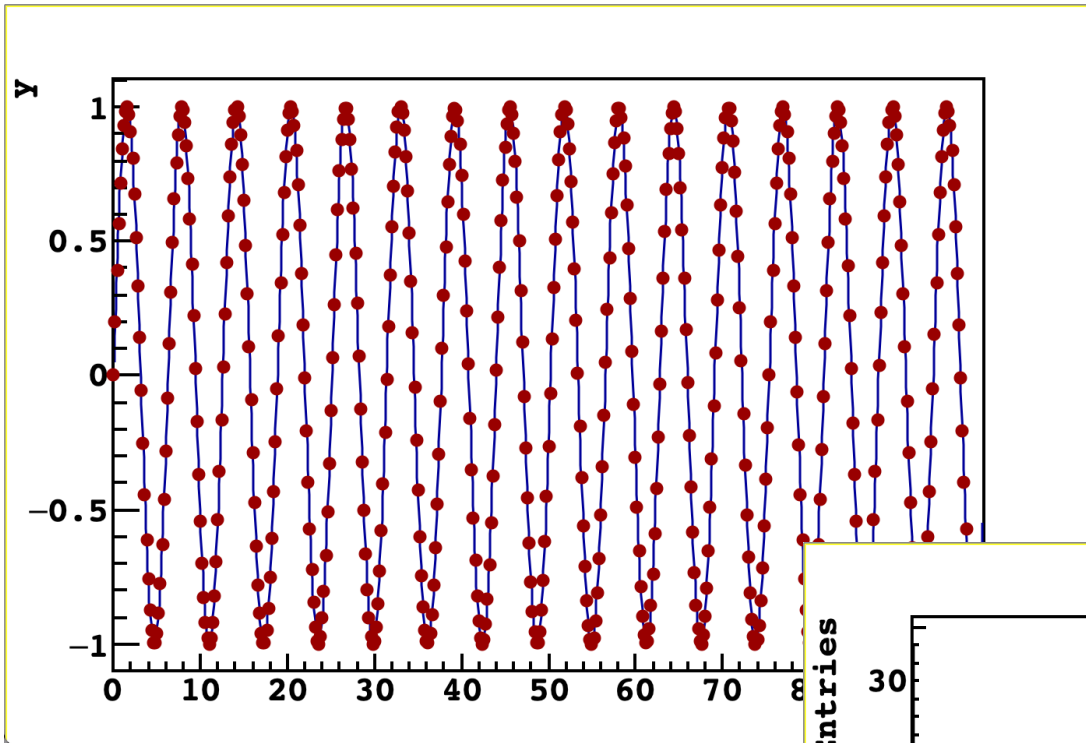
- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

- cosa c'è sull'asse x?
- cosa c'è sull'asse y?



# parentesi: istogrammi...

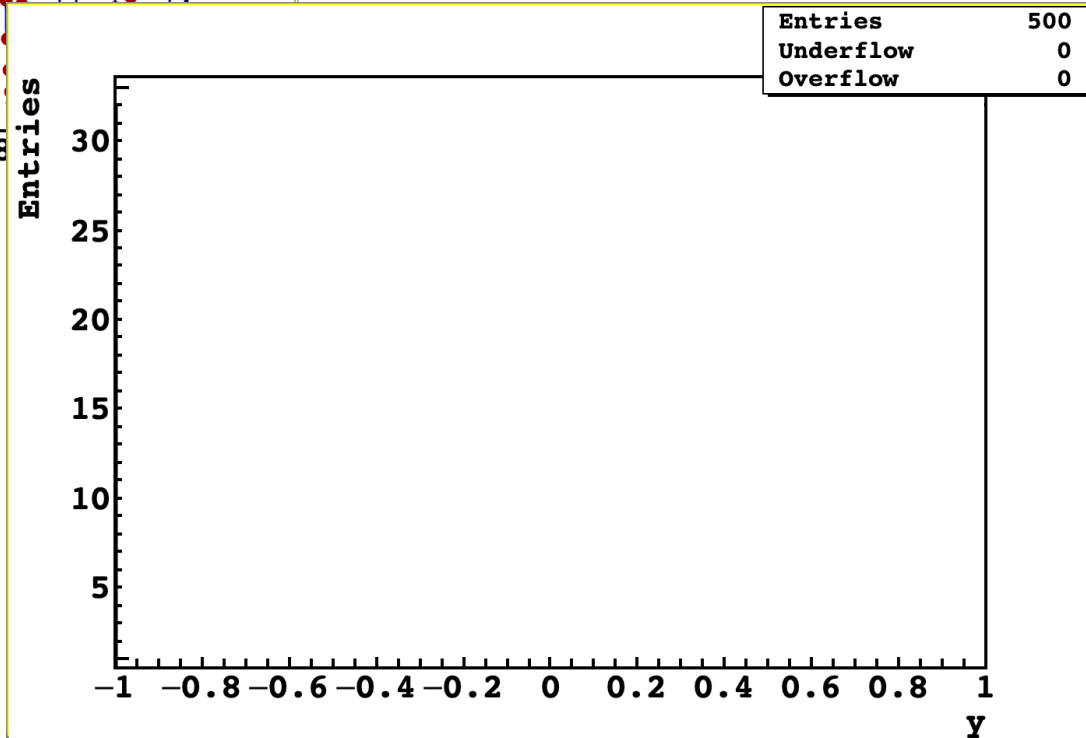


funzione  $\sin(x)$ :

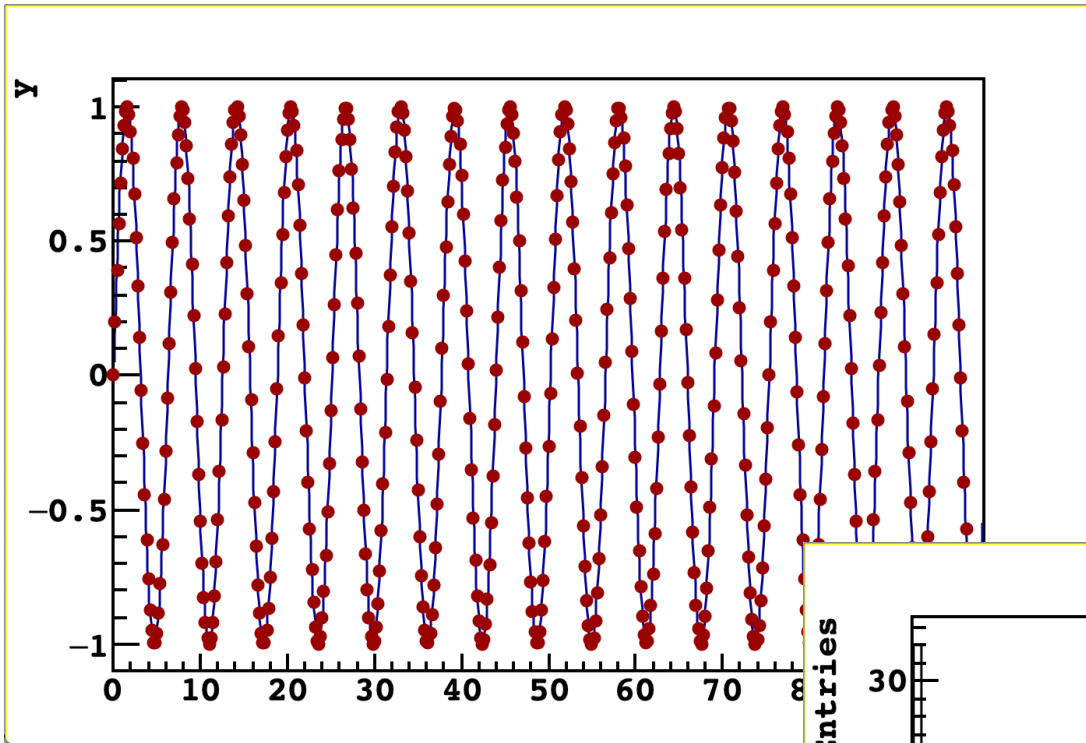
- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

- cosa c'è sull'asse x?
- cosa c'è sull'asse y?
- che forma ha l'istogramma?



# parentesi: istogrammi...

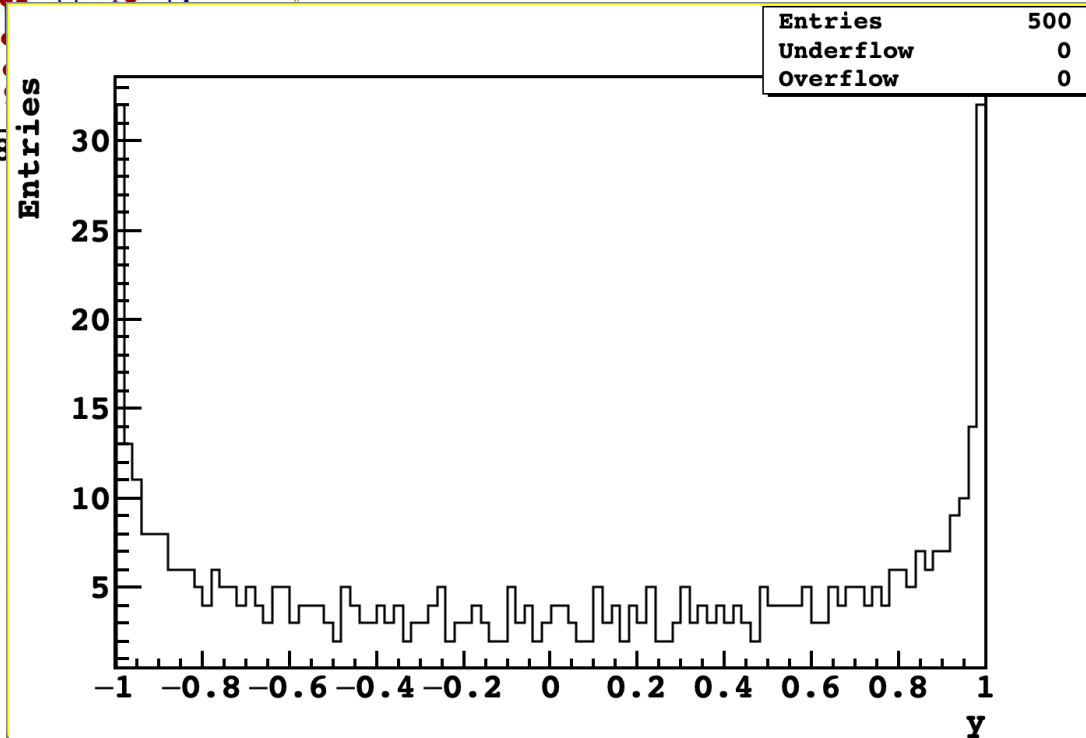


funzione  $\sin(x)$ :

- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

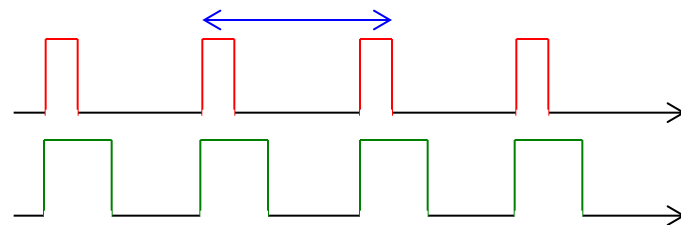
→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

- cosa c'è sull'asse x?
- cosa c'è sull'asse y?
- che forma ha l'istogramma?

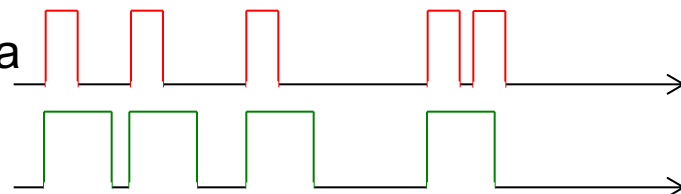


# Tempo morto

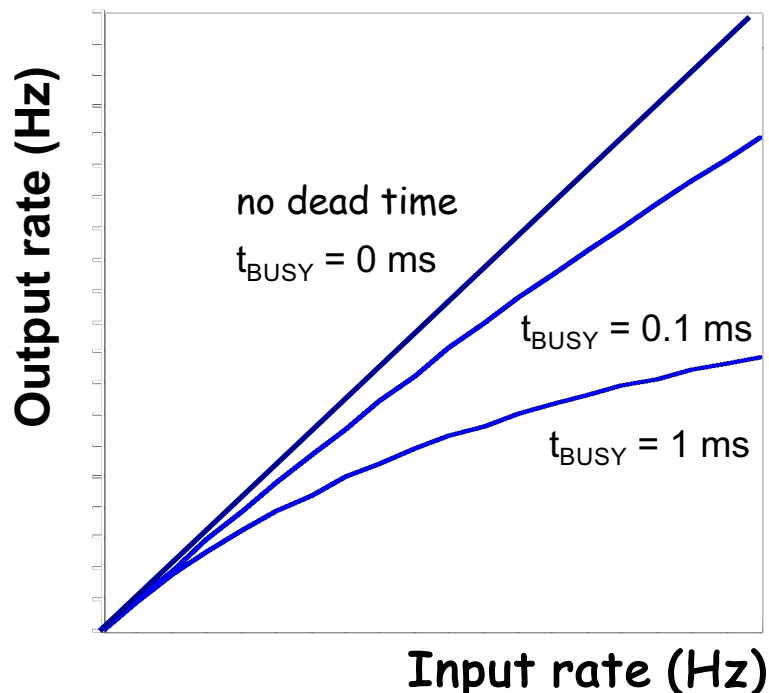
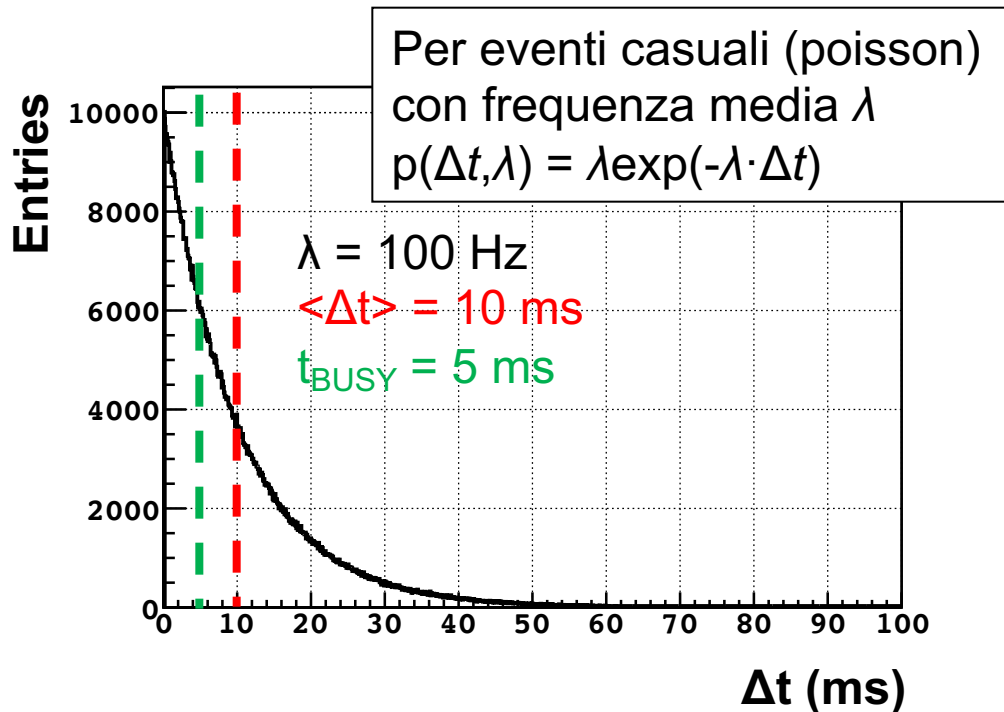
**Trigger Regolari:** se il busy time  $t_{BUSY} < \Delta t_{TRG}$ , allora  
frequenza misurata = frequenza vera



**Trigger Casuali:** se il busy time  $t_{BUSY} \ll \langle \Delta t_{TRG} \rangle$ , allora  
frequenza misurata  $\approx$  frequenza vera



In generale, frequenza misurata < frequenza vera



# Acquisizione a buffer circolare

**BUFFER:** spazio di memoria fisica utilizzato per immagazzinare temporaneamente dati acquisiti da un dispositivo di input prima di essere processati.

- la CPU accede al buffer durante l'acquisizione
- esaurito il buffer la scheda continua a scrivere all'inizio del buffer, sovrascrivendo i dati esistenti
- occorre che la lettura dei dati sia sufficientemente veloce per evitare perdite di dati

