

# 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

Segnale	Rumore
Suono di un strumento	Brusio del pubblico
Trasmissione radiofonica	Segnale del cellulare
Movimenti di un vigile	Persone a passeggiio
Voce del professore	Chiacchere 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

Segnale	Rumore	Sistema DAQ
Suono di un strumento	Brusio del pubblico	Sala di incisione
Trasmissione radiofonica	Segnale del cellulare	Registratore
Movimenti di un vigile	Persone a passeggiare	Occhio e cervello guidatore
Voce del professore	Chiacchere degli studenti	Occhio e cervello degli studenti

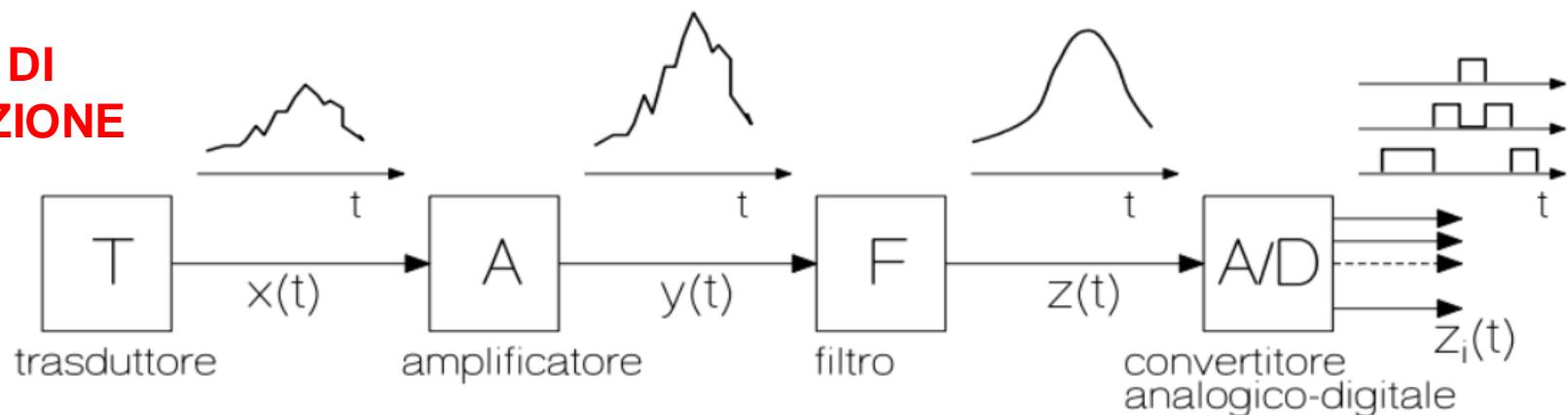
**SEGNALE:** Grandezza fisica variabile nel tempo a cui è associata una informazione

**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

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

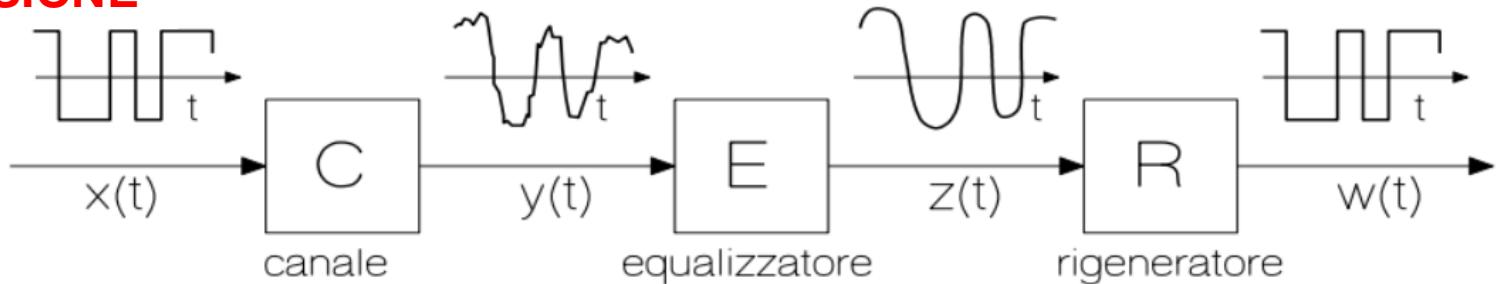
**Amplificatore:** aumenta l'ampiezza del segnale  $y(t) = A \cdot x(t)$

**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

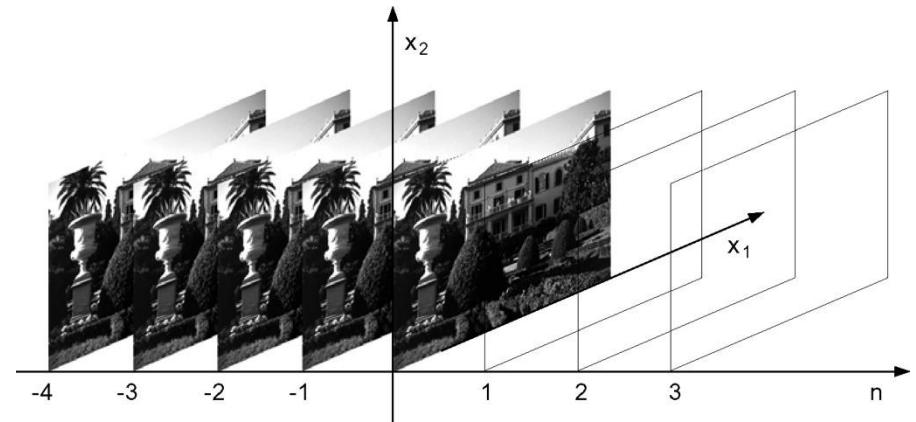
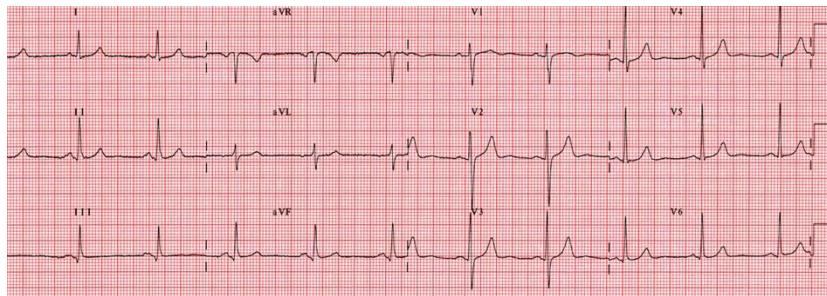
Segnale distorto durante la trasmissione  $y(t)$

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

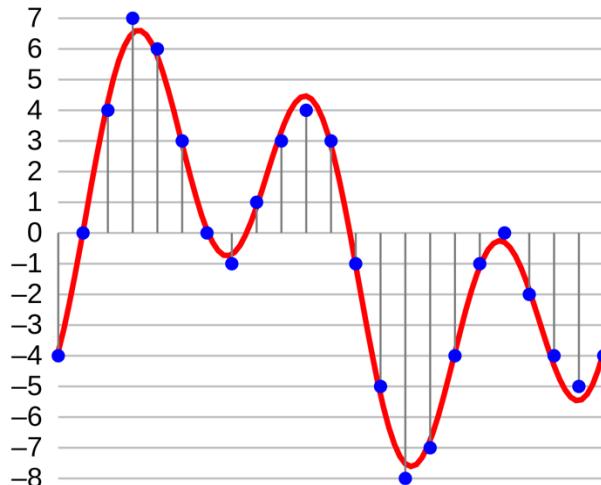
Segnali a:

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



Segnali a:

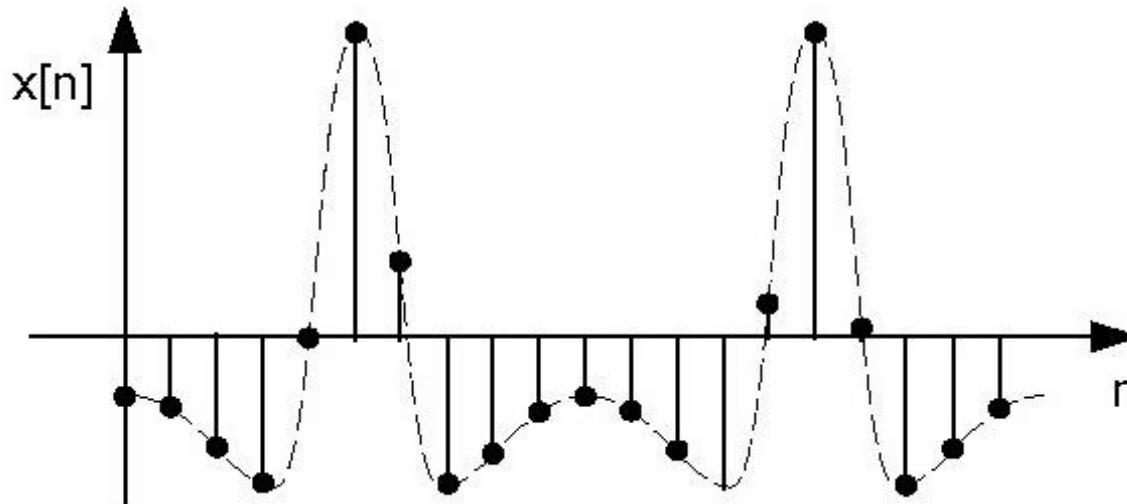
- **ampiezza, A, continua**
- **ampiezza, A, discreta**



	<b>T continuo</b>	<b>T discreto</b>
<b>A continua</b>	<b>Analogico</b>	<b>Campionato</b>
<b>A discreta</b>		<b>Digitale</b>

# 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)

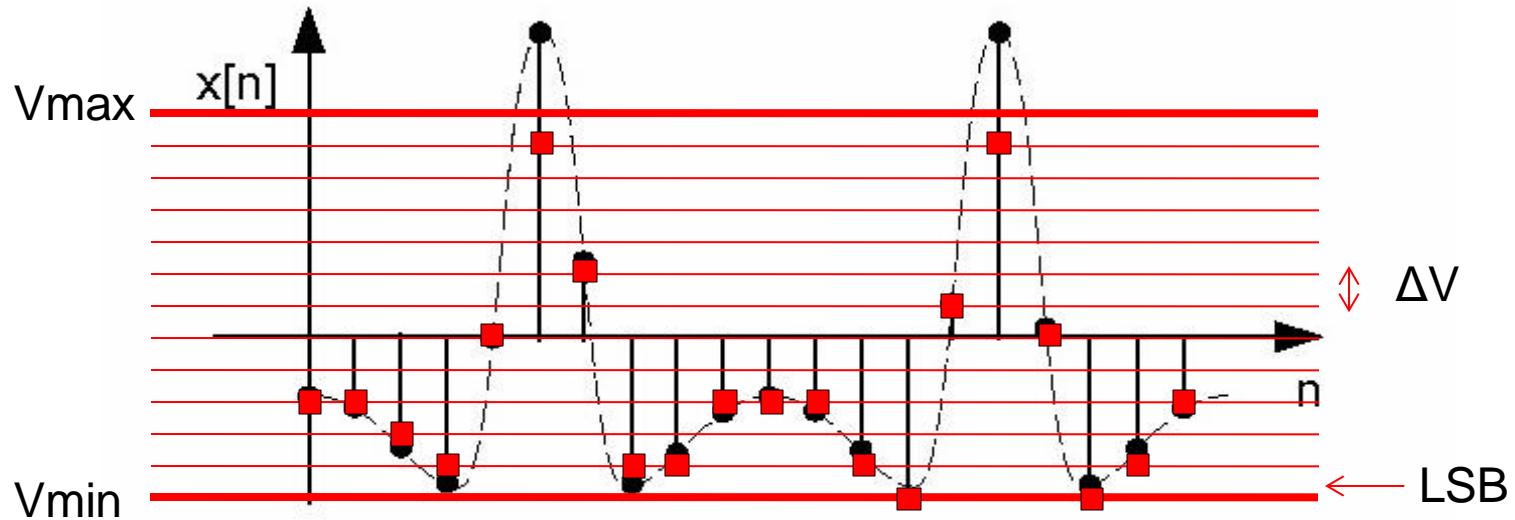
**Frequenza di campionamento:  $f_c = 1 / \Delta T$  (Hz)**

- 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)

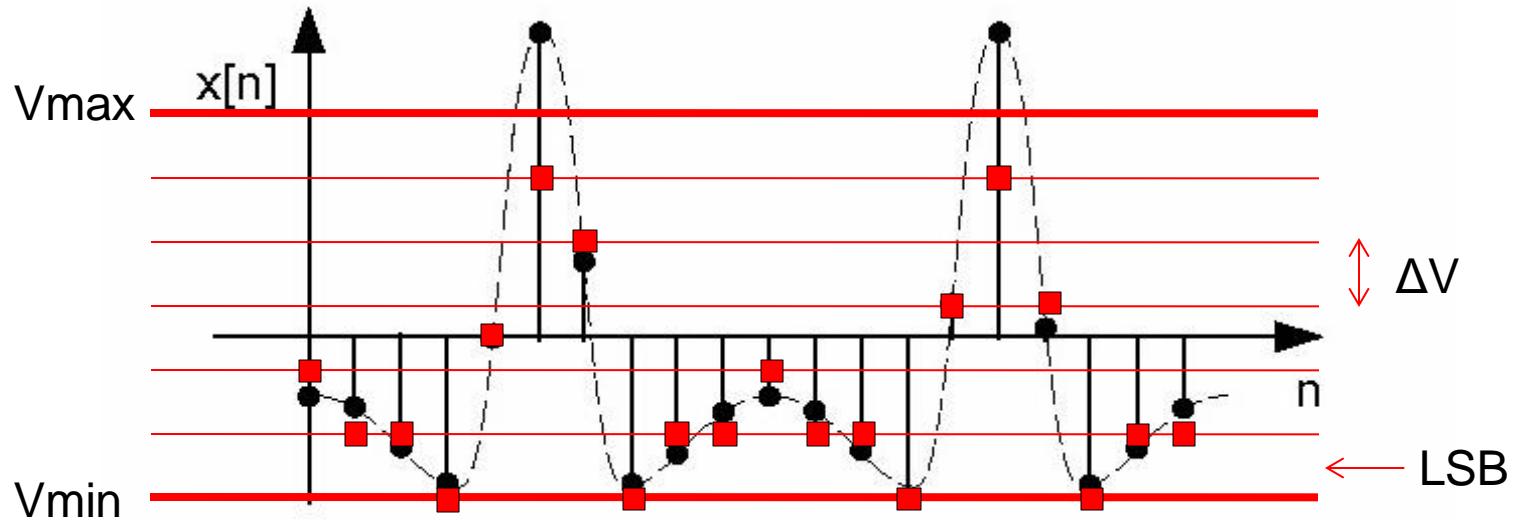
Esempio:  $V_{min} = -5V$ ,  $V_{max} = +5V$ ,  $\#bit = 8 \rightarrow n = 2^8 = 256$

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

# 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)

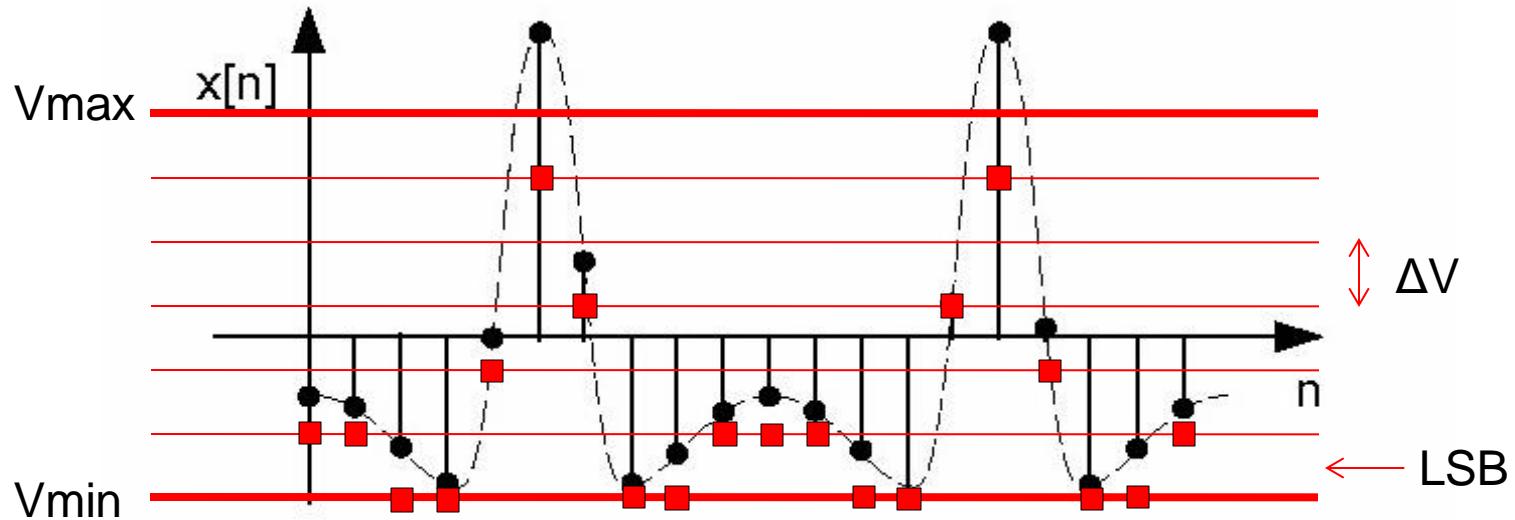
Esempio:  $V_{min} = -5V$ ,  $V_{max} = +5V$ ,  $\#bit = 7 \rightarrow n = 2^7 = 128$

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

# 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)

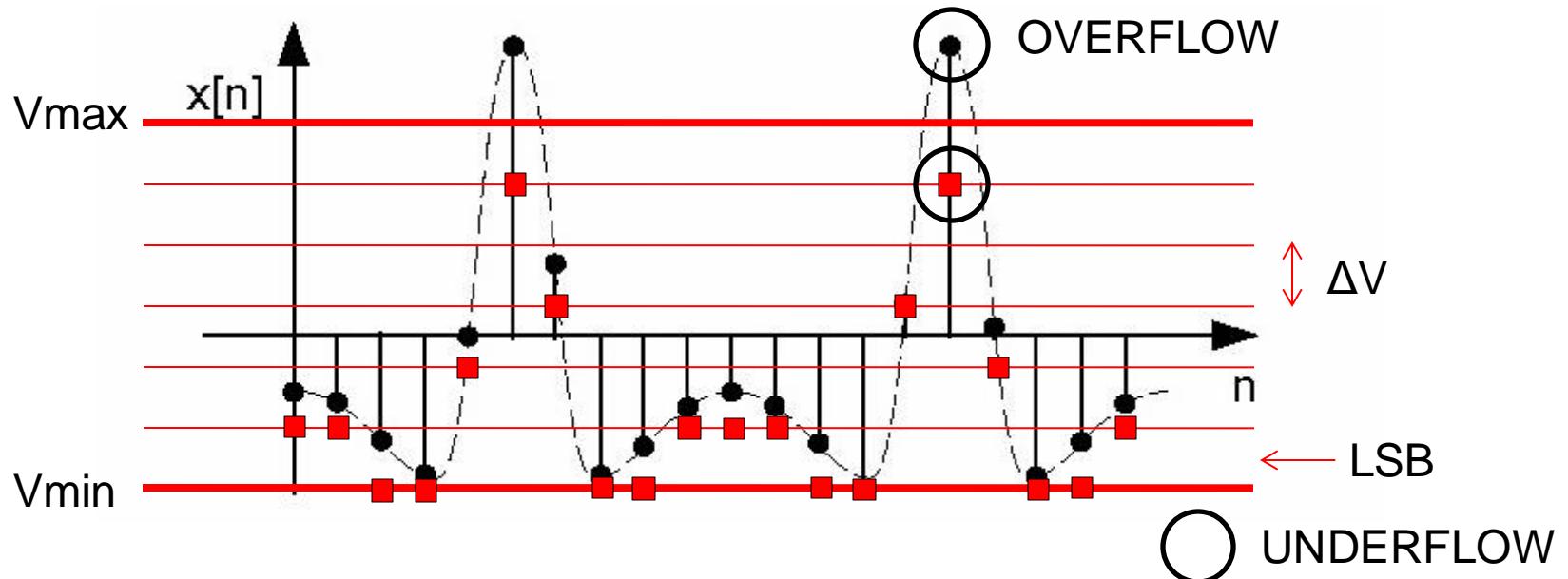
Esempio:  $V_{min} = -5V$ ,  $V_{max} = +5V$ ,  $\#bit = 7 \rightarrow n = 2^7 = 128$

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

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



Valore massimo di quantizzazione:  $V_{max}$

Valore minimo di quantizzazione:  $V_{min}$

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

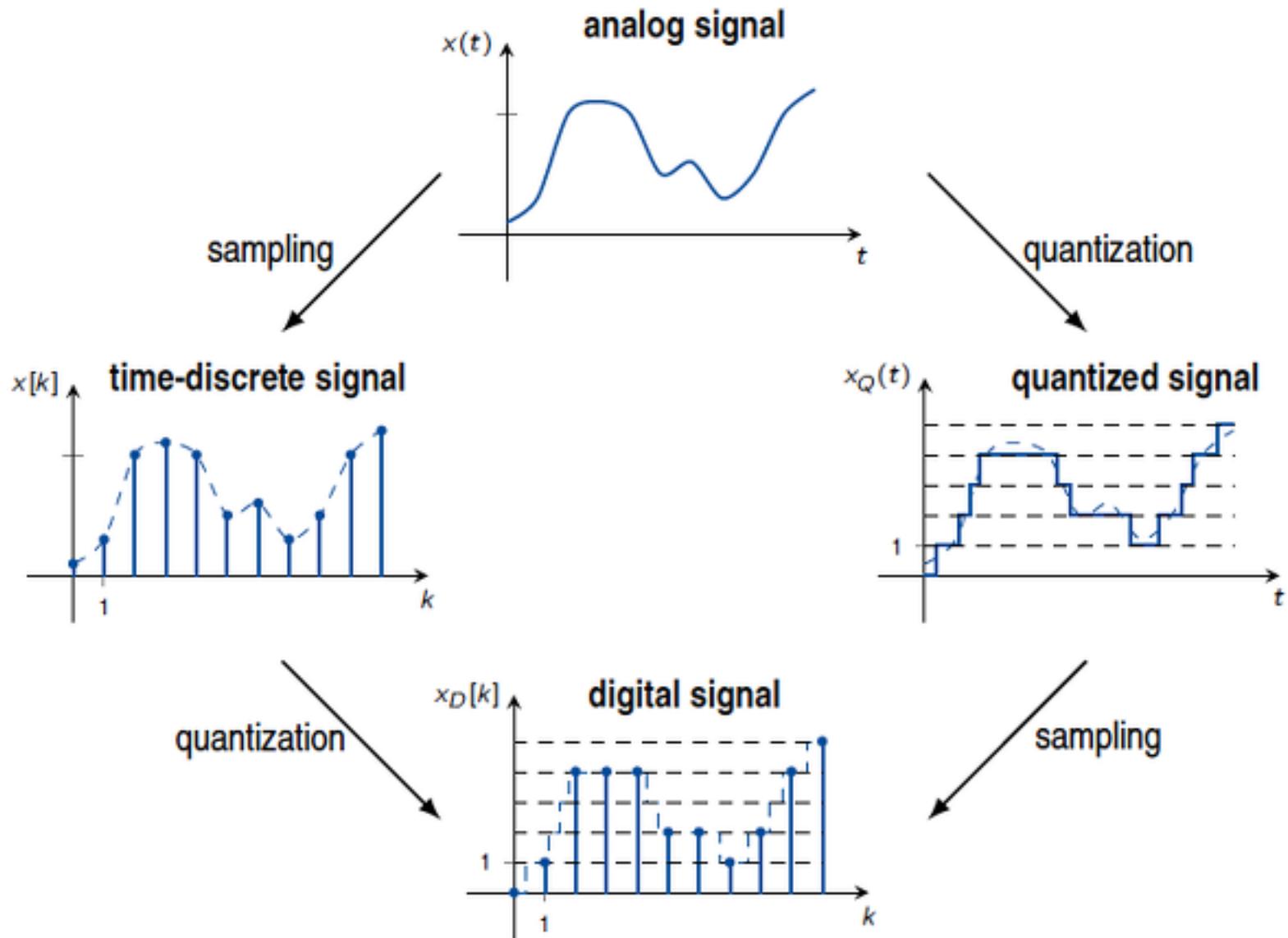
Risoluzione =  $\Delta V = (V_{max} - V_{min}) / n \leftrightarrow$  Least Significant Bit (LSB)

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

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

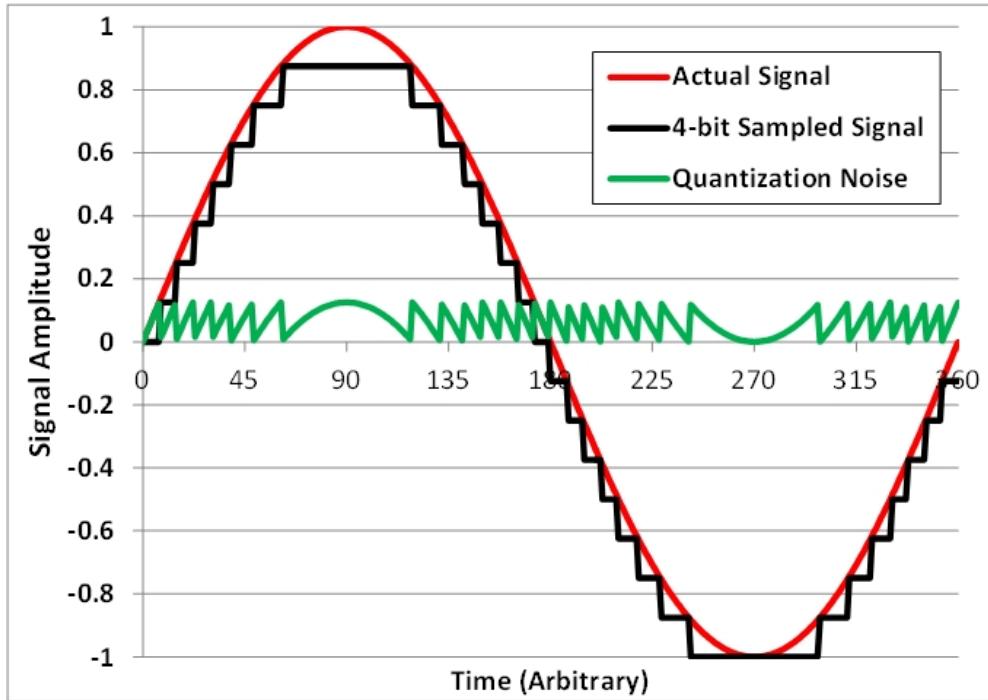
$$\Delta V = 10V / 128 = 80 \text{ mV}$$

# 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

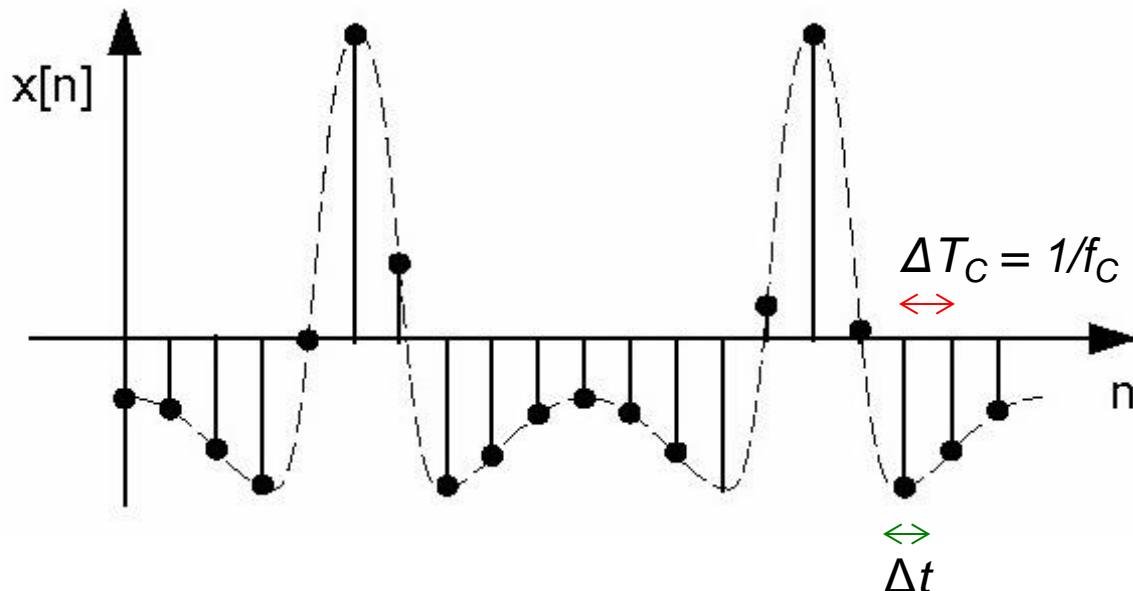
Perché in molte applicazioni si preferiscono sistemi digitali a sistemi analogici?

- 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

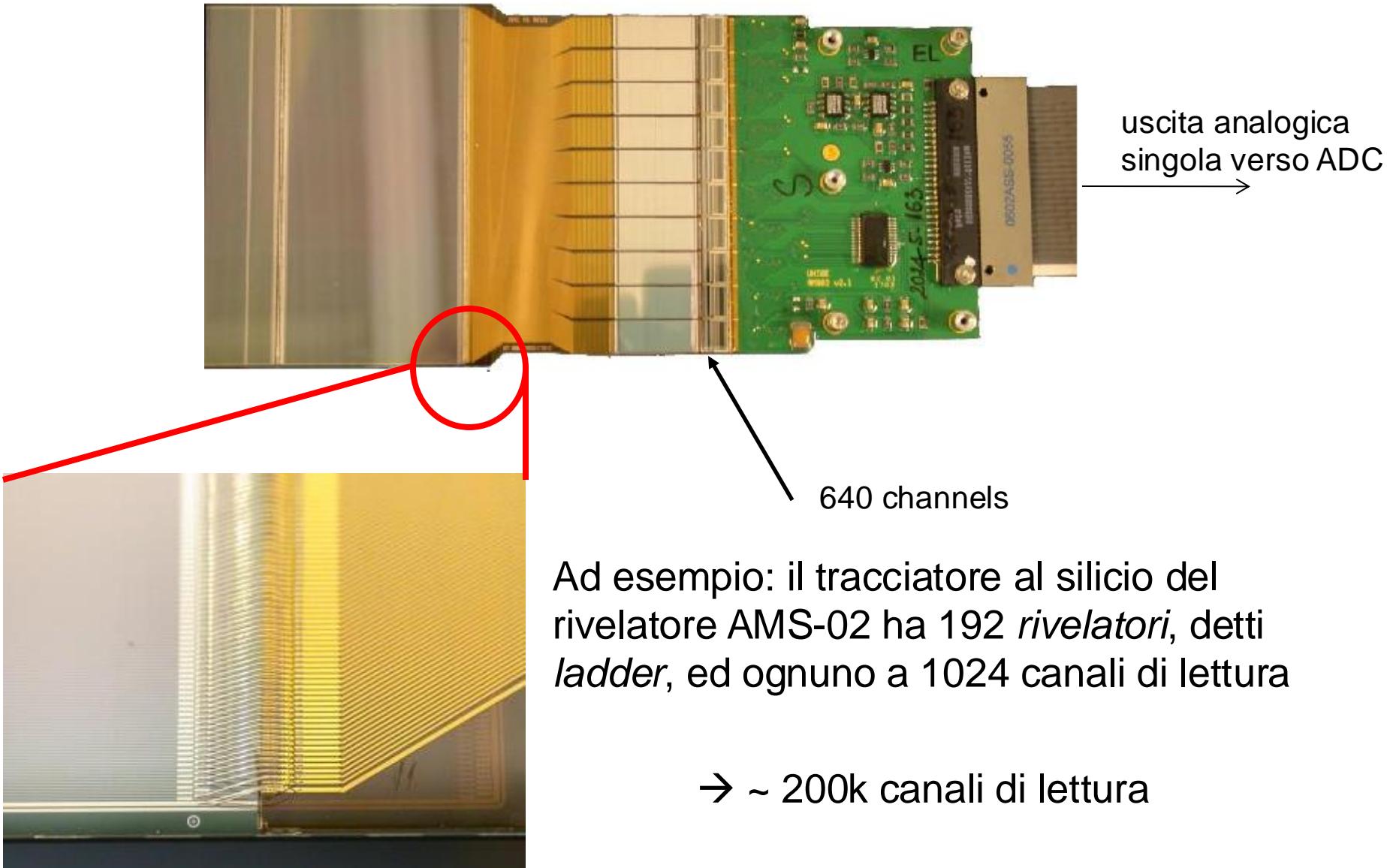
CMS a LHC, CERN



O(100'000'000) canali di lettura

# Un esempio

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

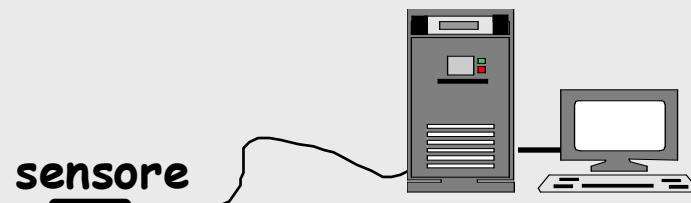


# Semplice schema di sistema DAQ

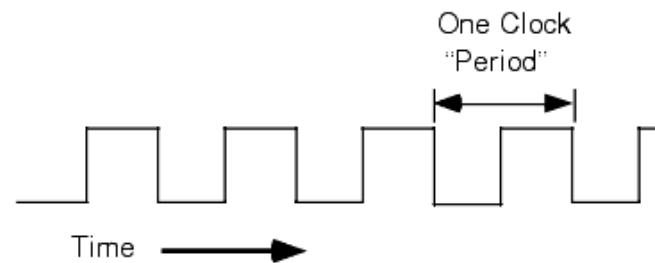
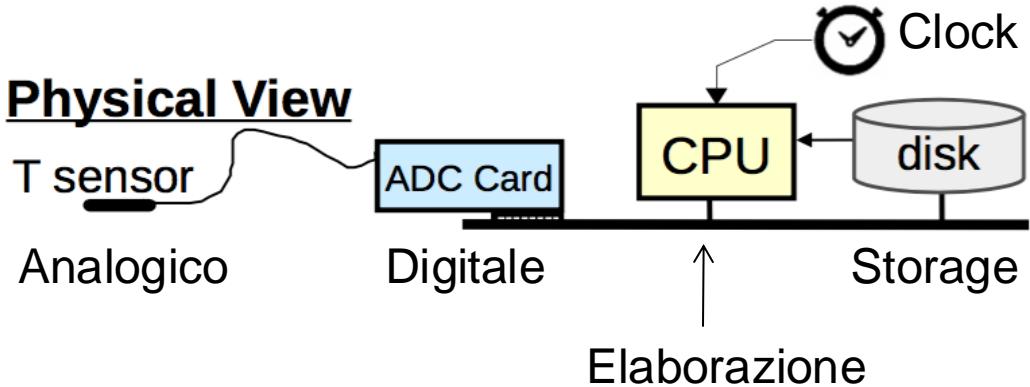
## DAQ: Data AcQuisition (System)

Esempio: registrazione della temperatura misurata da un sensore

### Vista esterna



### Physical View



**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

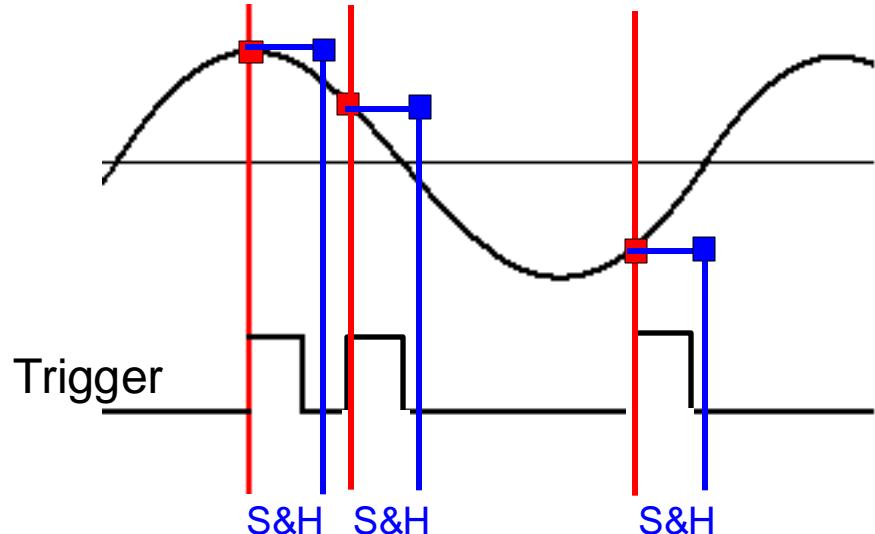
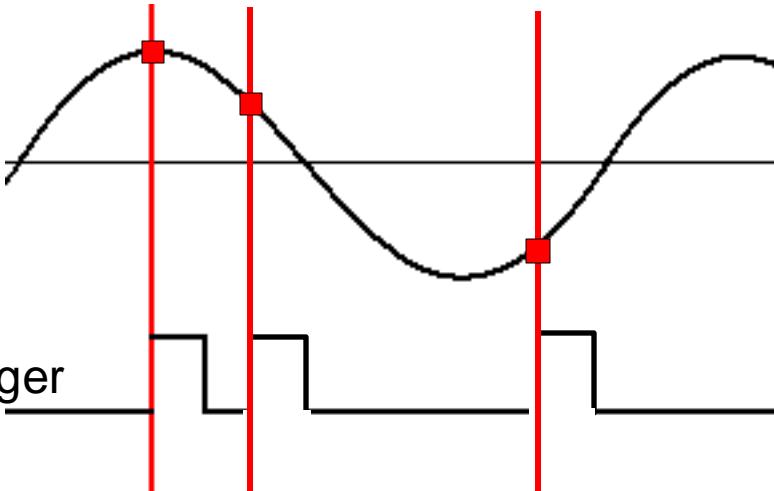
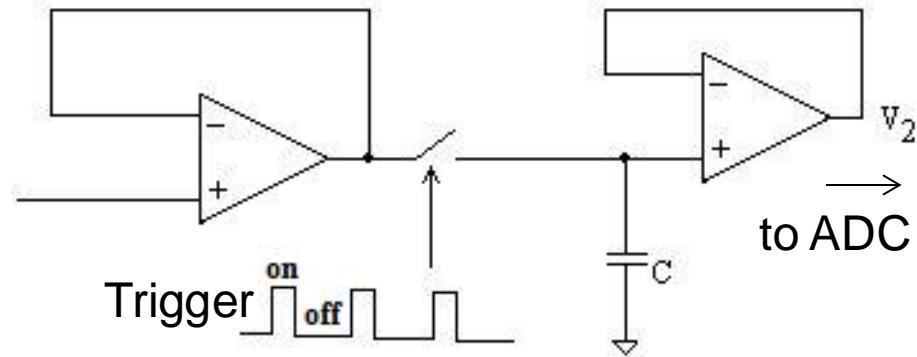
## Con "trigger":

- 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



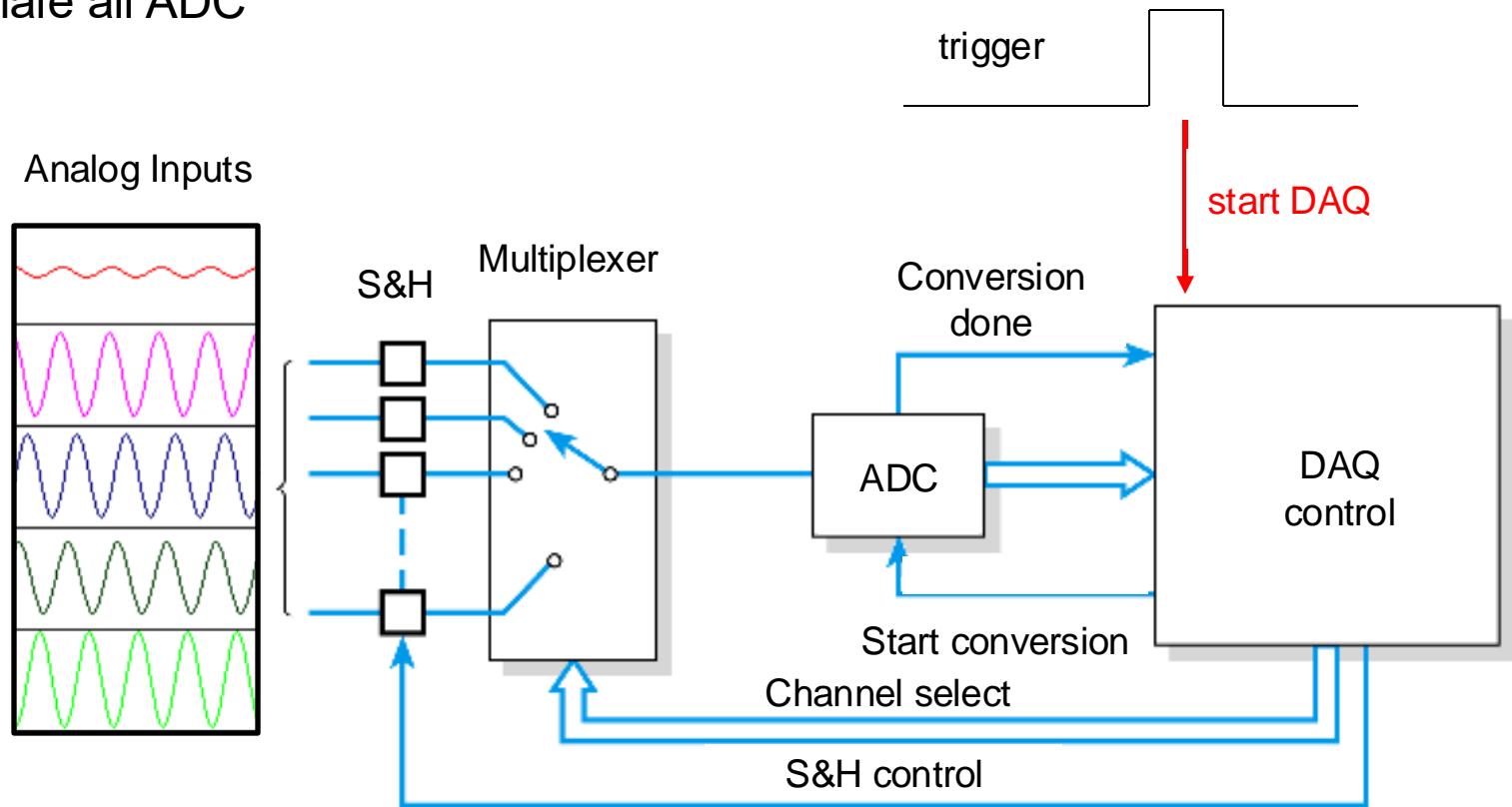
# Modalità di acquisizione

La sequenza di campioni può essere relativa a:

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

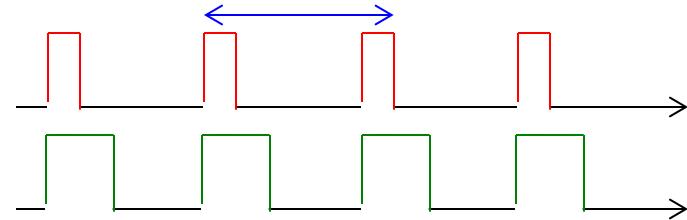
**Multiplexer**: dispositivo che seleziona tra  $N$  input quale redirigere su un unico output

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

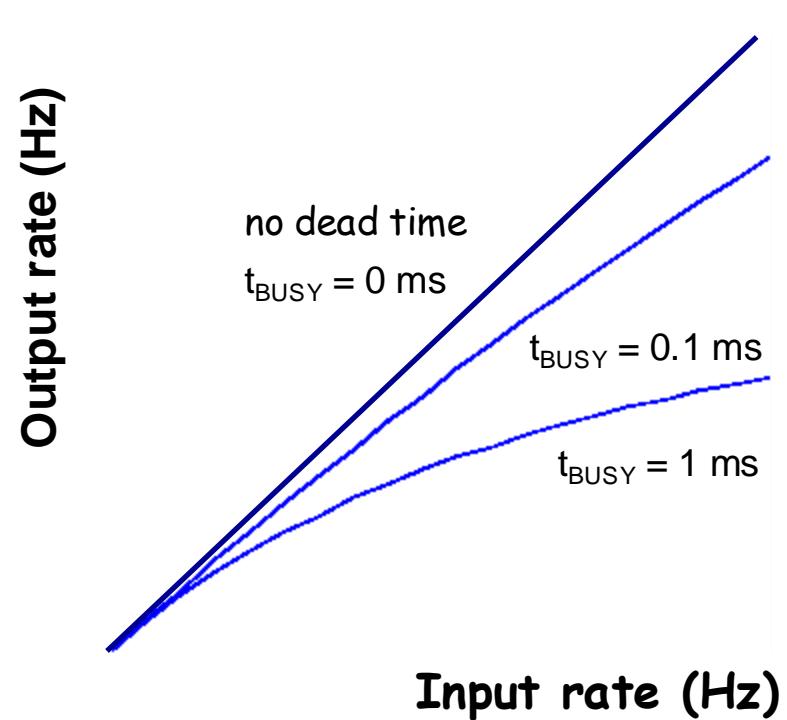
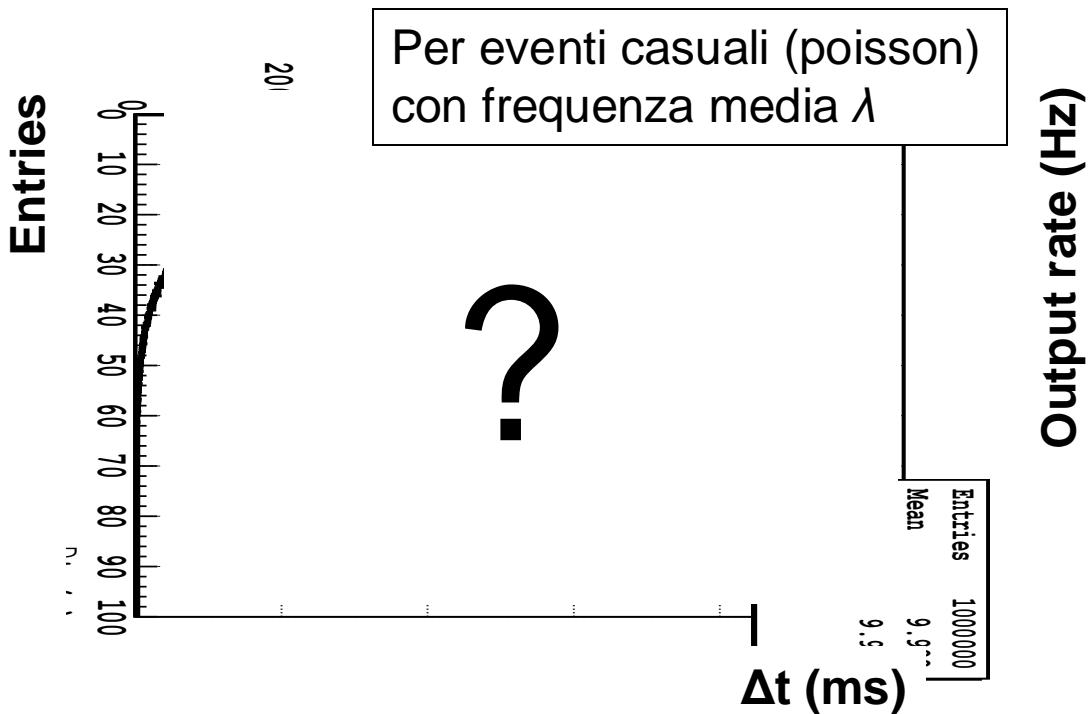
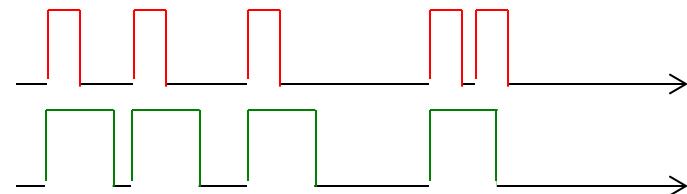


# Tempo morto

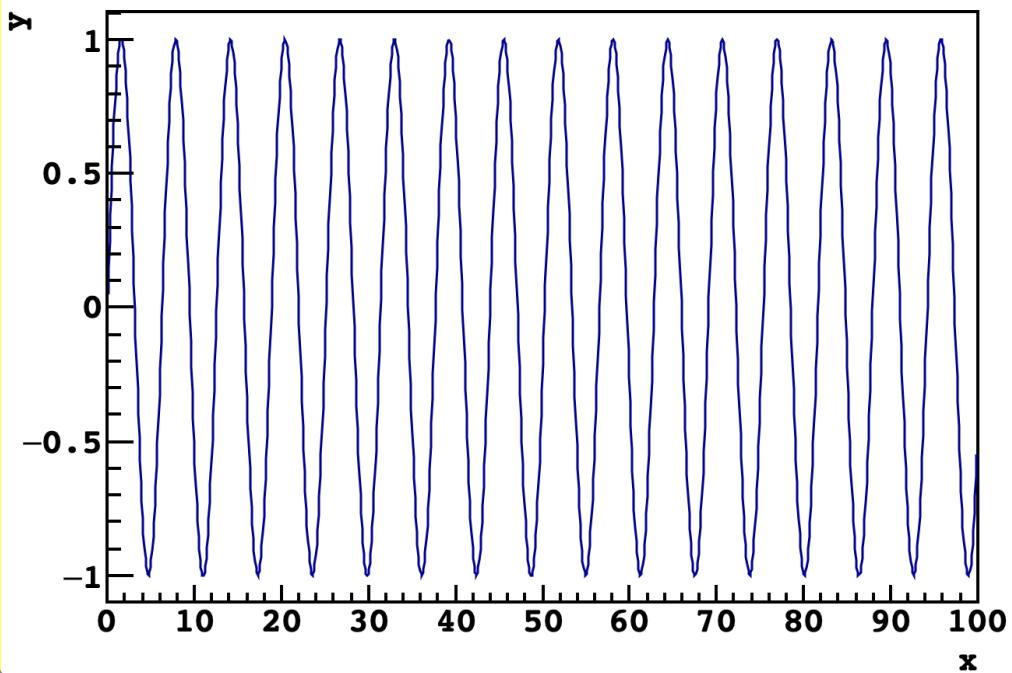
**Trigger Regolari:** se il busy time  $t_{BUSY} < \Delta t_{TRG}$ , allora  
frequenza misurata = frequenza vera



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



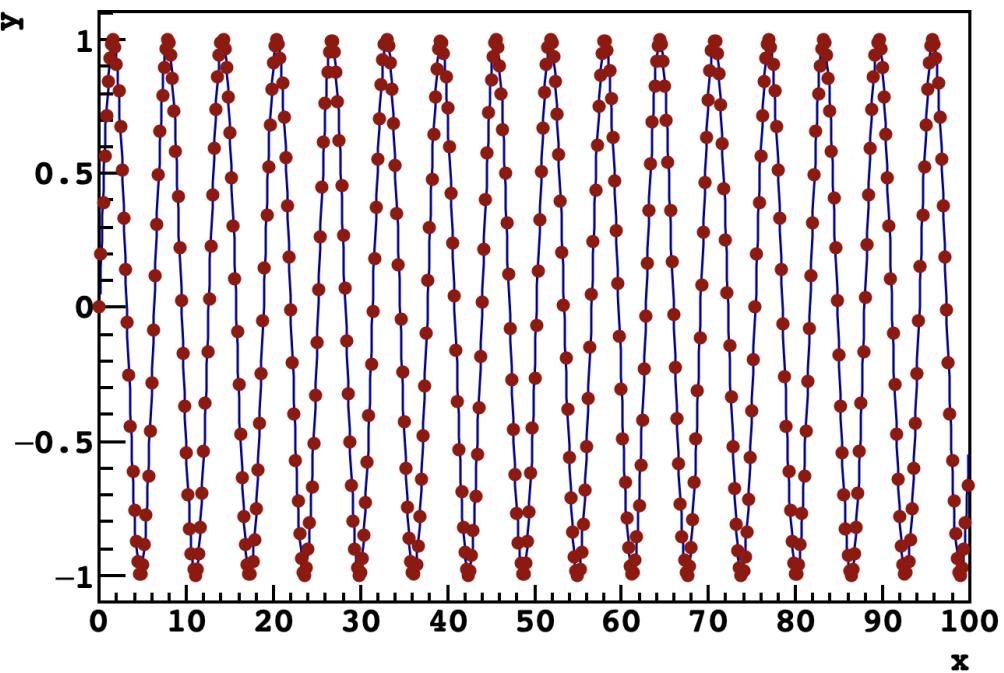
# parentesi: istogrammi...



**funzione  $\sin(x)$ :**

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

# parentesi: istogrammi...

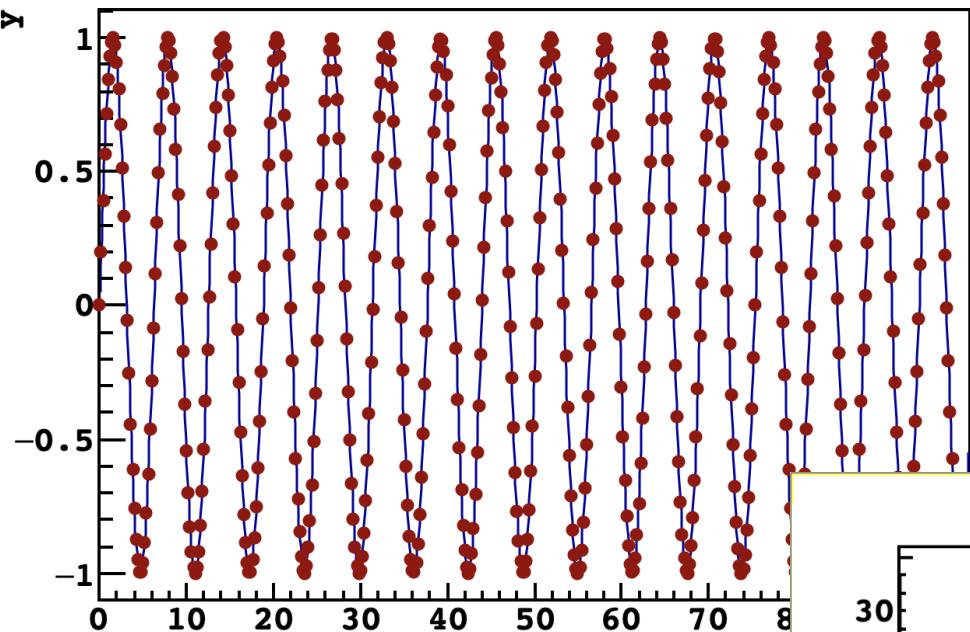


**funzione  $\sin(x)$ :**

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

→ dobbiamo almeno scegliere  
"cosa" istogrammare...

# parentesi: istogrammi...

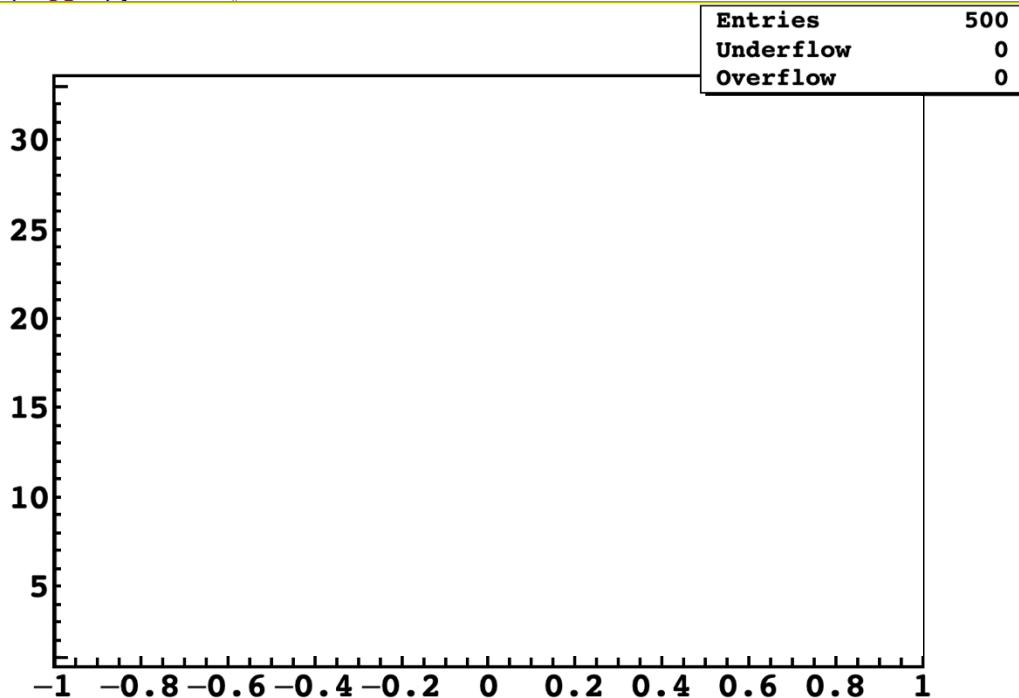


- cosa c'è sull'asse x?

**funzione  $\sin(x)$ :**

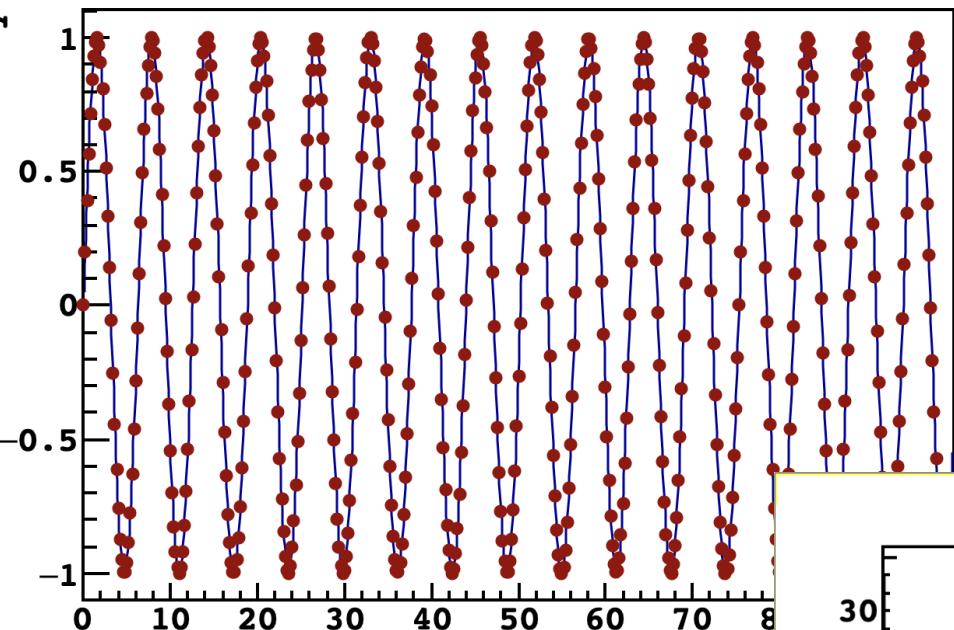
- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...



# parentesi: istogrammi...

y

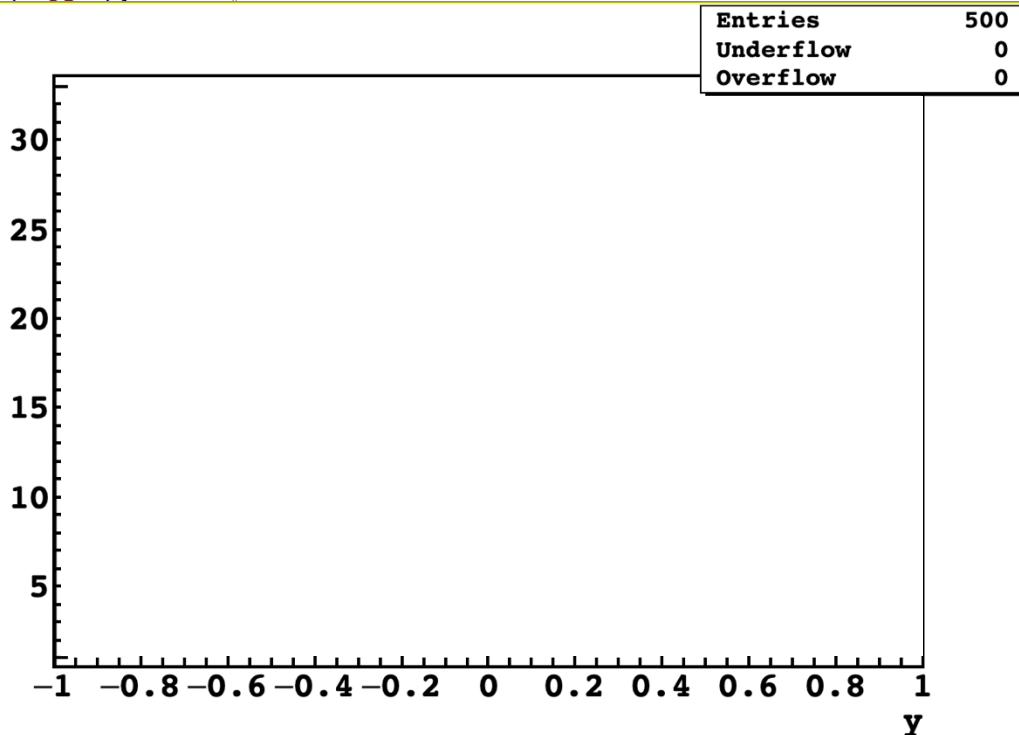


- cosa c'è sull'asse x?
- cosa c'è sull'asse y?

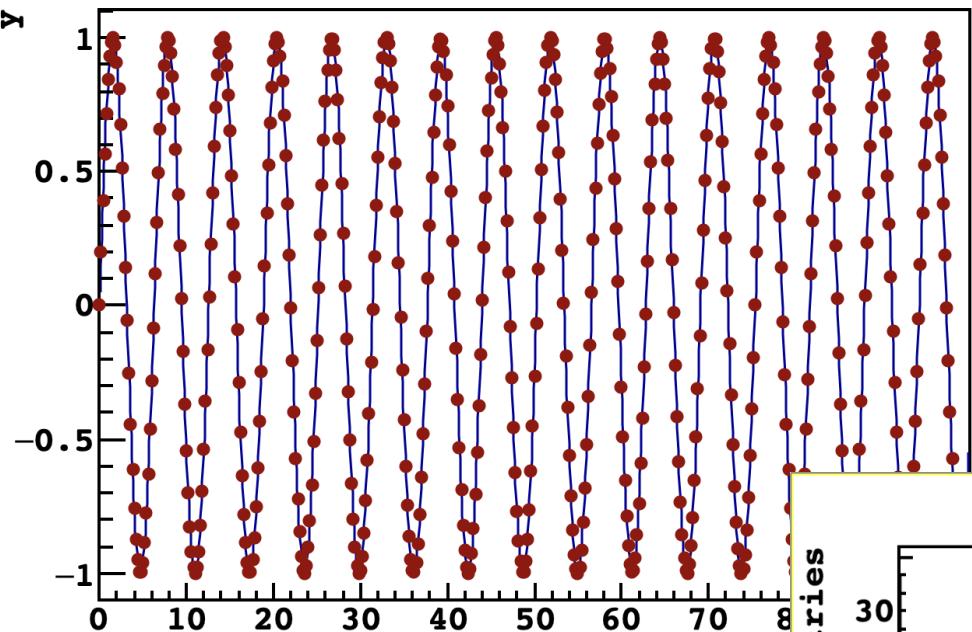
**funzione  $\sin(x)$ :**

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

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...



# parentesi: istogrammi...

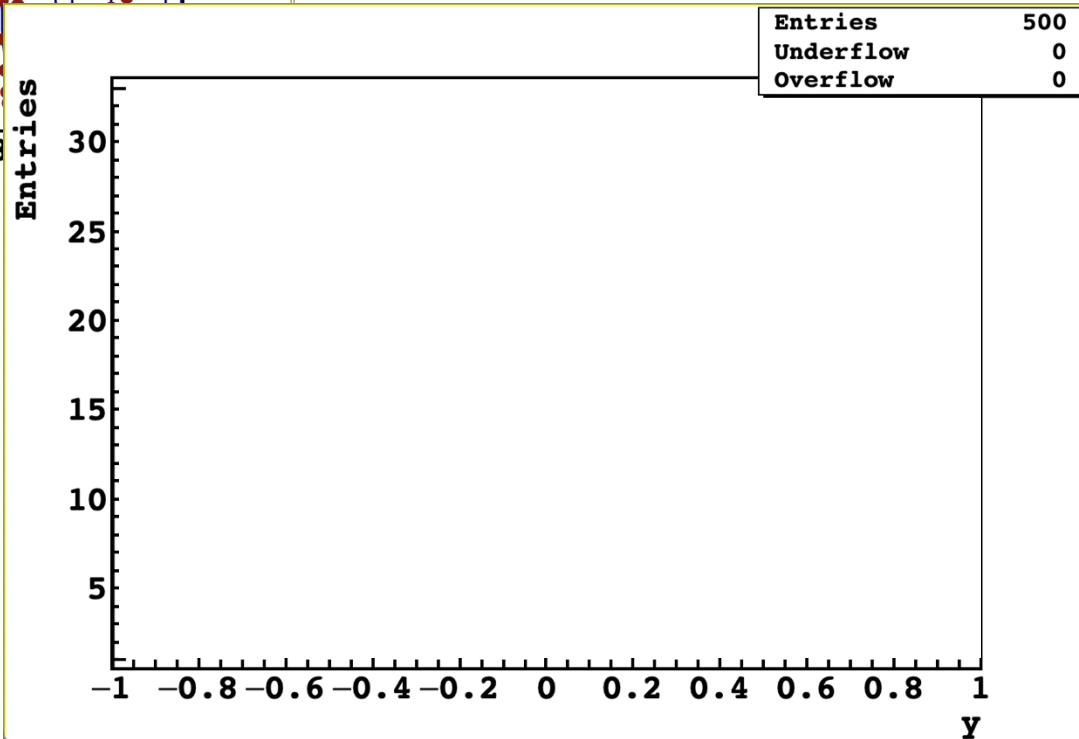


- cosa c'è sull'asse x?
- cosa c'è sull'asse y?
- che forma ha l'istogramma?

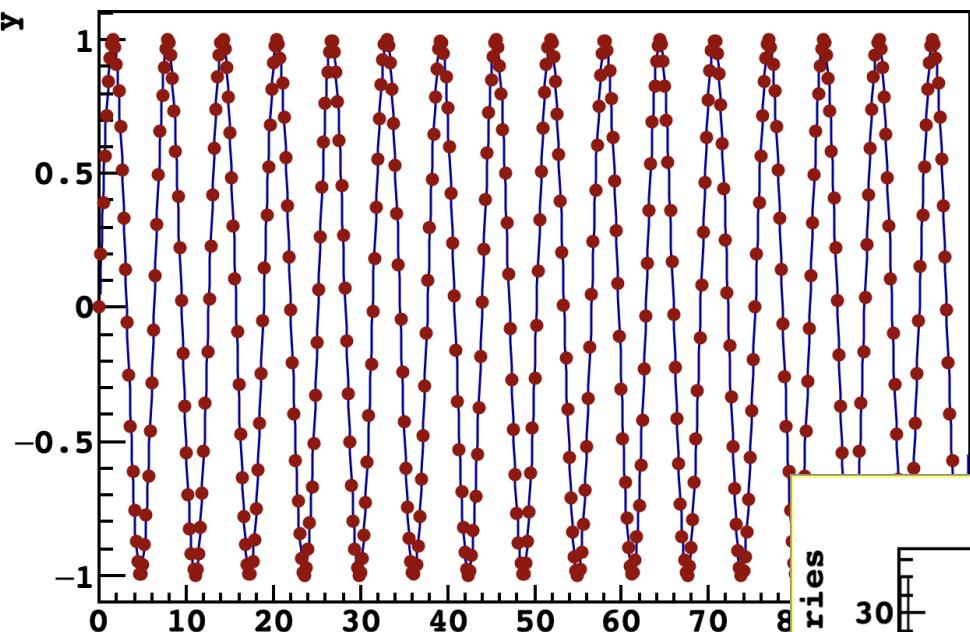
**funzione  $\sin(x)$ :**

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

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...



# parentesi: istogrammi...

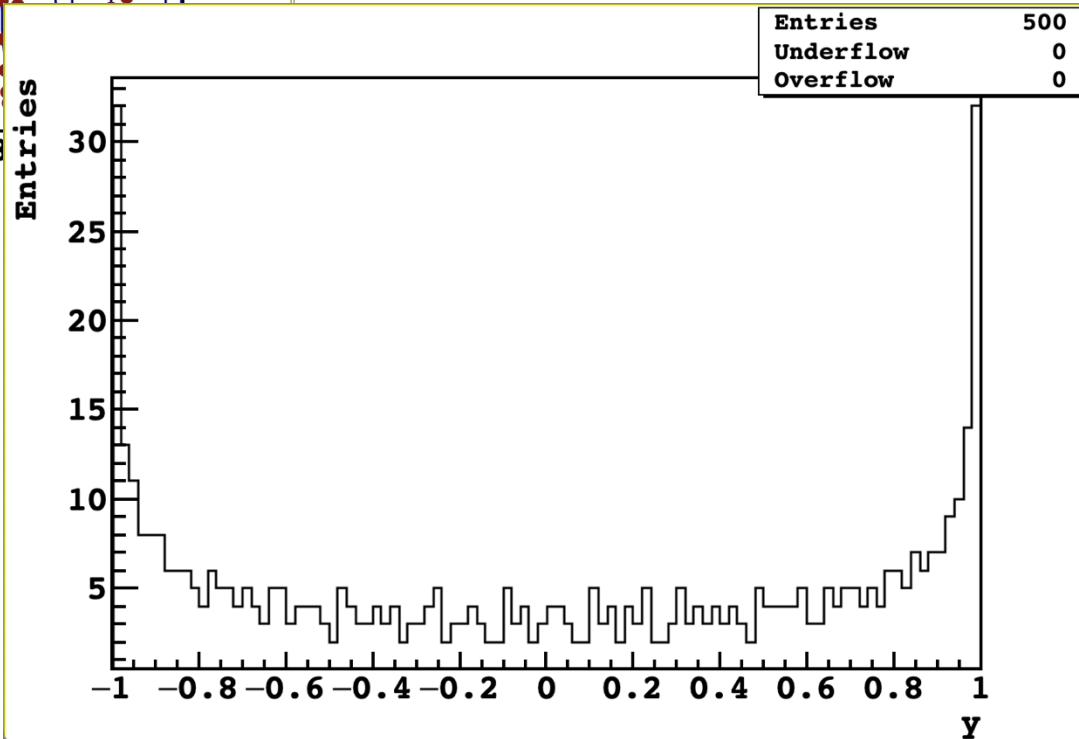


- cosa c'è sull'asse x?
- cosa c'è sull'asse y?
- che forma ha l'istogramma?

**funzione  $\sin(x)$ :**

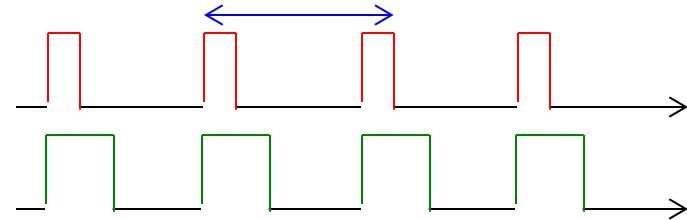
- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

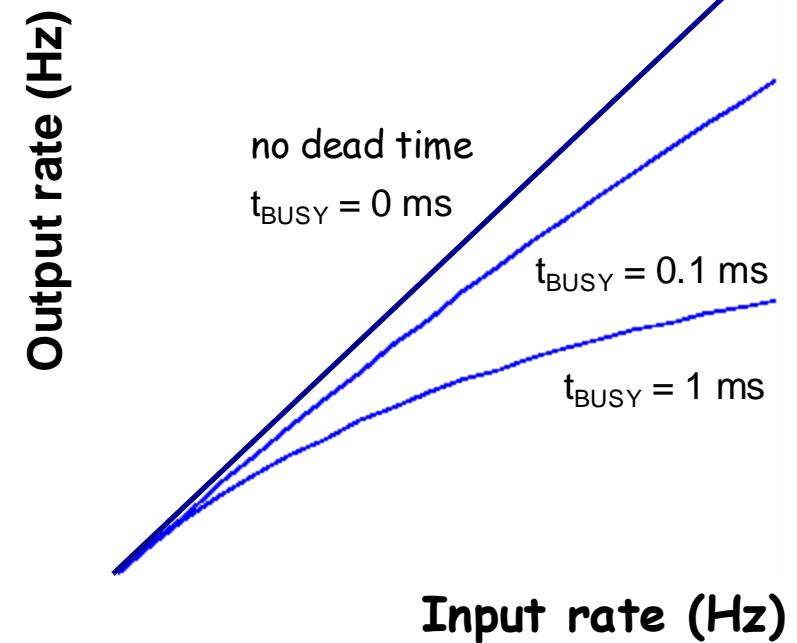
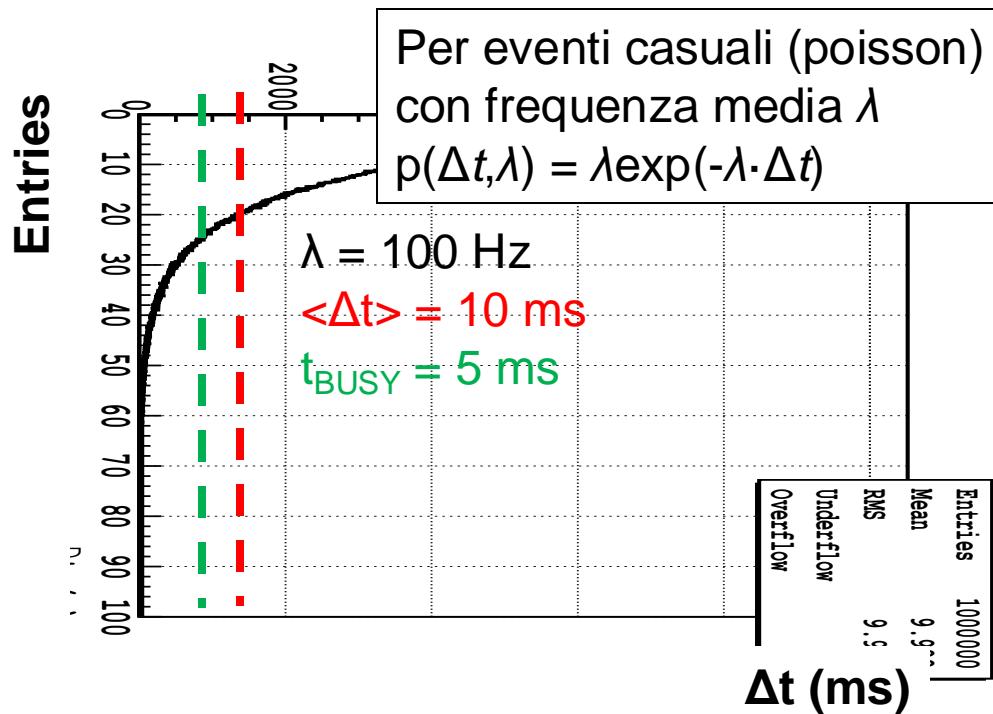
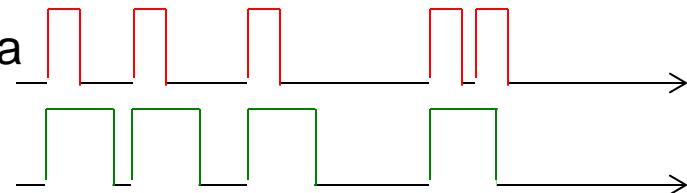


# Tempo morto

**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

