

Il “segnale”

Matteo Duranti

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 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

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 passeggio	Occhio e cervello guidatore
Voce del professore	Chiacchiere degli studenti	Occhio e cervello degli studenti

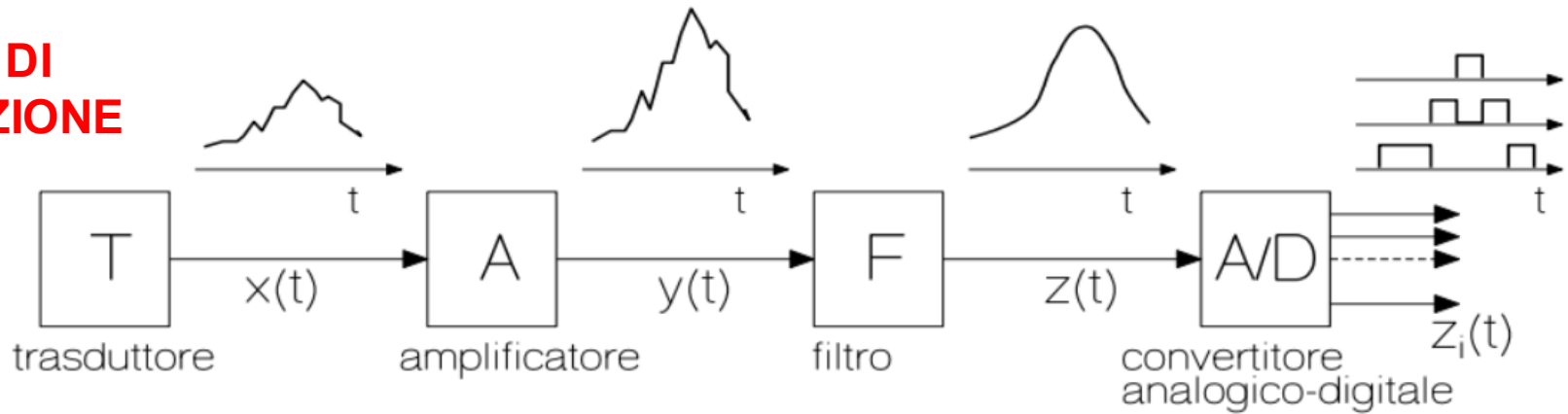
SEGNALE: Grandezza fisica variabile nel tempo a cui è associata una informazione

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

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

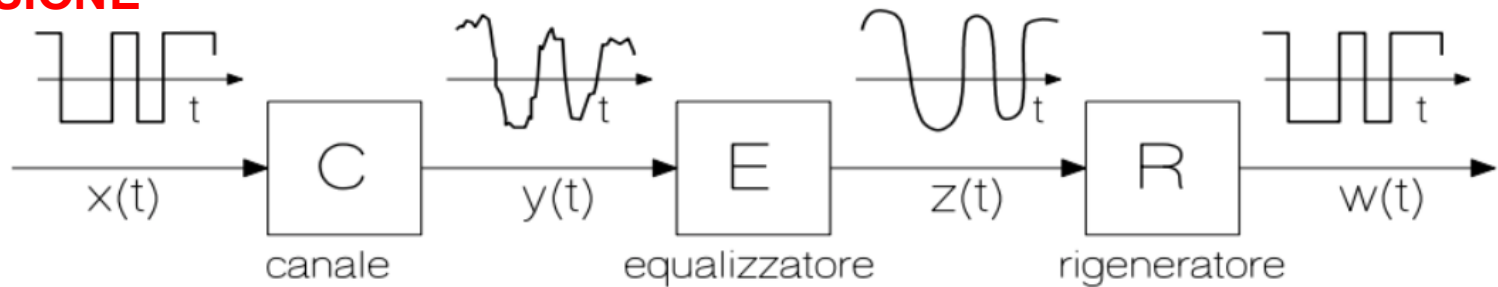
Amplificatore: aumenta l'ampiezza del segnale $y(t) = A \cdot x(t)$

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

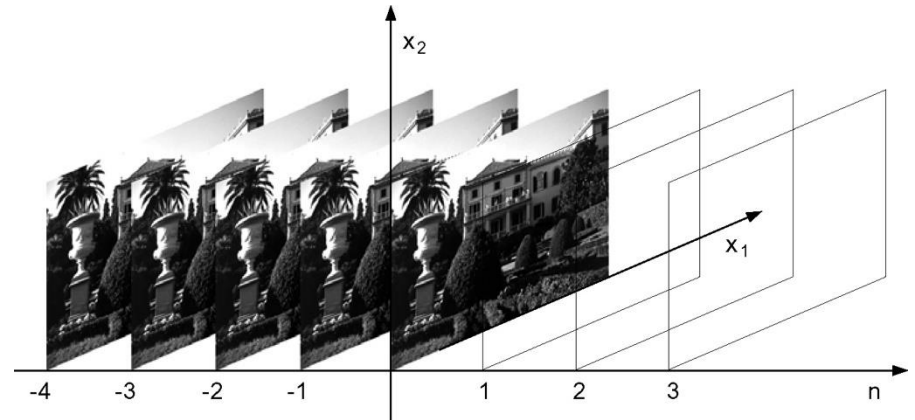
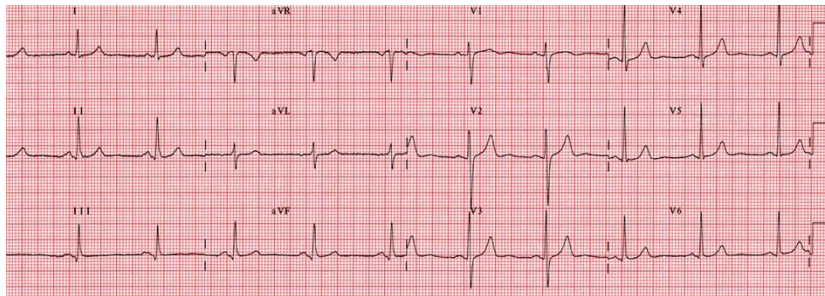
Segnale distorto durante la trasmissione $y(t)$

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

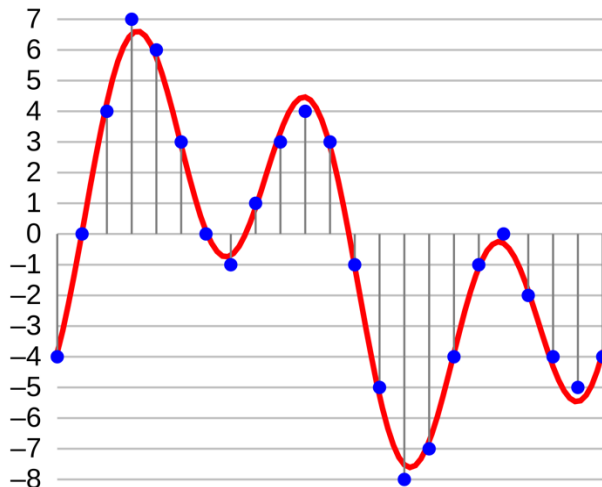
Segnali a:

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



Segnali a:

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

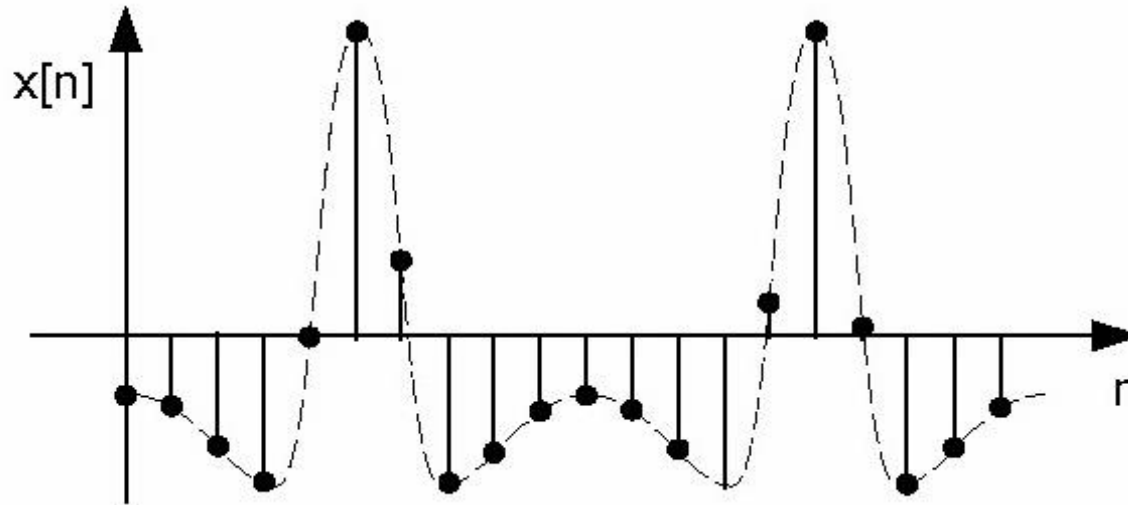


	T continuo	T discreto
A continua	Analogico	Campionato
A discreta		Digitale

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: ΔT (s)

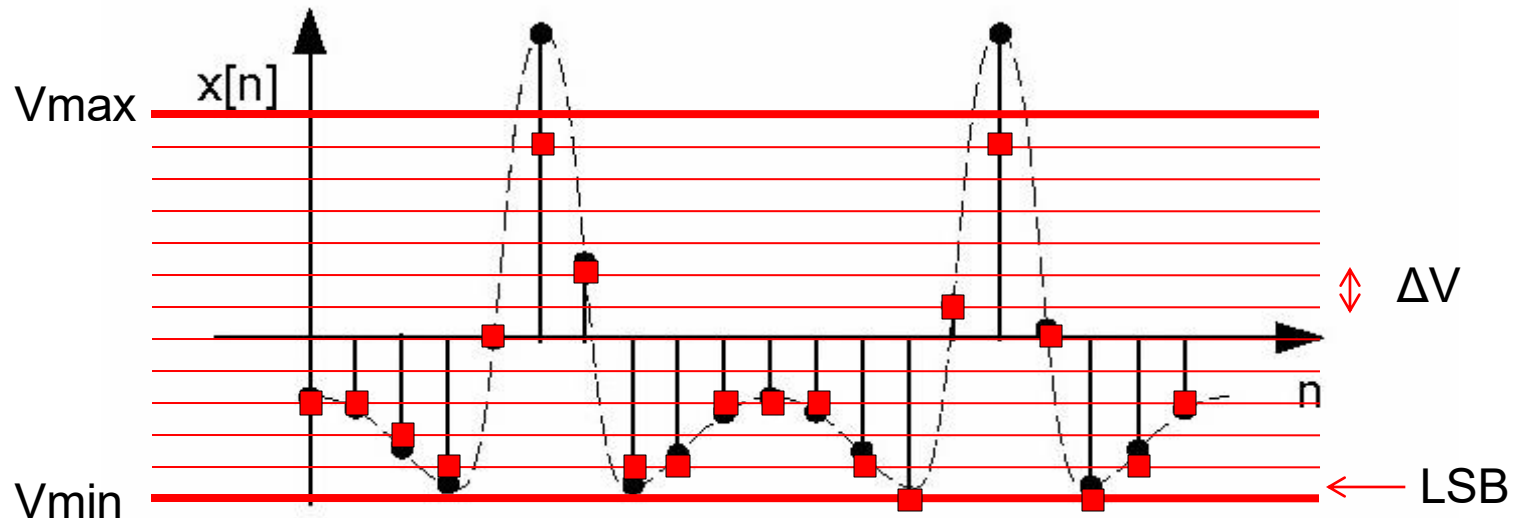
Frequenza di campionamento: $f_c = 1 / \Delta T$ (Hz)

- 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)

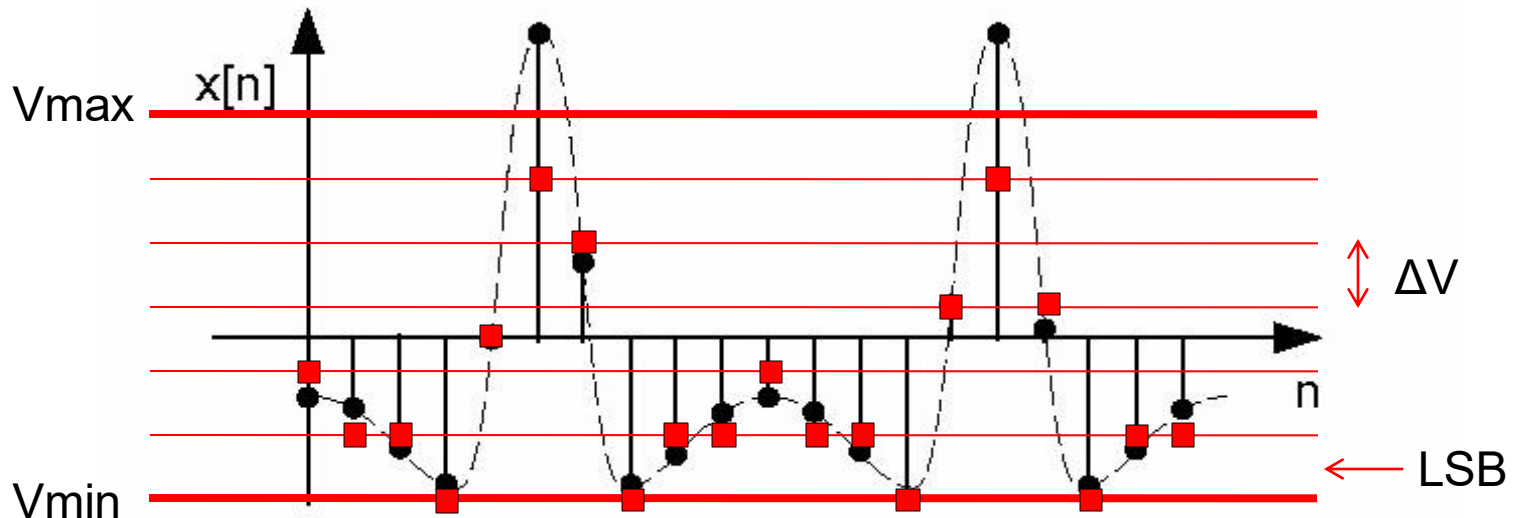
Esempio: $V_{min} = -5V$, $V_{max} = +5V$, $\#bit = 8 \rightarrow n = 2^8 = 256$

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

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: associa 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)

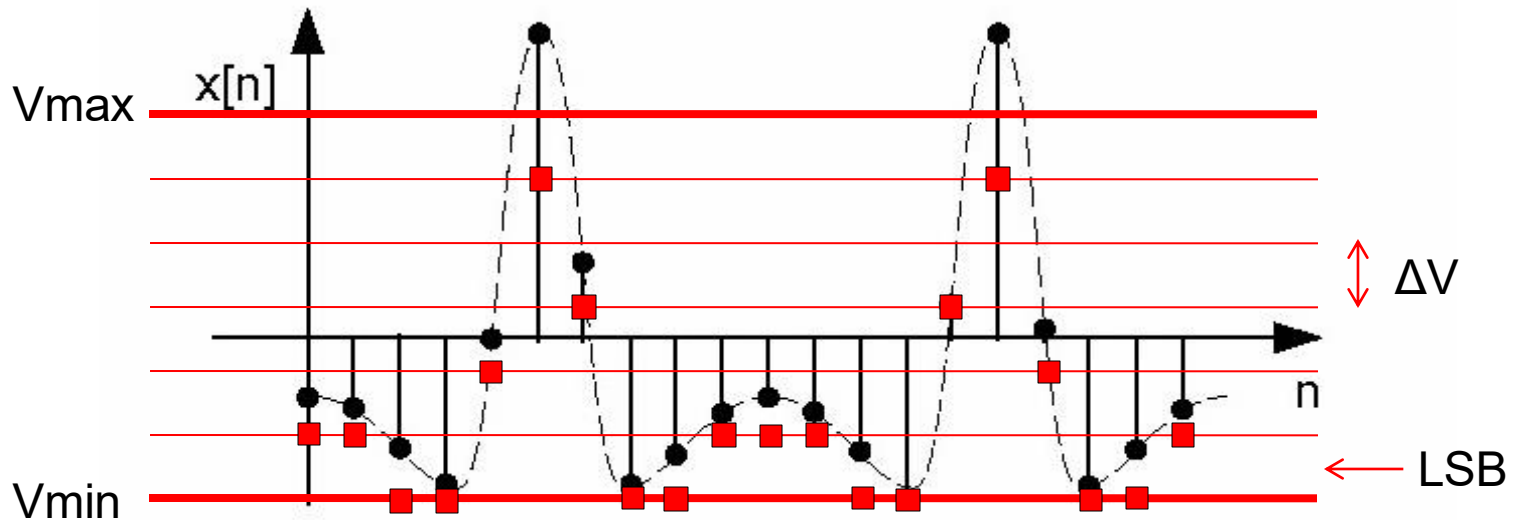
Esempio: $V_{min} = -5V$, $V_{max} = +5V$, $\#bit = 7 \rightarrow n = 2^7 = 128$

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

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: 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)

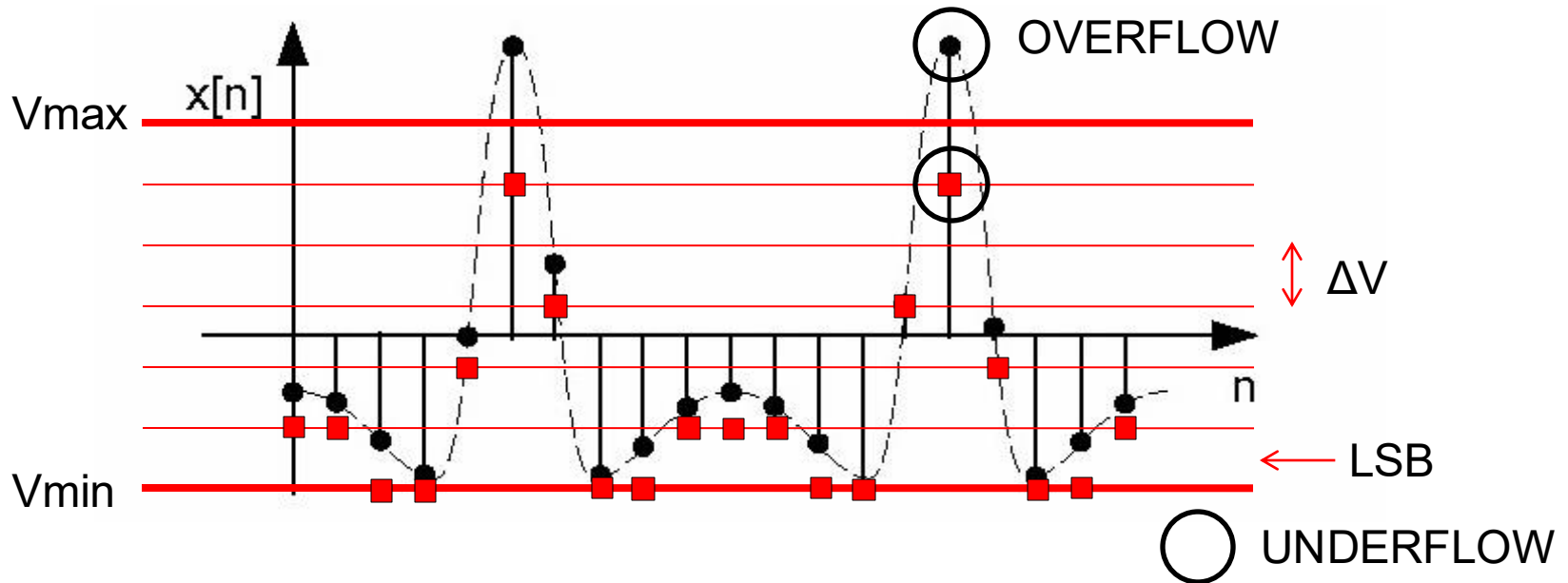
Esempio: $V_{min} = -5V$, $V_{max} = +5V$, $\#bit = 7 \rightarrow n = 2^7 = 128$

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

Digitalizzazione di un segnale campionato

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}

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

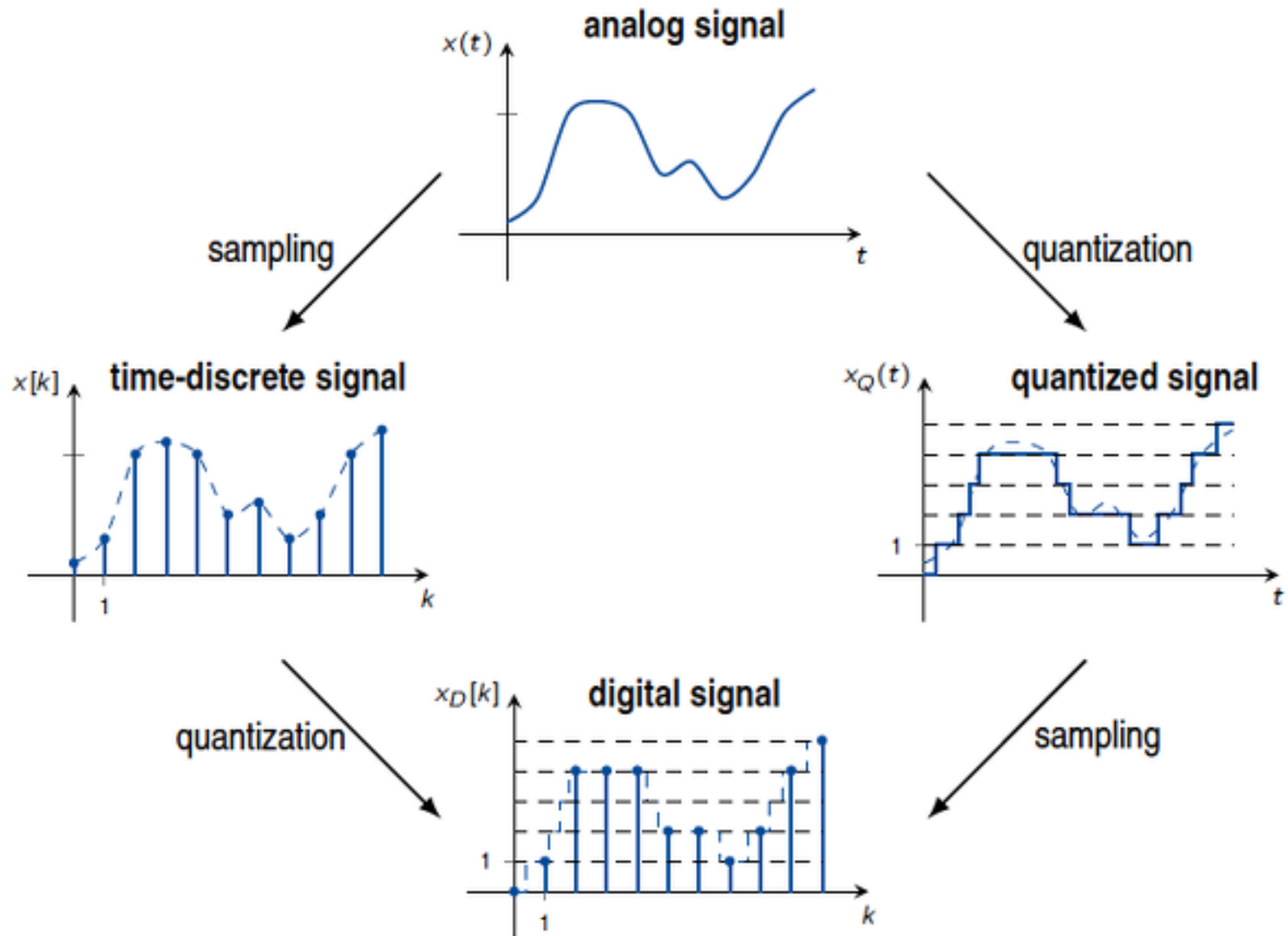
Numero di intervalli: n (tipicamente potenze di 2: 4bit, 8bit, 16bit, 32bit,)

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

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

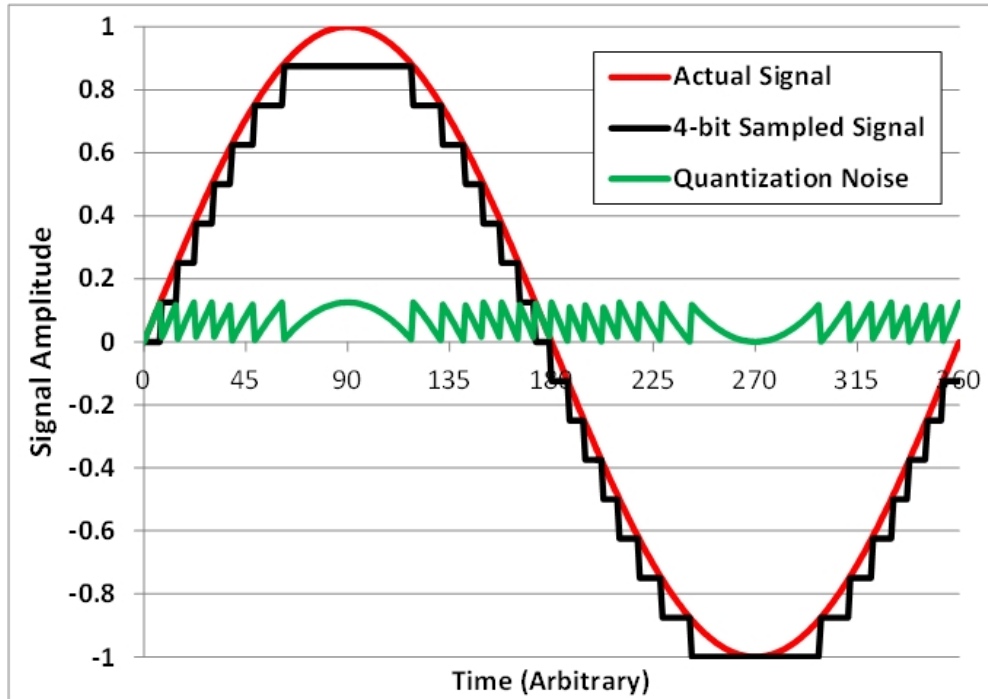
$$\Delta V = 10V / 128 = 80 \text{ mV}$$

Digitalizzazione di un segnale campionato



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 Δ dipende da come quantizziamo (troncamento o approssimazione) e dalla forma del segnale, specialmente per segnali il cui range è comparabile al LSB dell'ADC

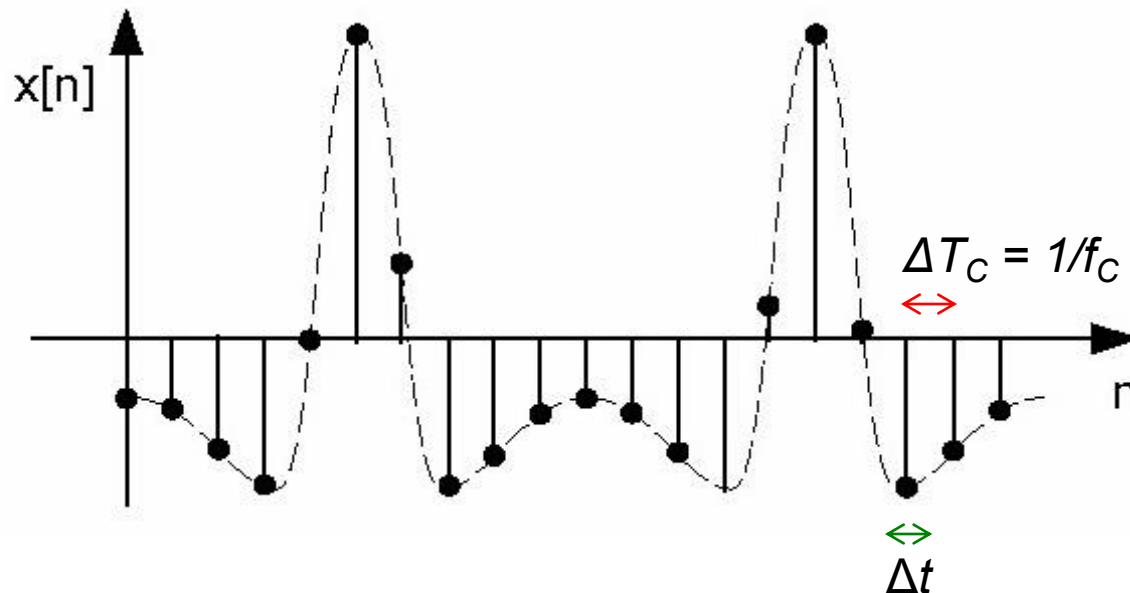
Perché in molte applicazioni si preferiscono sistemi digitali a sistemi analogici?

- 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 Δt



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

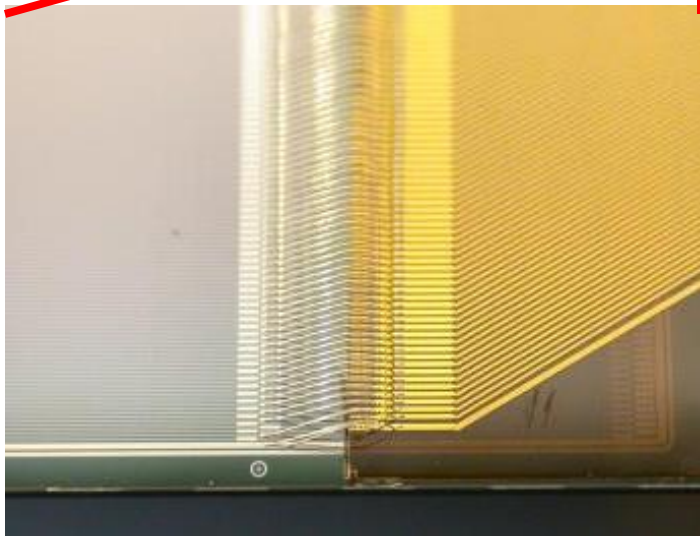
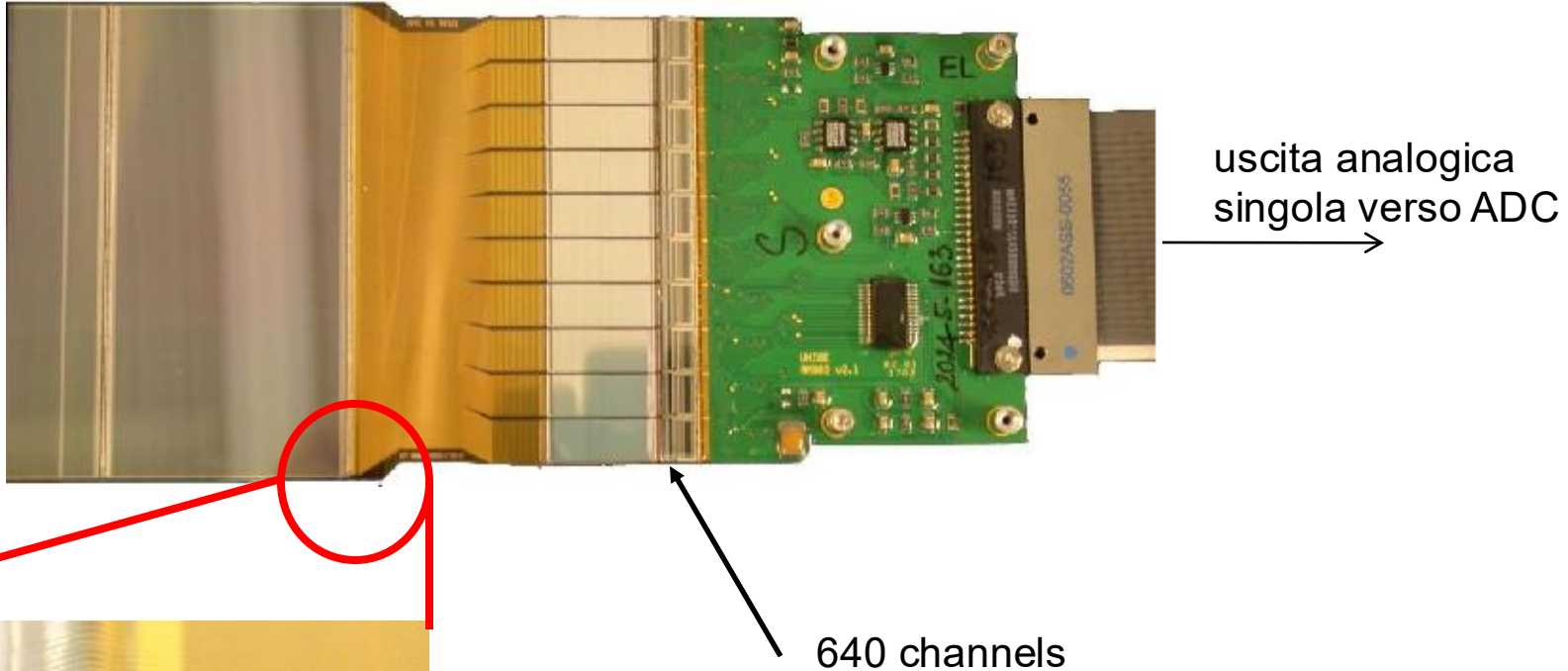
CMS a LHC, CERN



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

Un esempio

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



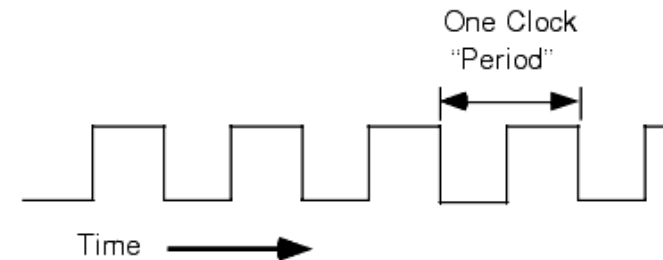
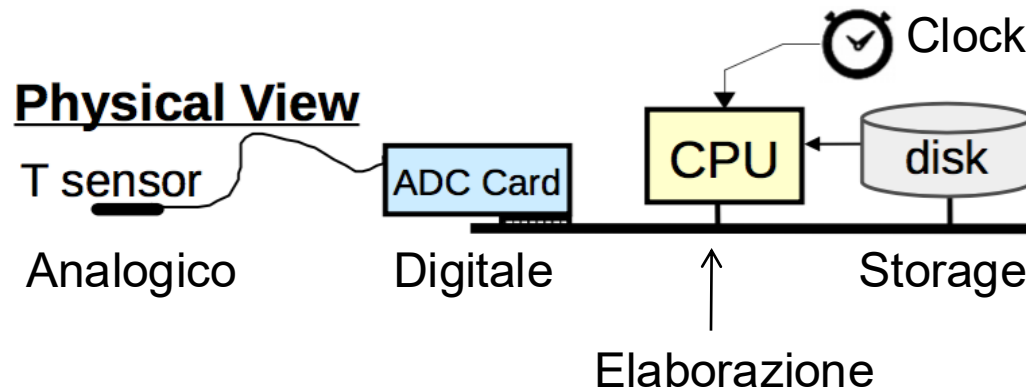
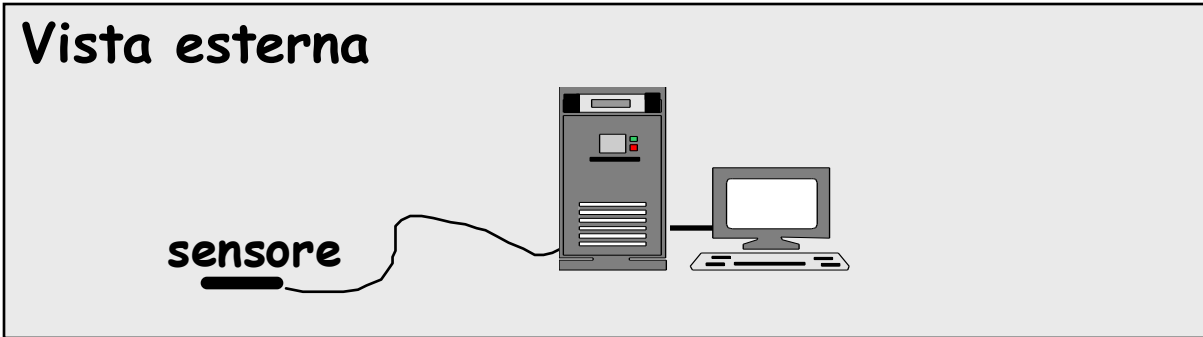
Ad esempio: il tracciatore al silicio del rivelatore AMS-02 ha 192 *rivelatori*, detti *ladder*, ed ognuno ha 1024 canali di lettura

→ ~ 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:

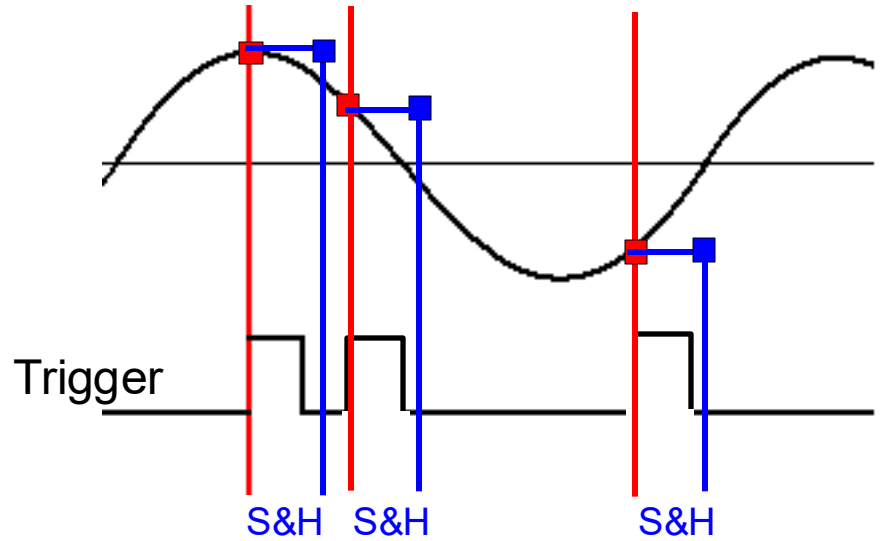
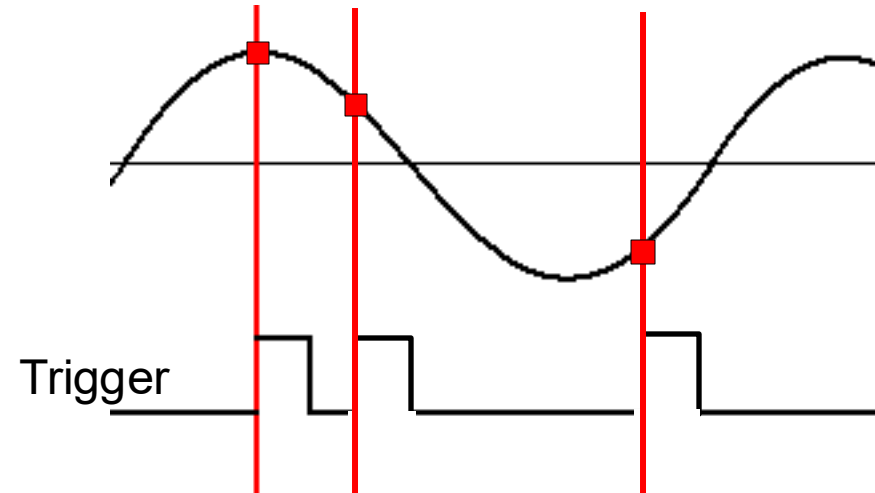
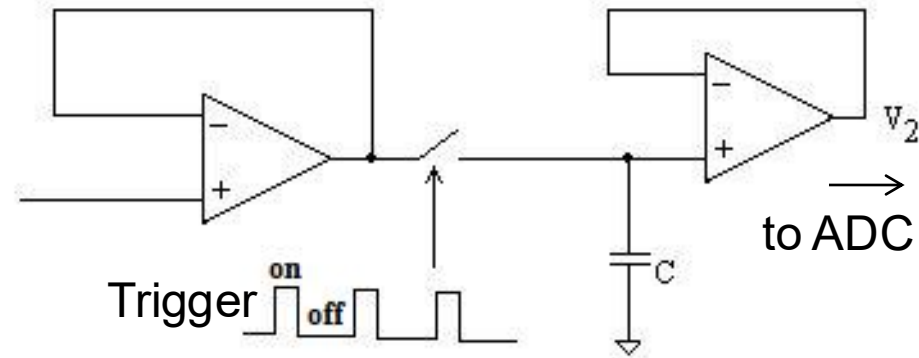
- A partire da un certo t_0 , il sistema acquisisce segnali a una frequenza costante

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



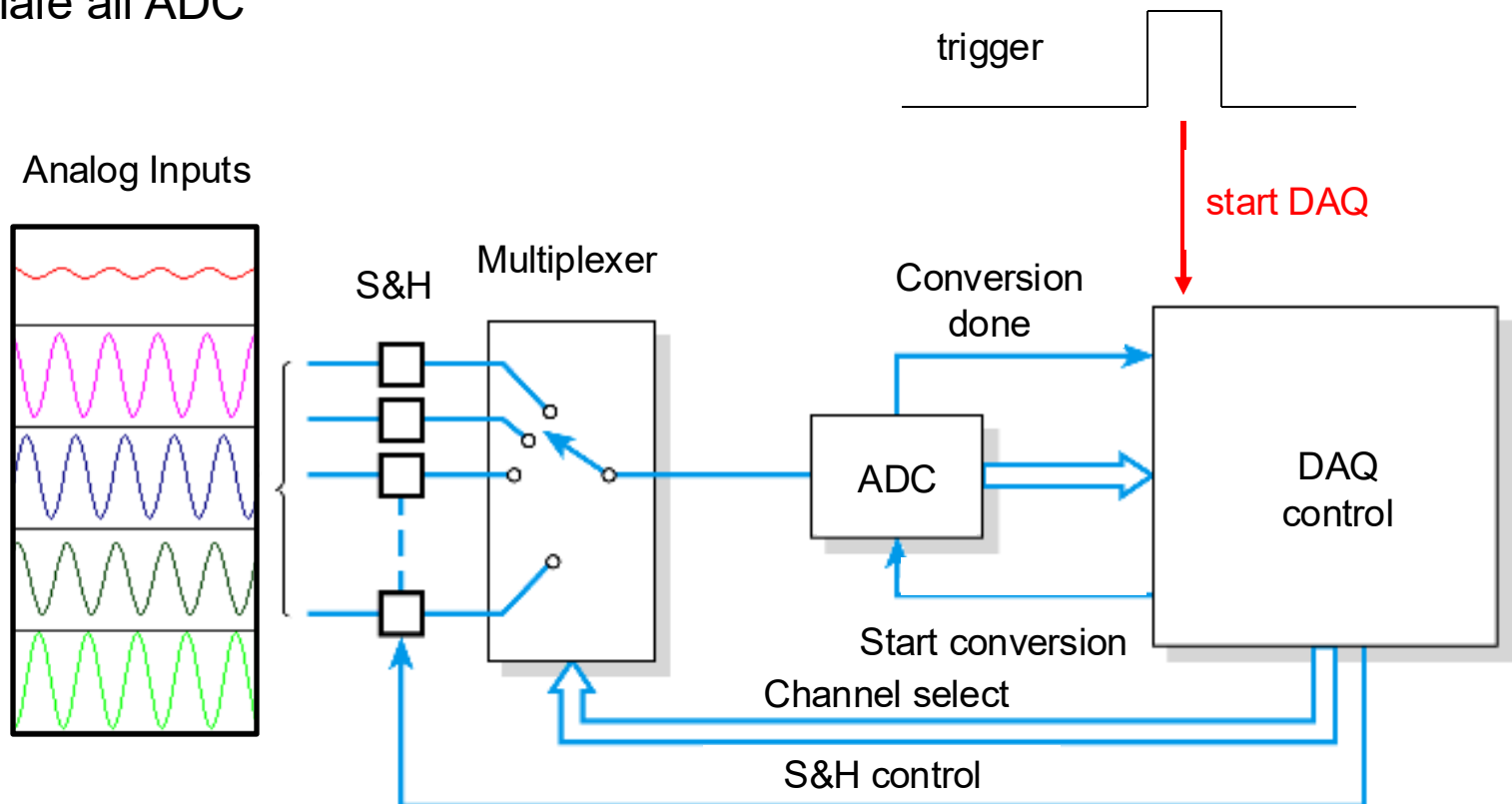
Modalità di acquisizione

La sequenza di campioni può essere relativa a:

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

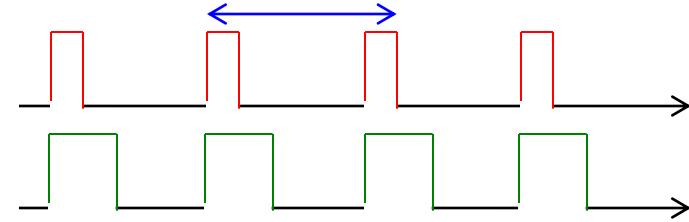
Multiplexer: dispositivo che seleziona tra N input quale indirizzare su un unico output

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

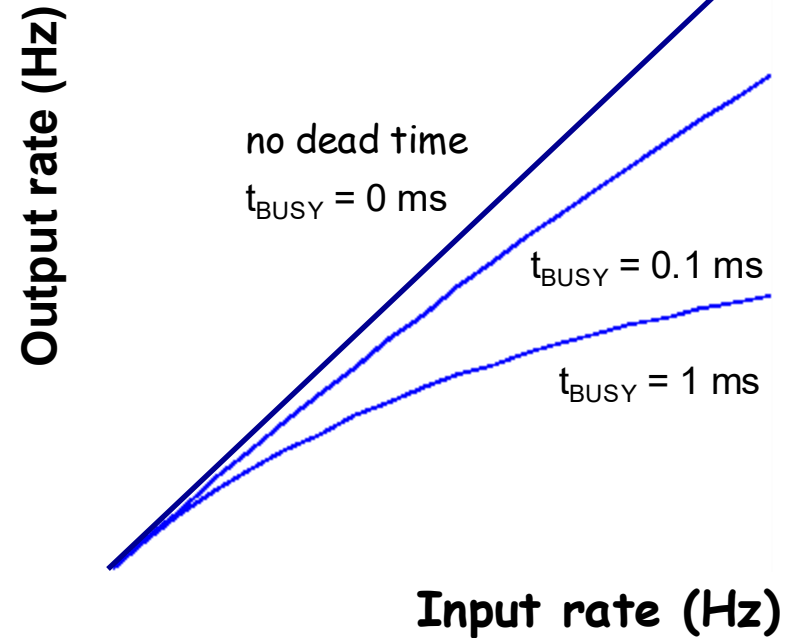
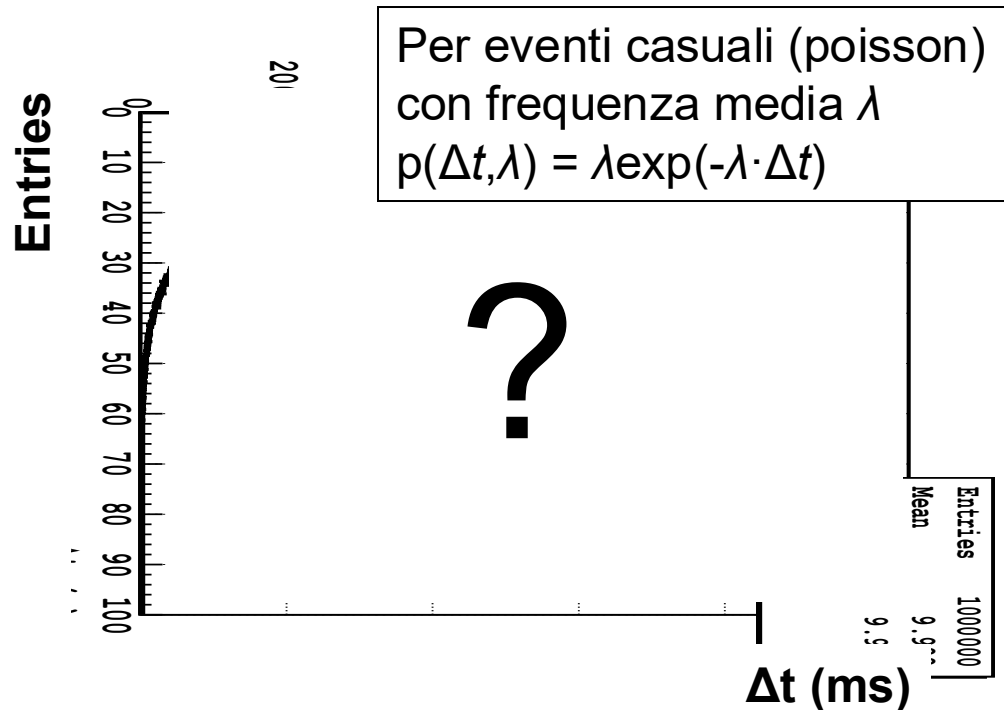
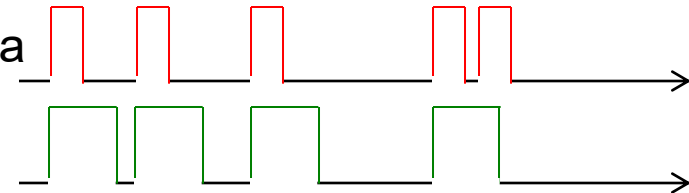


Tempo morto

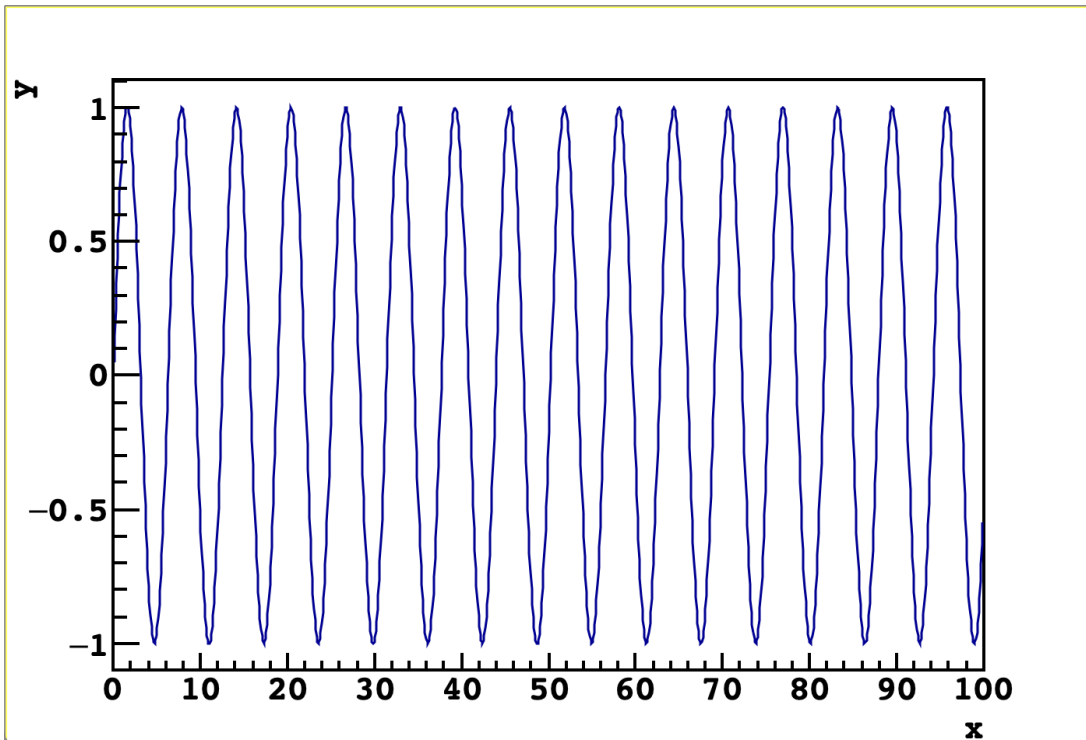
Trigger Regolari: se il busy time $t_{BUSY} < \Delta t_{TRG}$, allora
frequenza misurata = frequenza vera



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



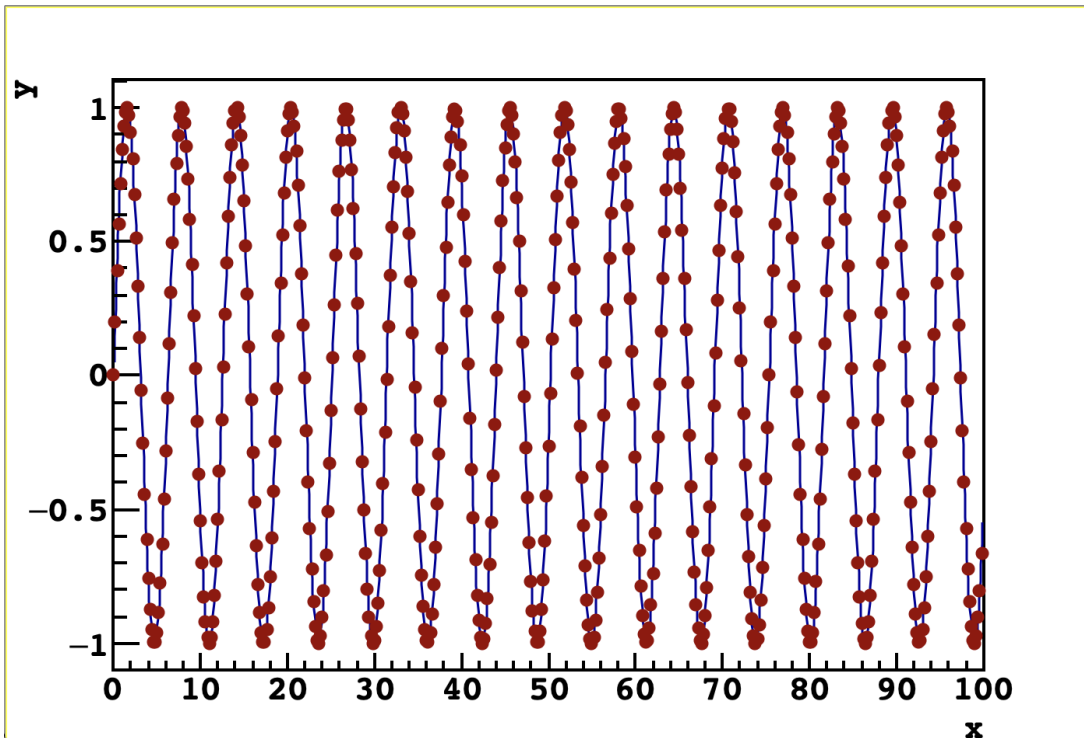
parentesi: istogrammi...



funzione $\sin(x)$:

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

parentesi: istogrammi...

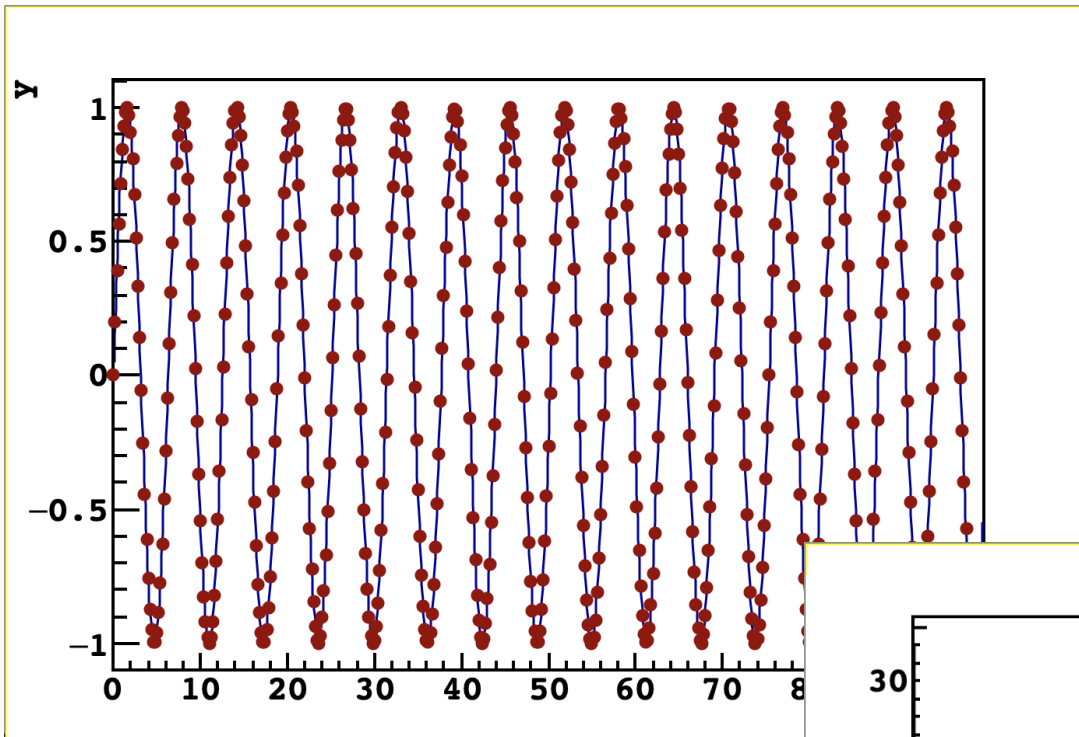


funzione $\sin(x)$:

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

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

parentesi: istogrammi...

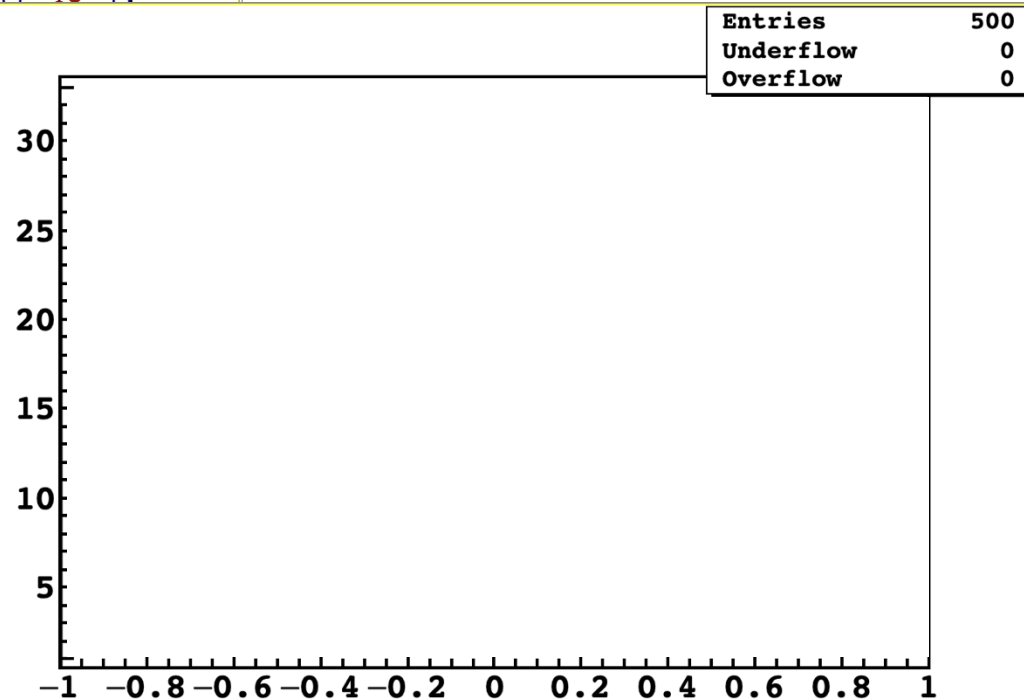


funzione $\sin(x)$:

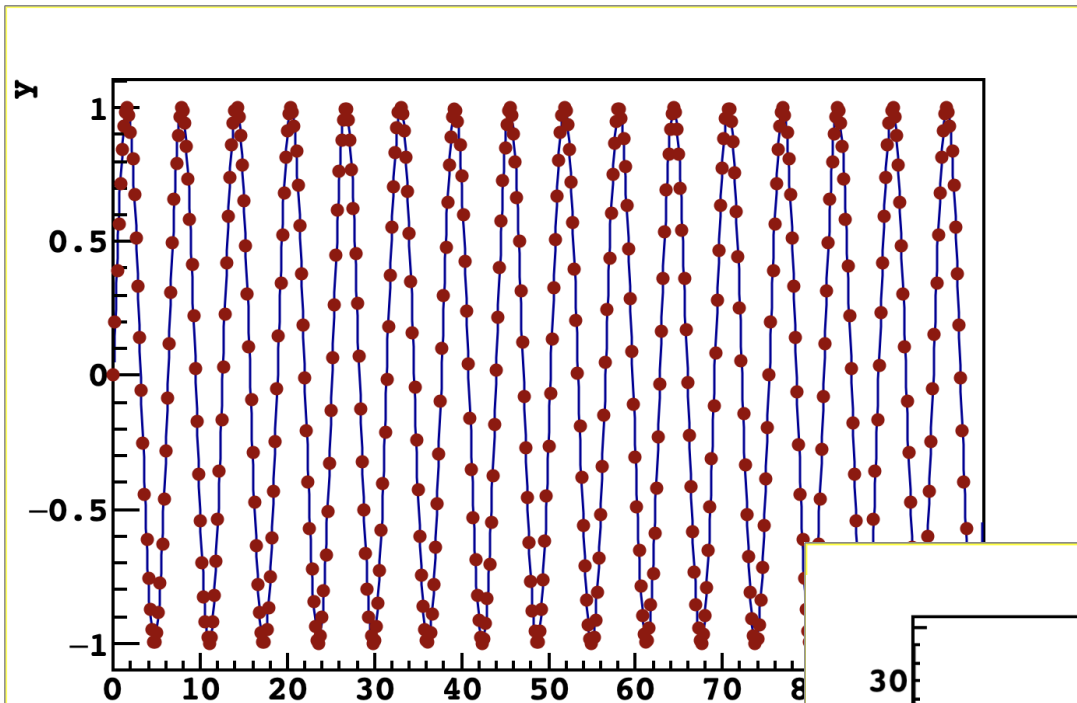
- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

- cosa c'è sull'asse x?



parentesi: istogrammi...

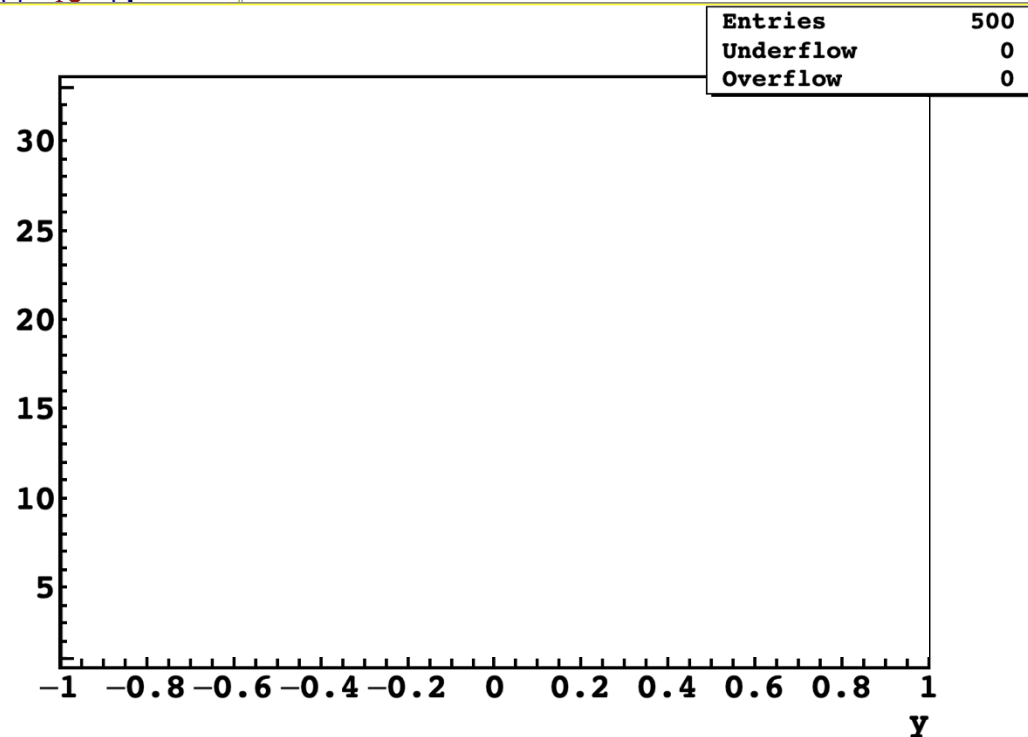


funzione $\sin(x)$:

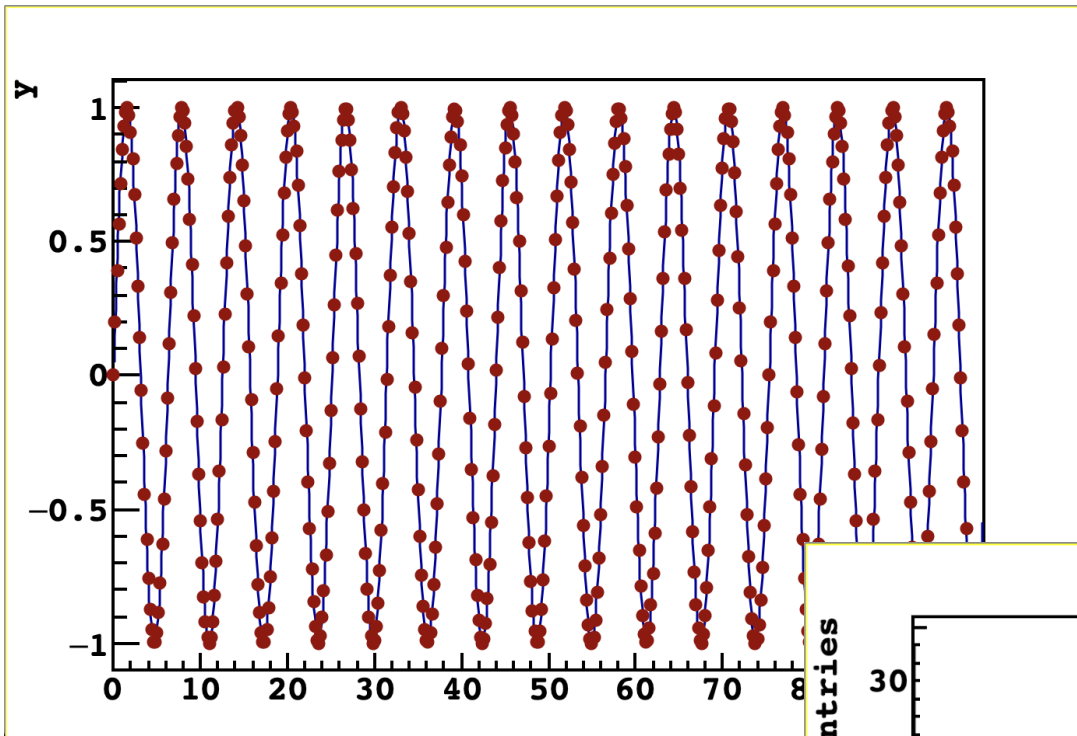
- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

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



parentesi: istogrammi...

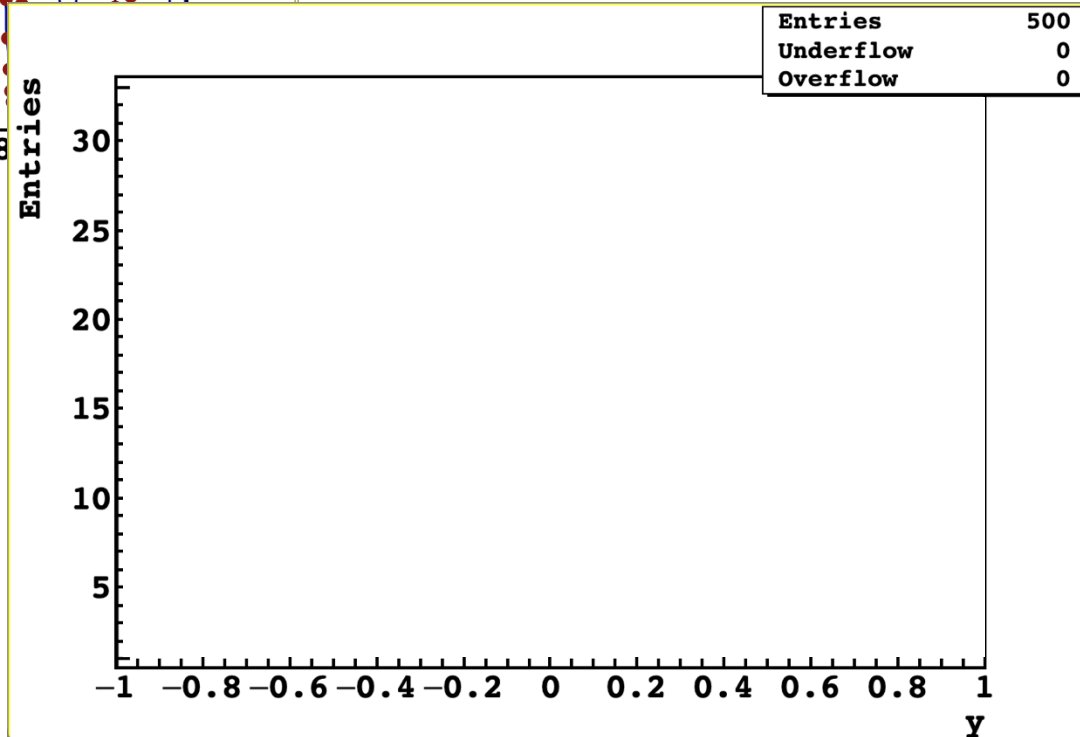


funzione $\sin(x)$:

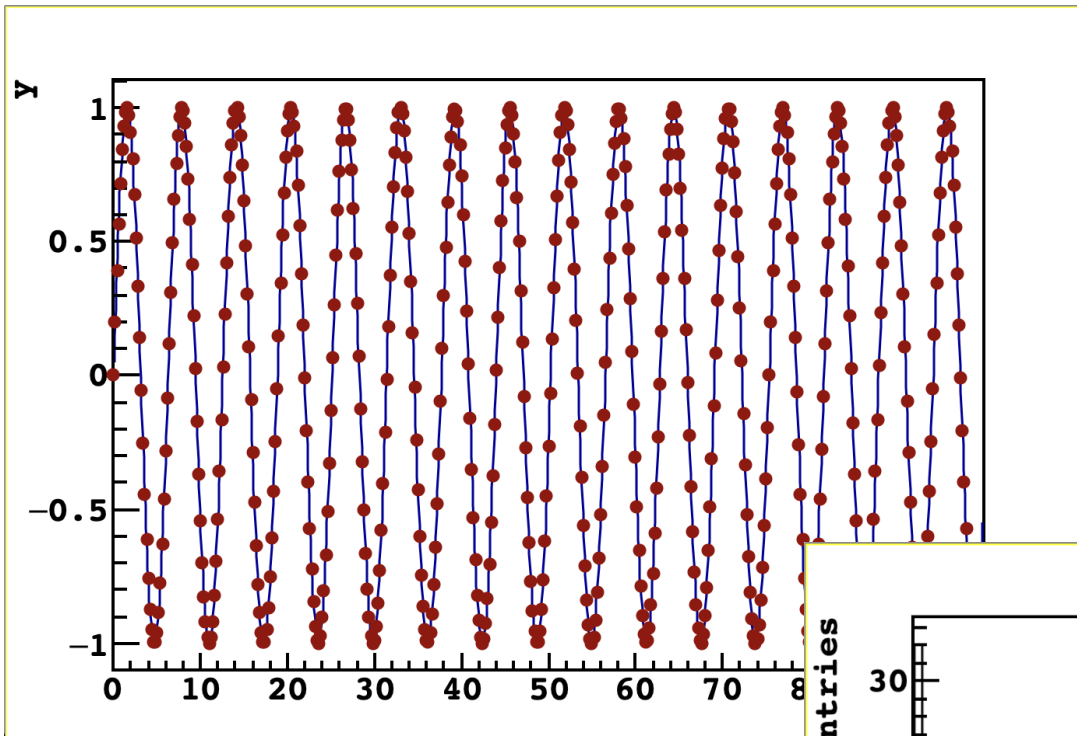
- questo è il grafico
- come sarebbe l'istogramma?

→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

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



parentesi: istogrammi...

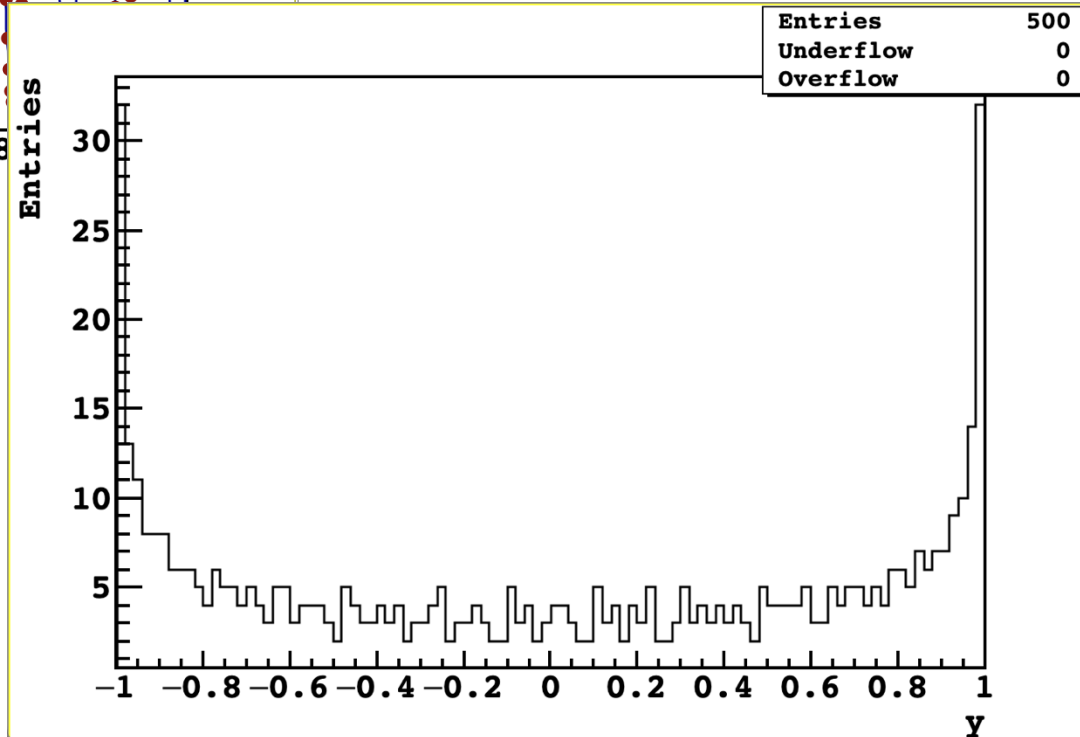


funzione $\sin(x)$:

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

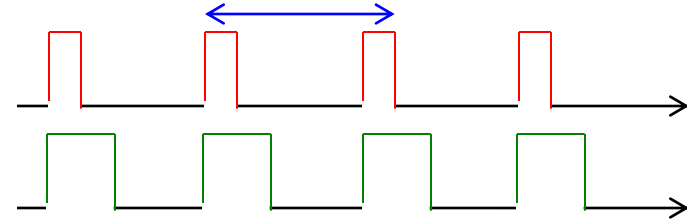
→ dobbiamo almeno scegliere "cosa" istogrammare...

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

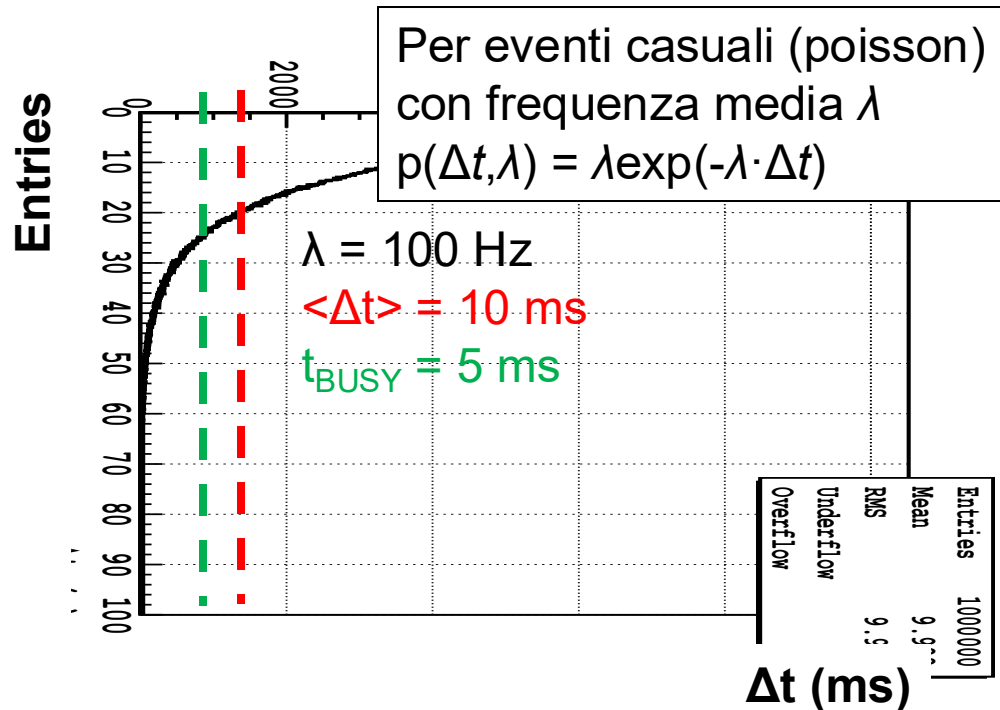
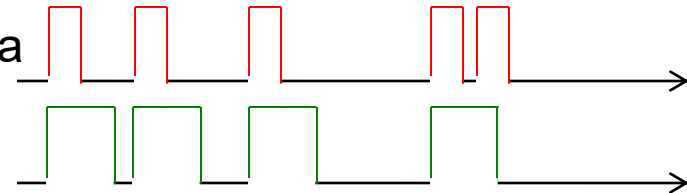


Tempo morto

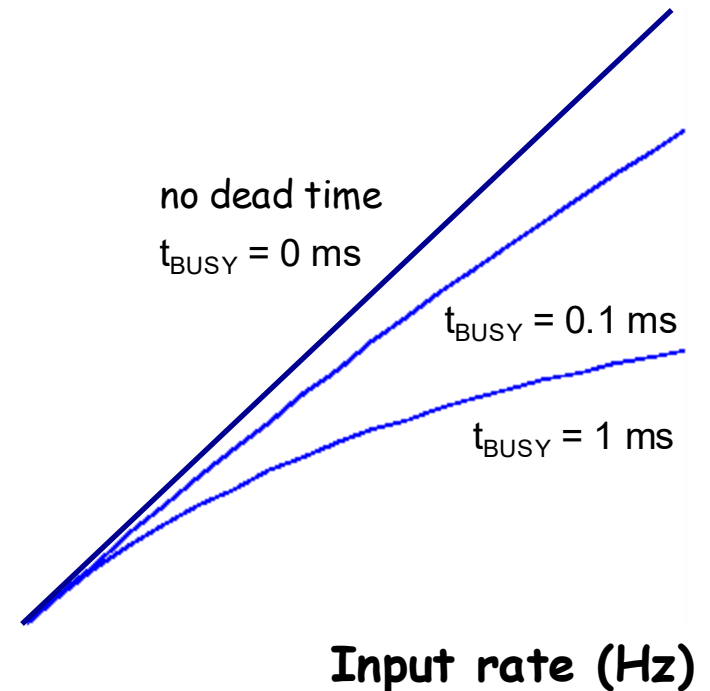
Trigger Regolari: se il busy time $t_{BUSY} < \Delta t_{TRG}$, allora
frequenza misurata = frequenza vera



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



Output rate (Hz)



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

