

Laboratorio II, modulo 2 2016-2017

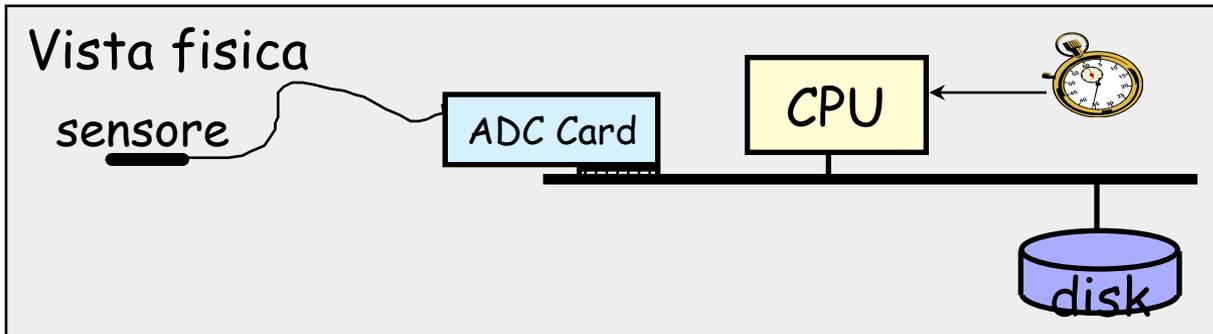
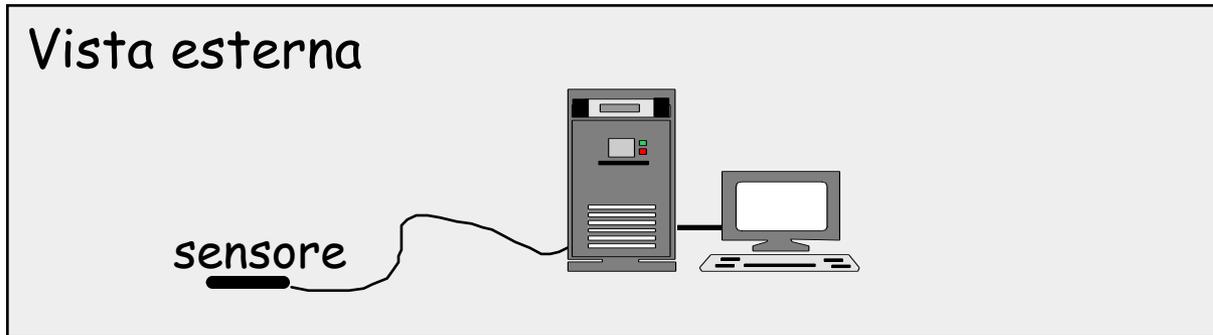
Conversione Analogico/Digitale

(cfr. http://wpage.unina.it/verdoliv/tds/appunti/Appunti_06.pdf
e <http://ens.di.unimi.it/dispensa/cap4.pdf>)

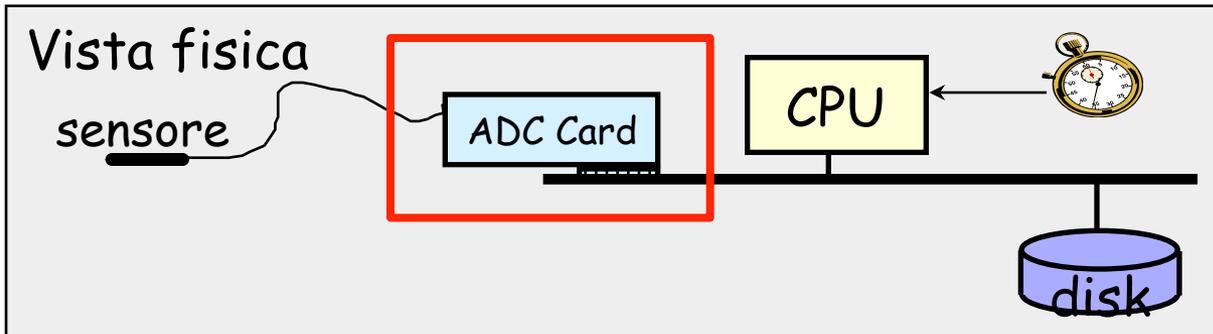
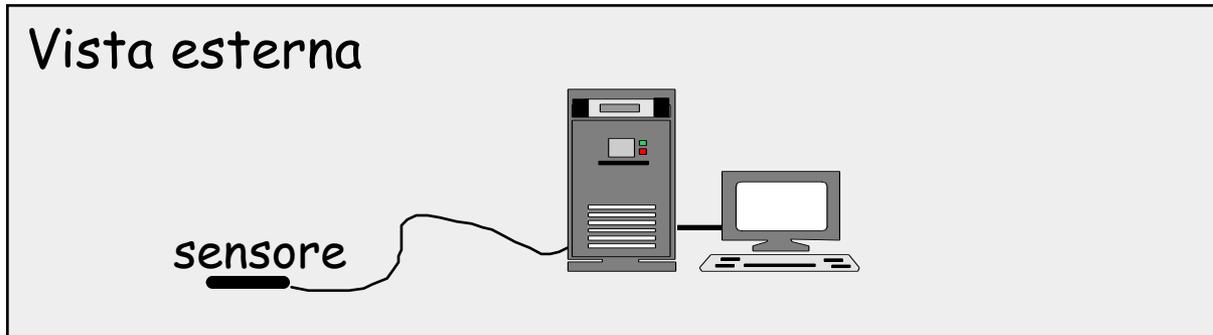
Conversione Analogico/Digitale

- Le grandezze fisiche che vogliamo misurare variano con continuità in un dato intervallo ed in funzione del tempo: sono descrivibili come una funzione continua di variabile continua $x(t)$
- I sistemi di calcolo e controllo operano su base numerica (digitale)
- È necessario disporre di dispositivi per la realizzazione delle interfacce fra i misuratori (e controlli) di grandezze fisiche e gli impianti di calcolo e controllo: ADC (Analog to Digital Converter) e DAC (Digital to Analog Converter)

Sistema di DAQ semplice



Sistema di DAQ semplice

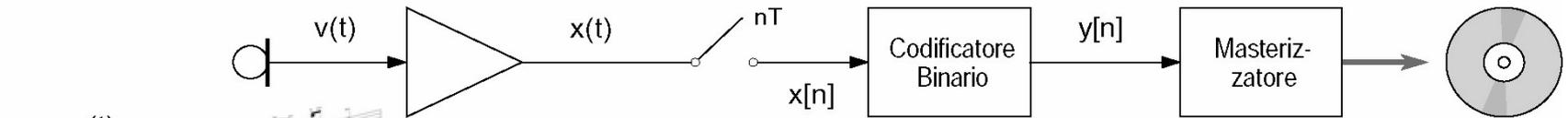
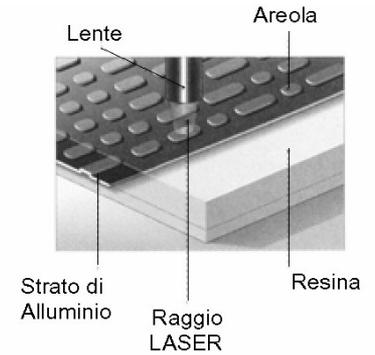
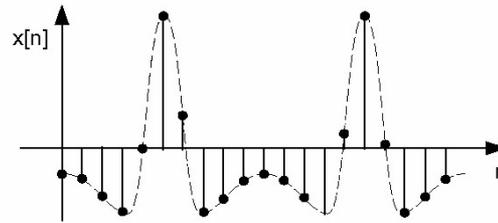
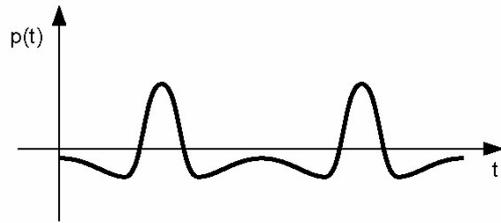


ADC (I)

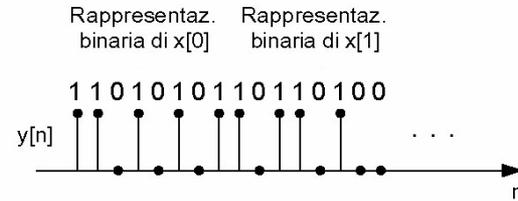
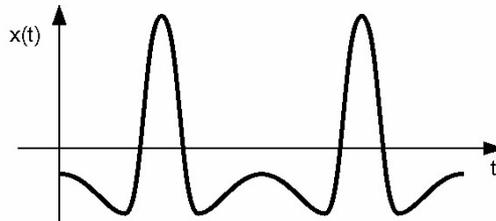
- Dal punto di vista funzionale gli ADC sono dei *classificatori*:
 - L'intervallo di variabilità del segnale V_x viene diviso in n intervalli, detti *canali*, di ampiezza costante K . Definiamo quindi $V_i = K i + V_0$
 - Il segnale in ingresso V_x viene *classificato* nel canale i -esimo se è verificata la relazione

$$V_{i-1} < V_x < V_i$$

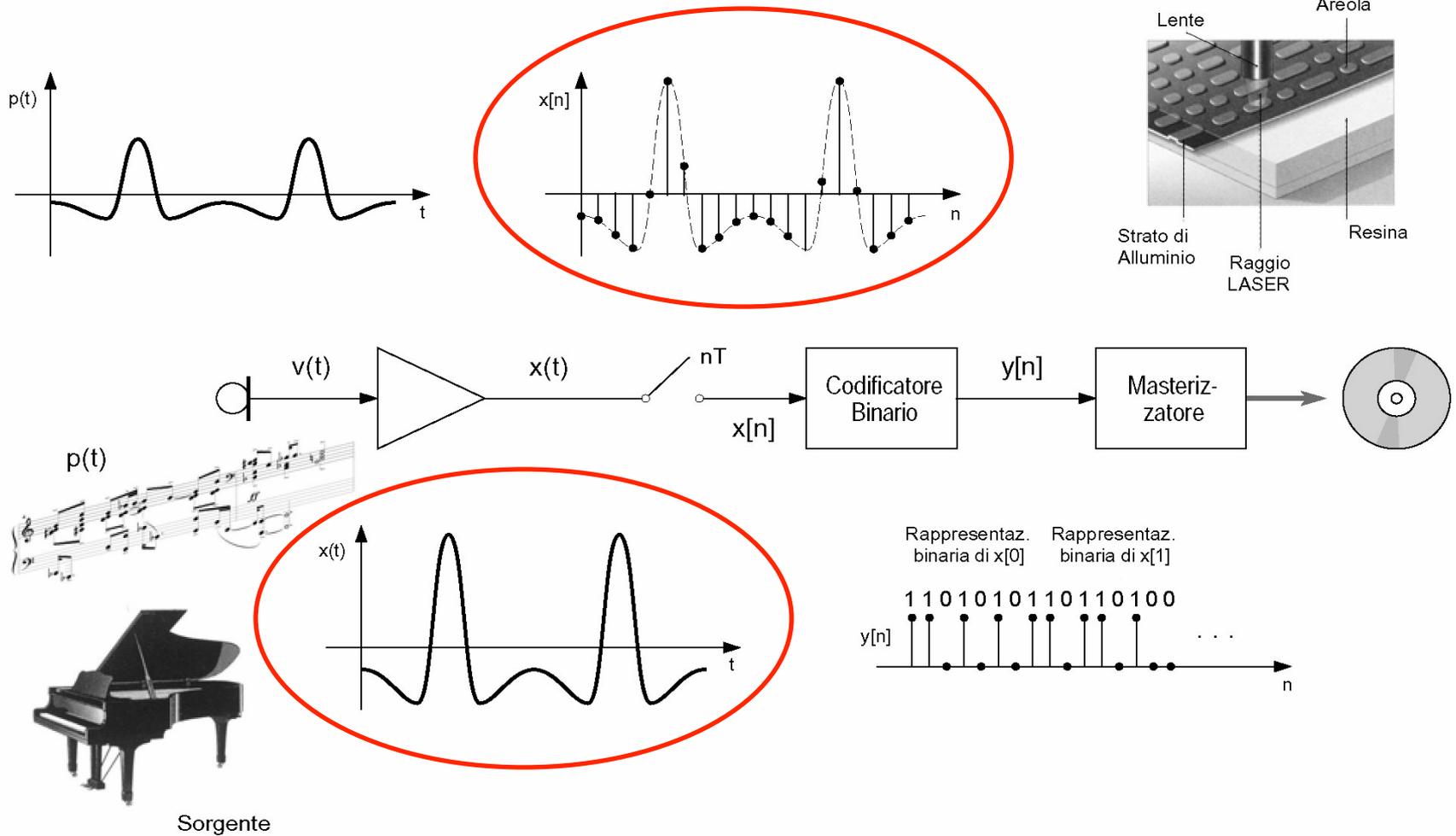
Esempio di sistema di DAQ



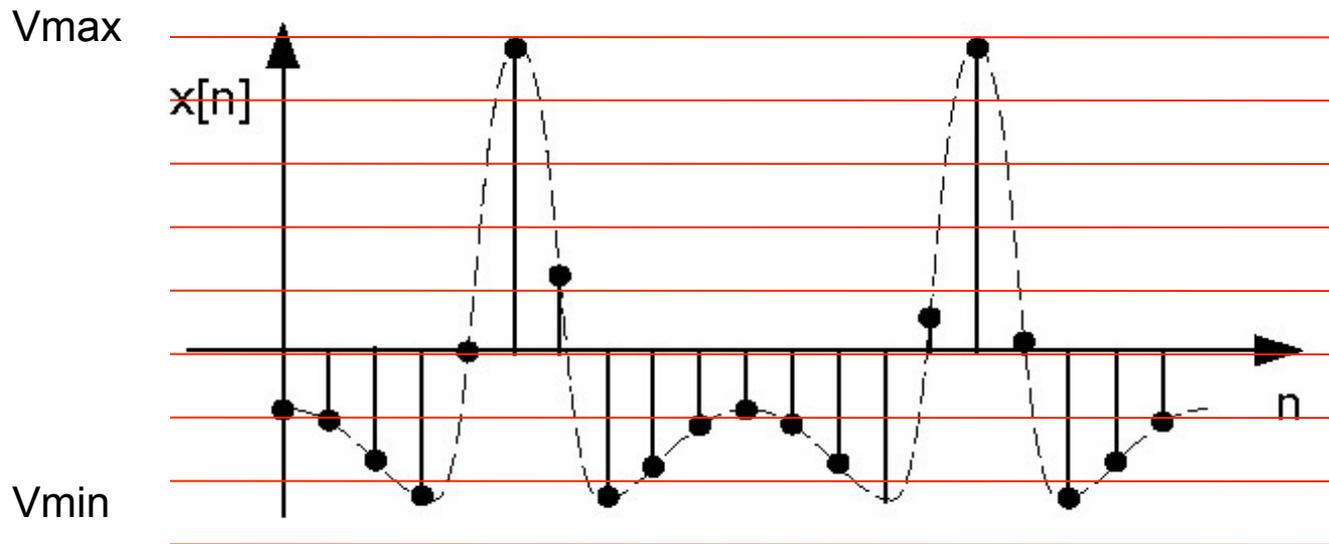
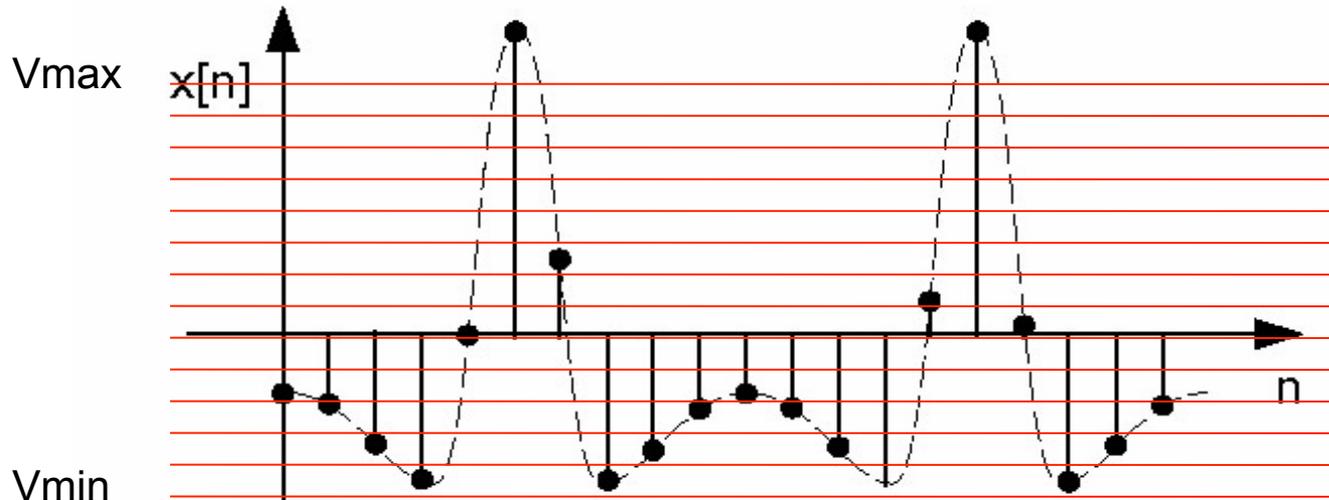
Sorgente



Esempio di sistema di DAQ

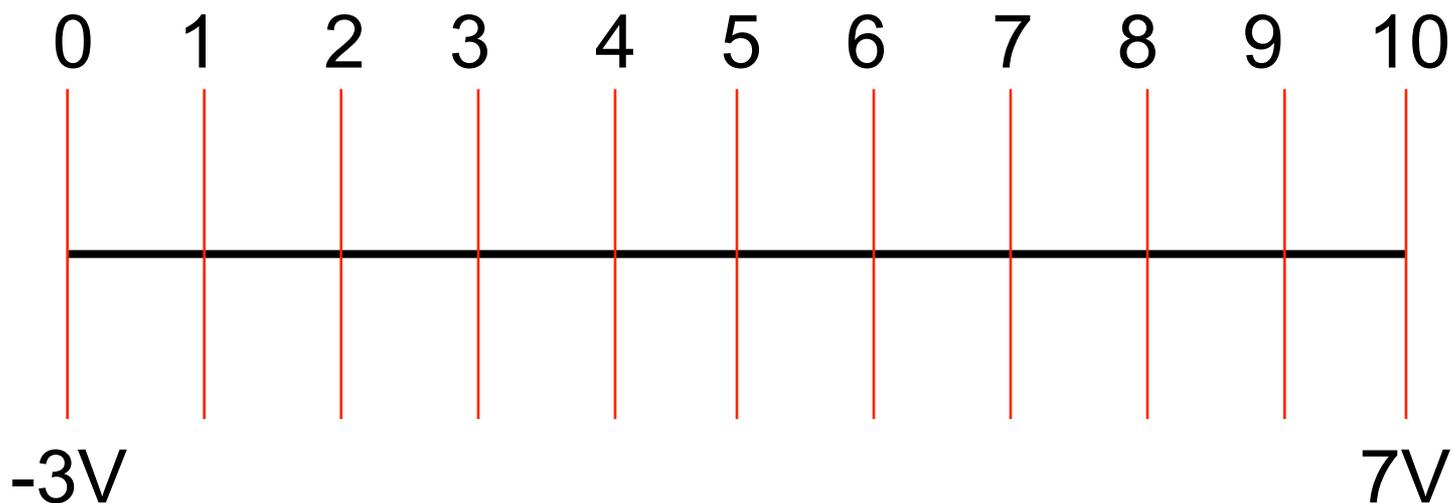


ADC (2)



ADC (3)

- Esempio:
il segnale ha un'ampiezza che va da -3V a 7V e viene *classificato* con 10 canali



$$V_i = K i + V_0 \quad \rightarrow \quad K=0.1V, V_0=-3V$$

K è la *sensibilità*;

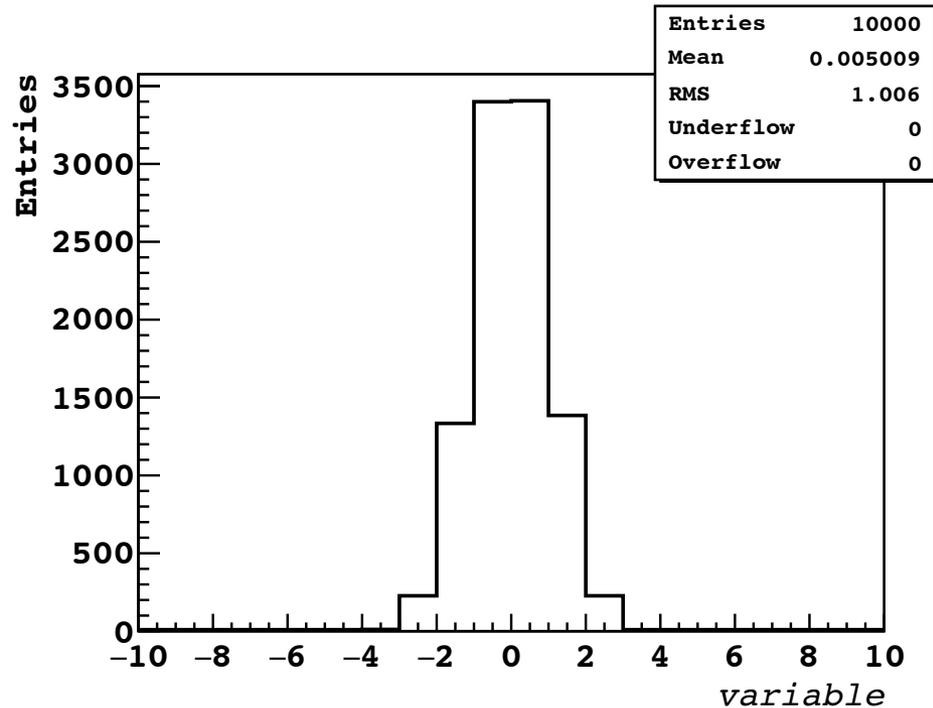
V_0 è chiamato *pedistallo*

ADC (4)

- Dal punto di vista funzionale gli ADC sono dei *classificatori*:
 - L'intervallo di variabilità del segnale V_x viene diviso in n intervalli, detti *canali*, di ampiezza costante K . Definiamo quindi $V_i = K i + V_0$
 - Il segnale in ingresso V_x viene *classificato* nel canale i -esimo se è verificata la relazione
$$V_{i-1} < V_x < V_i$$
 - Inevitabilmente si ha un errore di quantizzazione

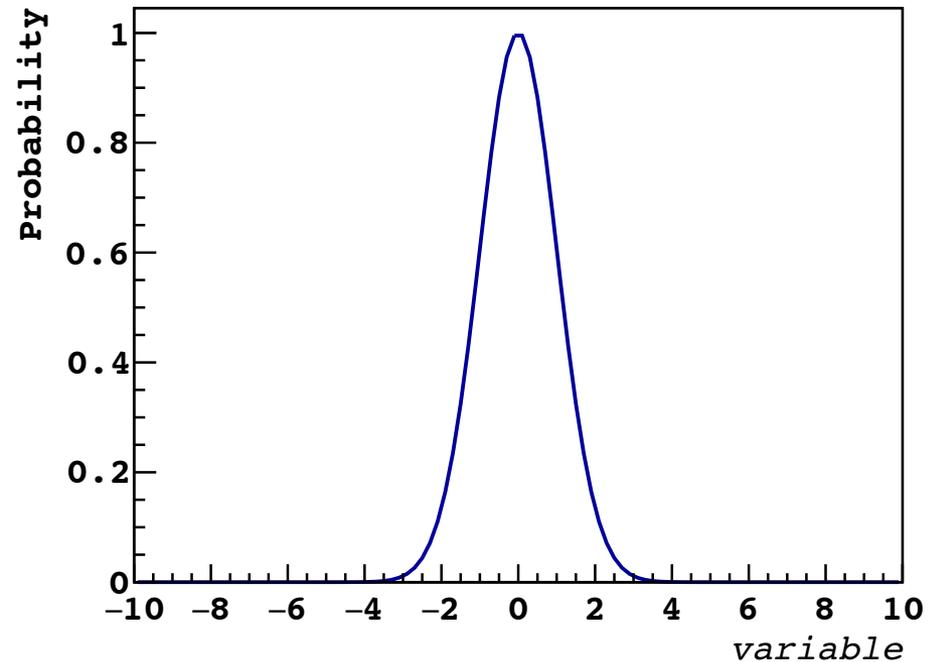
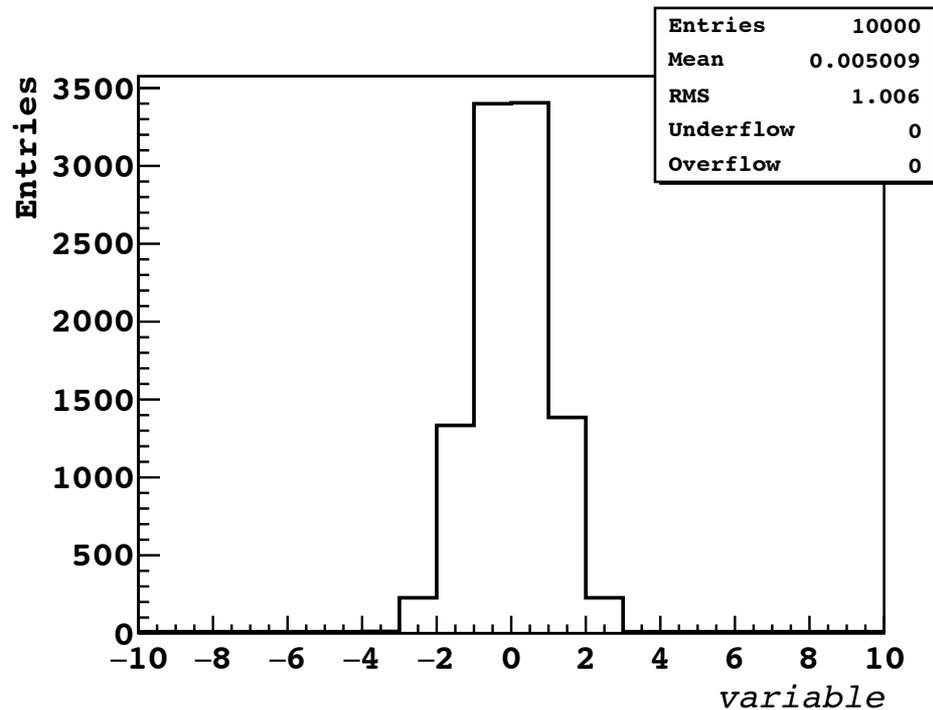
Istogramma

L'istogramma è la rappresentazione grafica di una distribuzione in classi di un carattere continuo.



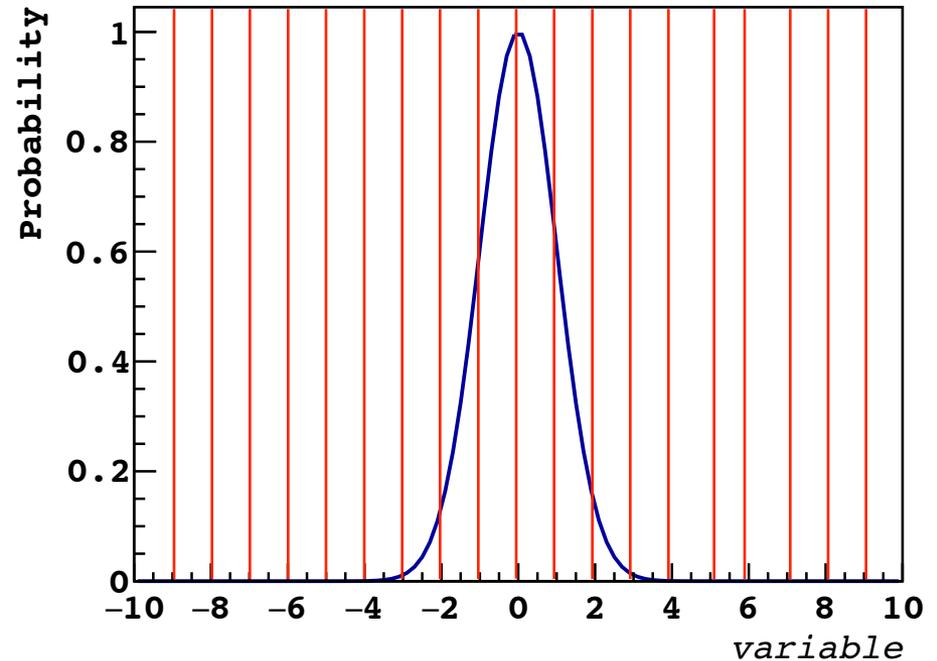
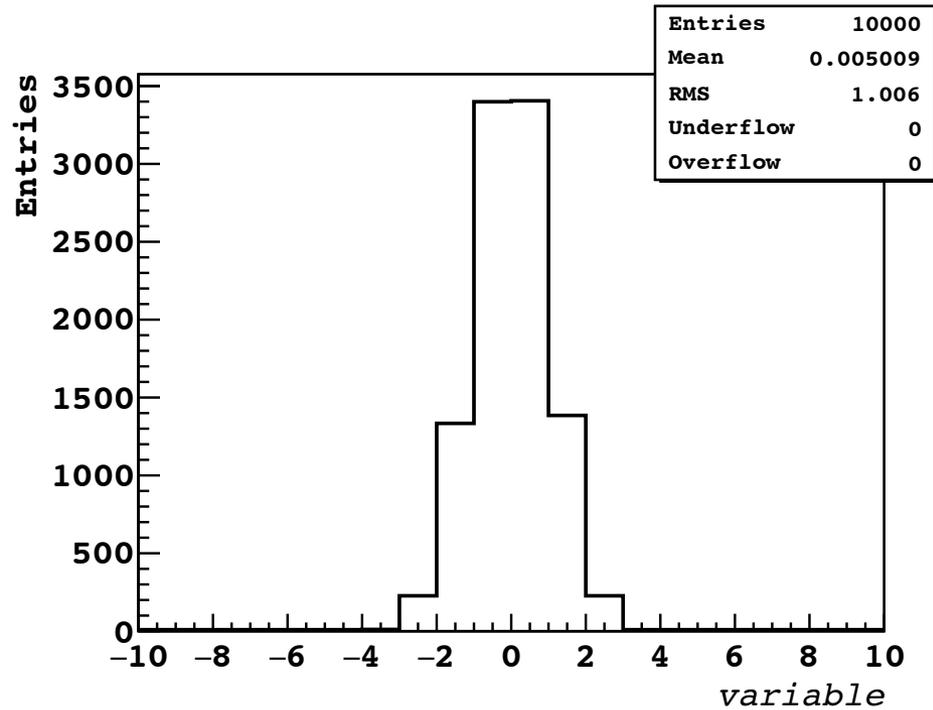
Istogramma

L'istogramma è la rappresentazione grafica di una distribuzione in classi di un carattere continuo.



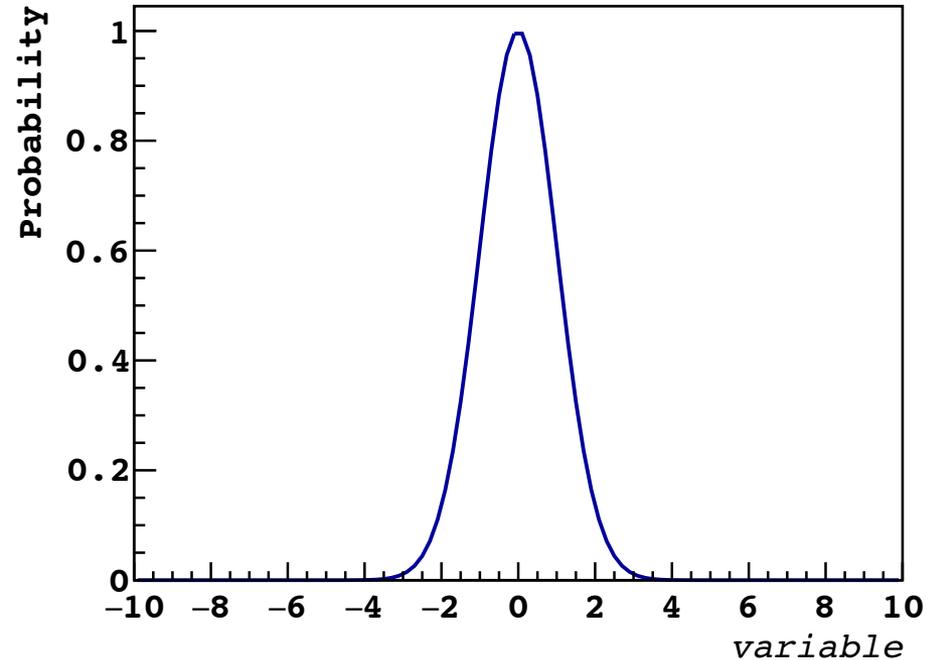
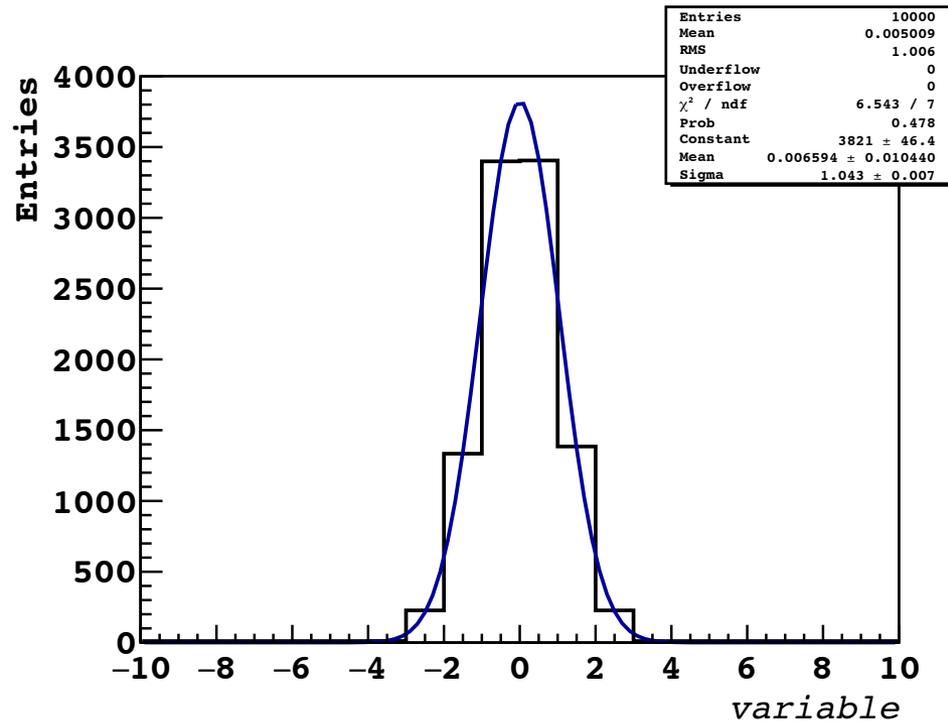
Istogramma

L'istogramma è la rappresentazione grafica di una distribuzione in classi di un carattere continuo.



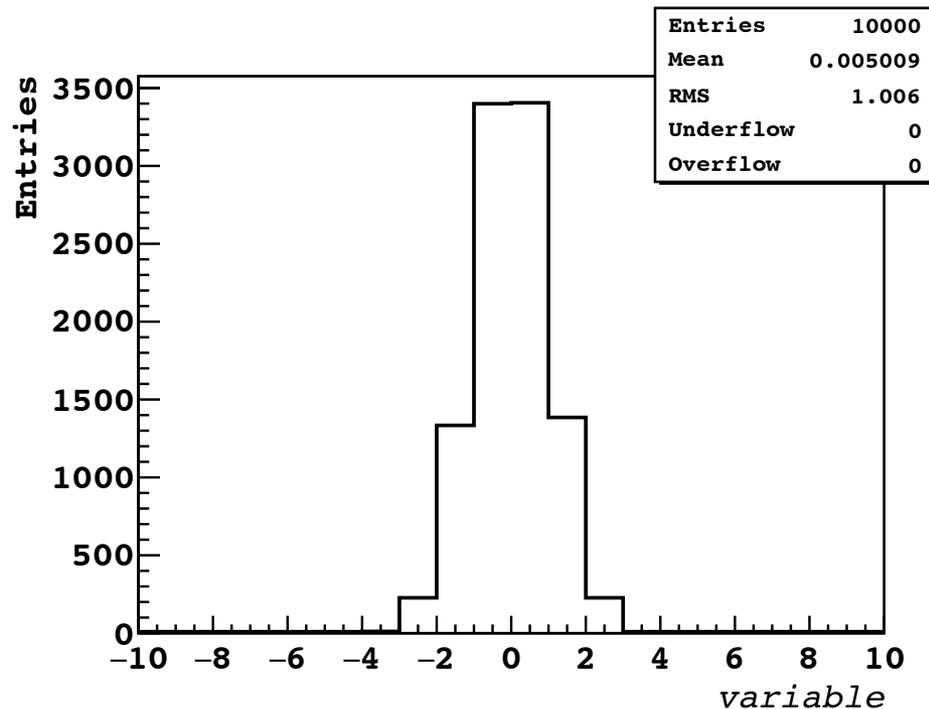
Istogramma

L'istogramma è la rappresentazione grafica di una distribuzione in classi di un carattere continuo.



Istogramma

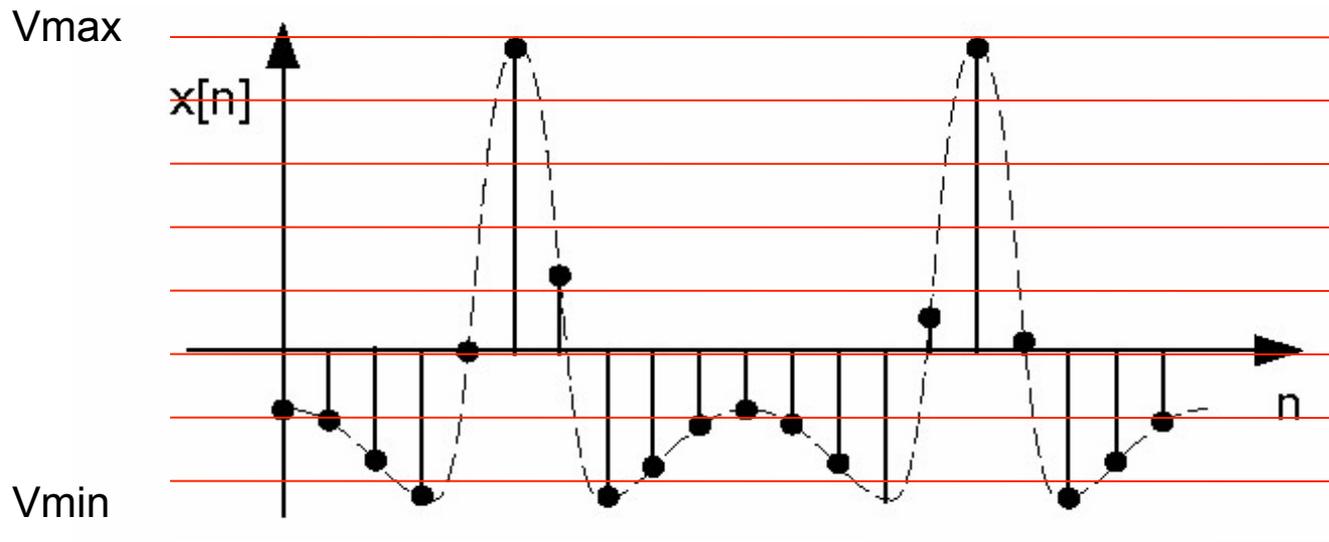
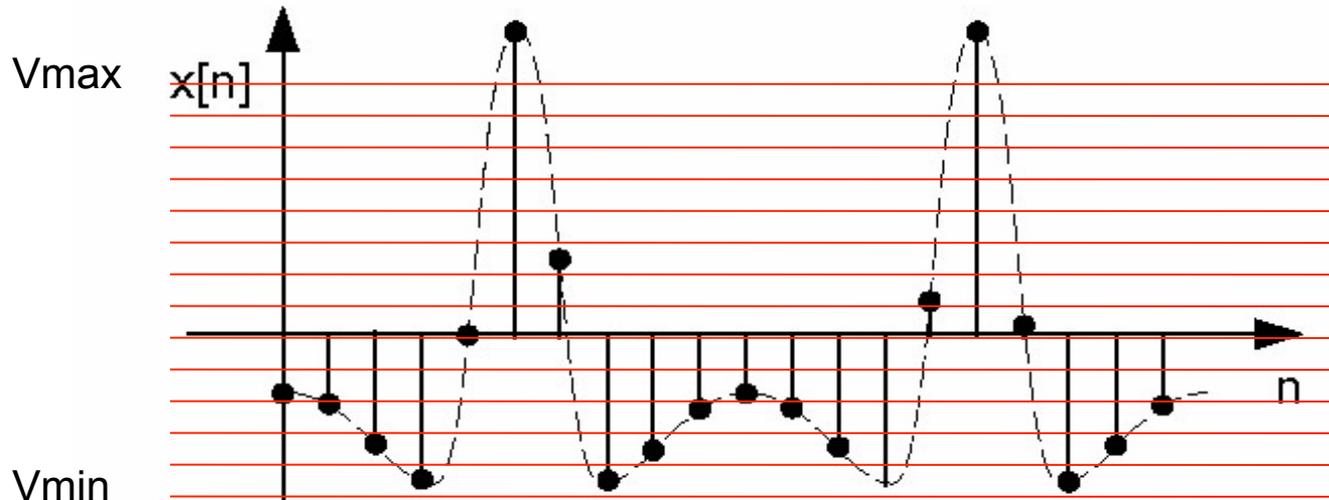
L'istogramma è la rappresentazione grafica di una distribuzione in classi di un carattere continuo.



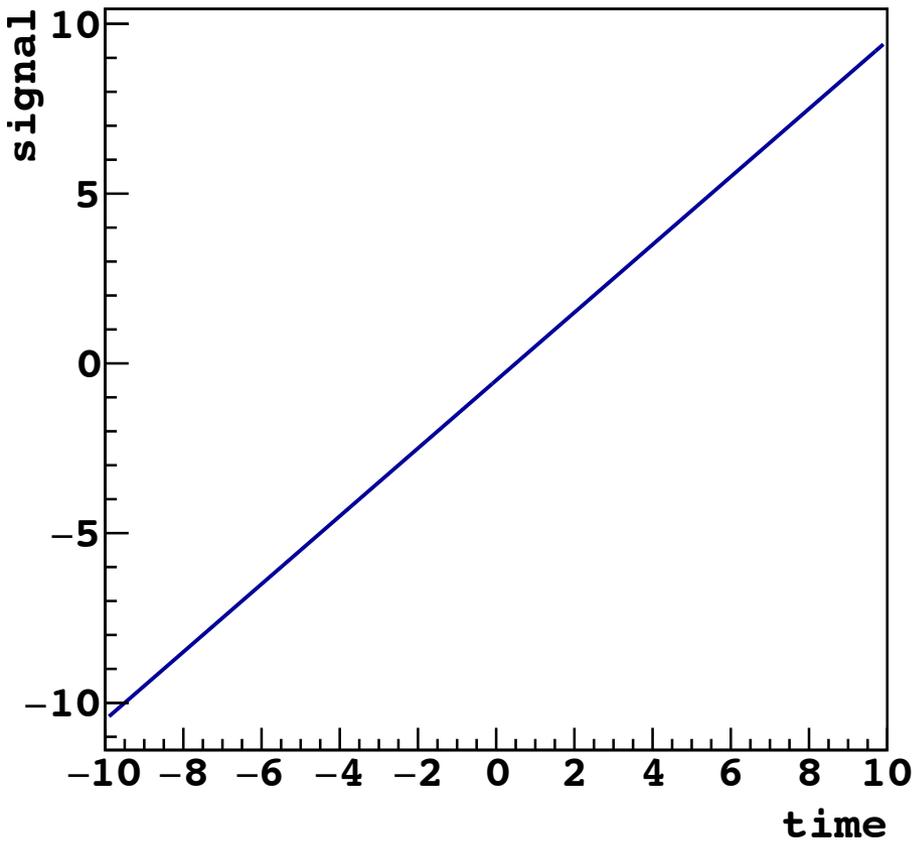
{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 11, 227, 1334, 3399, 3405, 1385, 227, 9, 1, 0, 0, 0, 0 }

E' stato "inventato" da Karl Pearson, nella sua rappresentazione grafica a rettangoli.
La rappresentazione di destra è ovviamente "logicamente" equivalente.

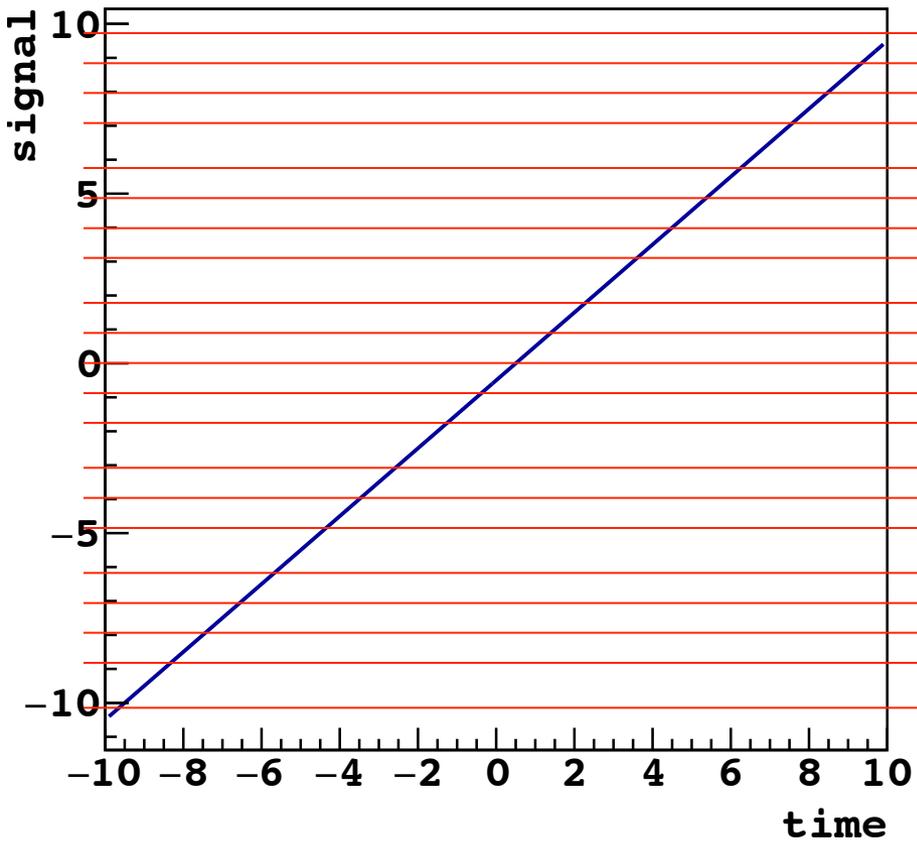
ADC (2)



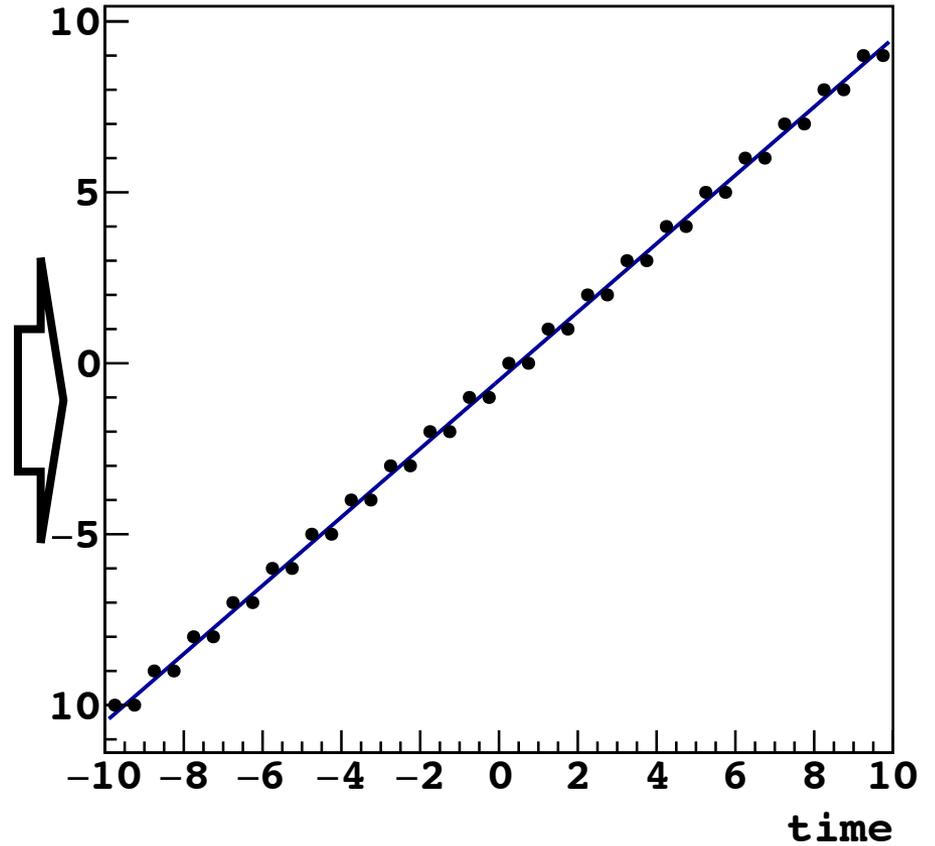
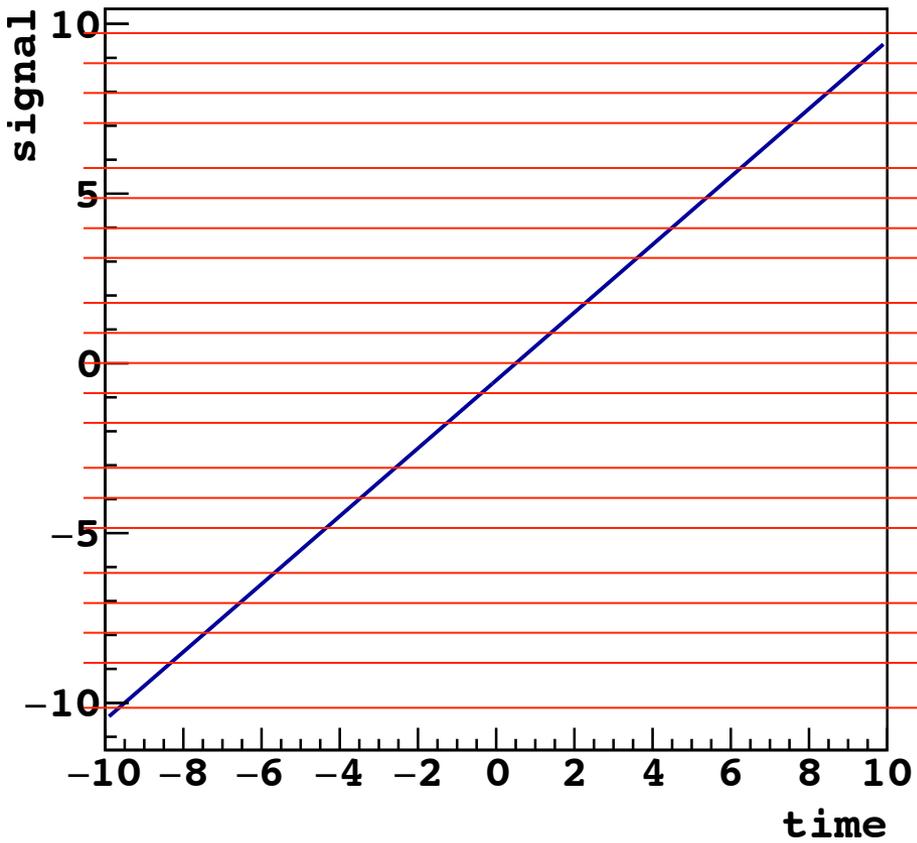
Istogramma (2)



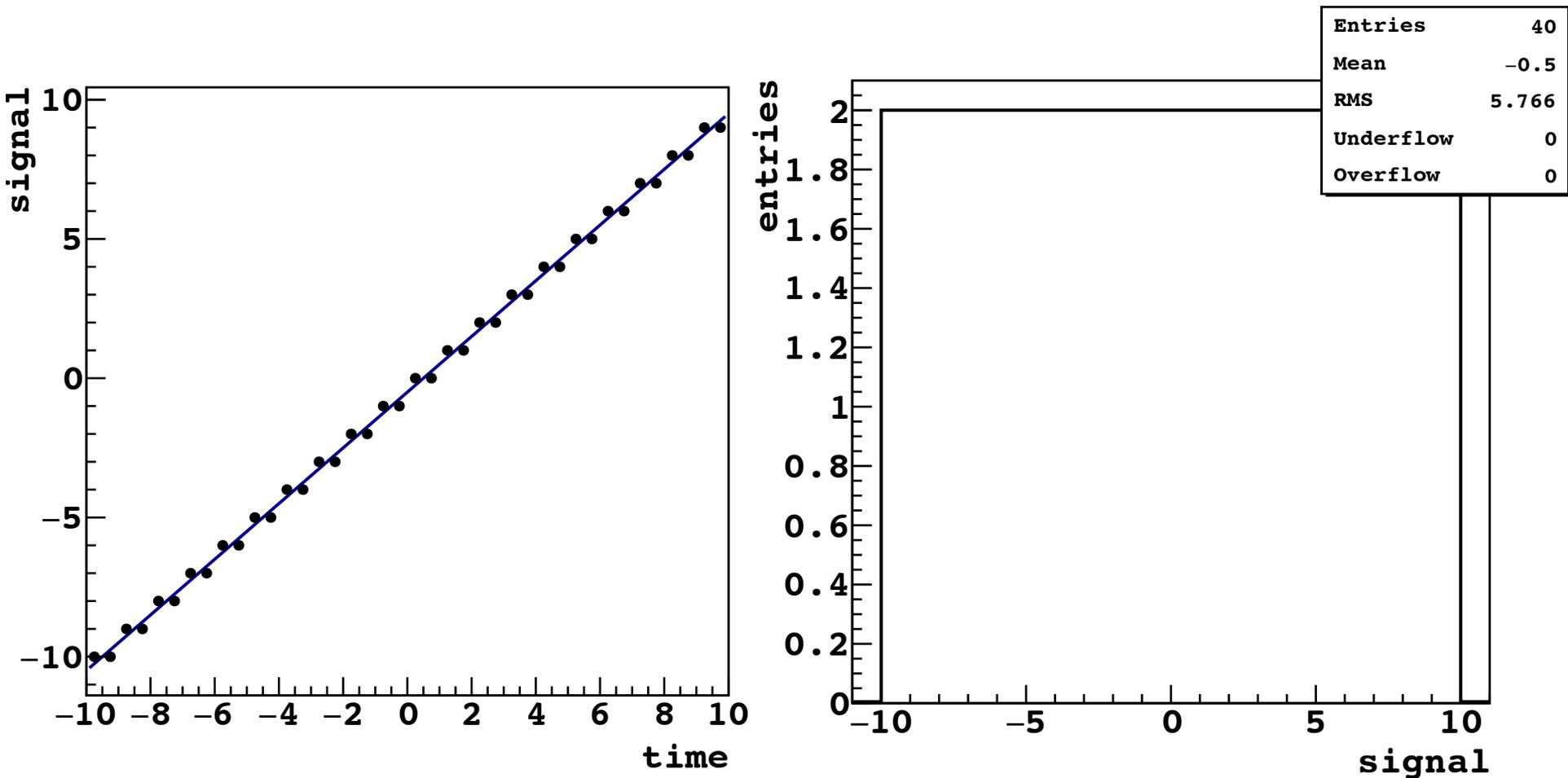
Istogramma (2)



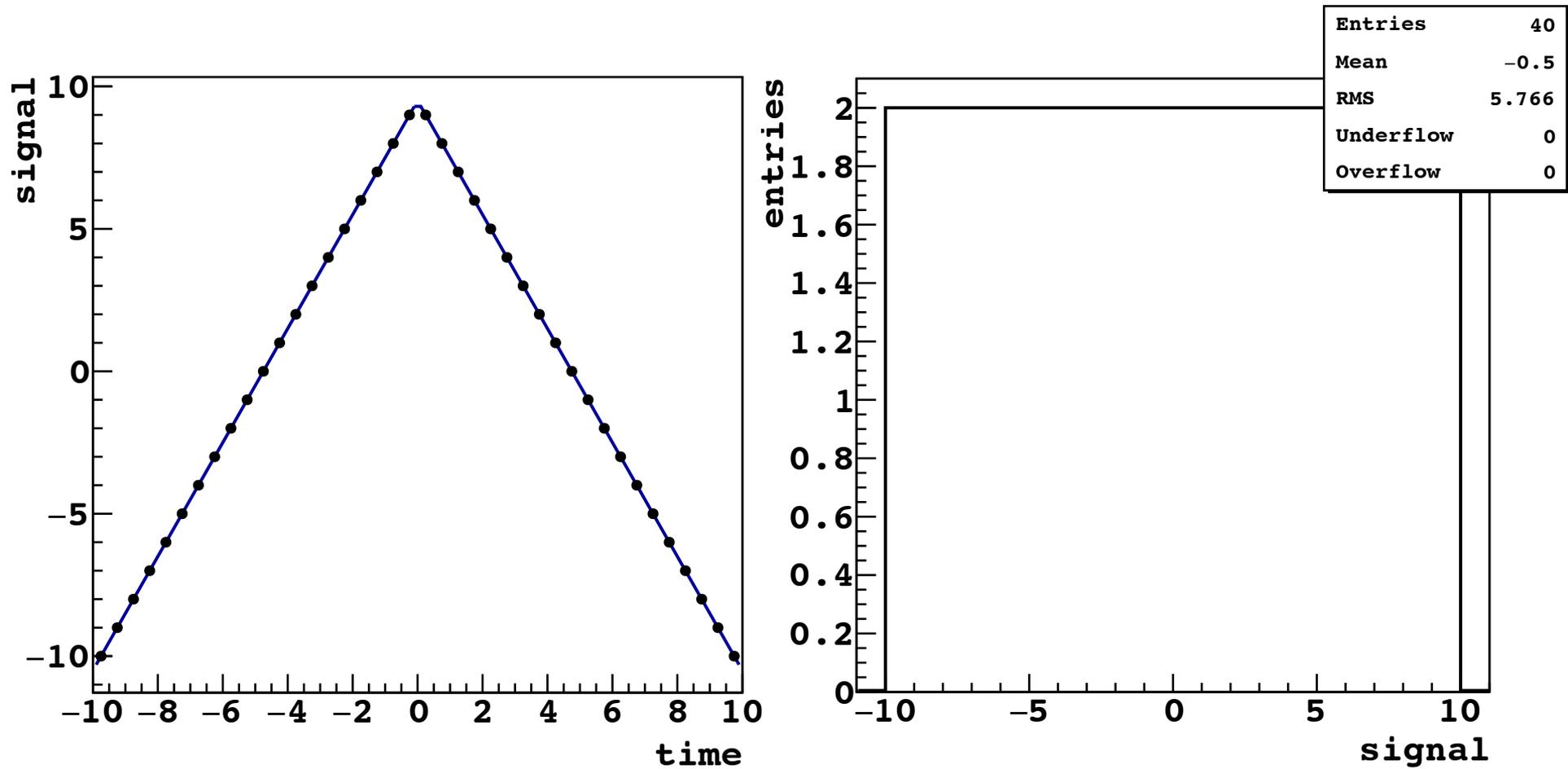
Istogramma (2)



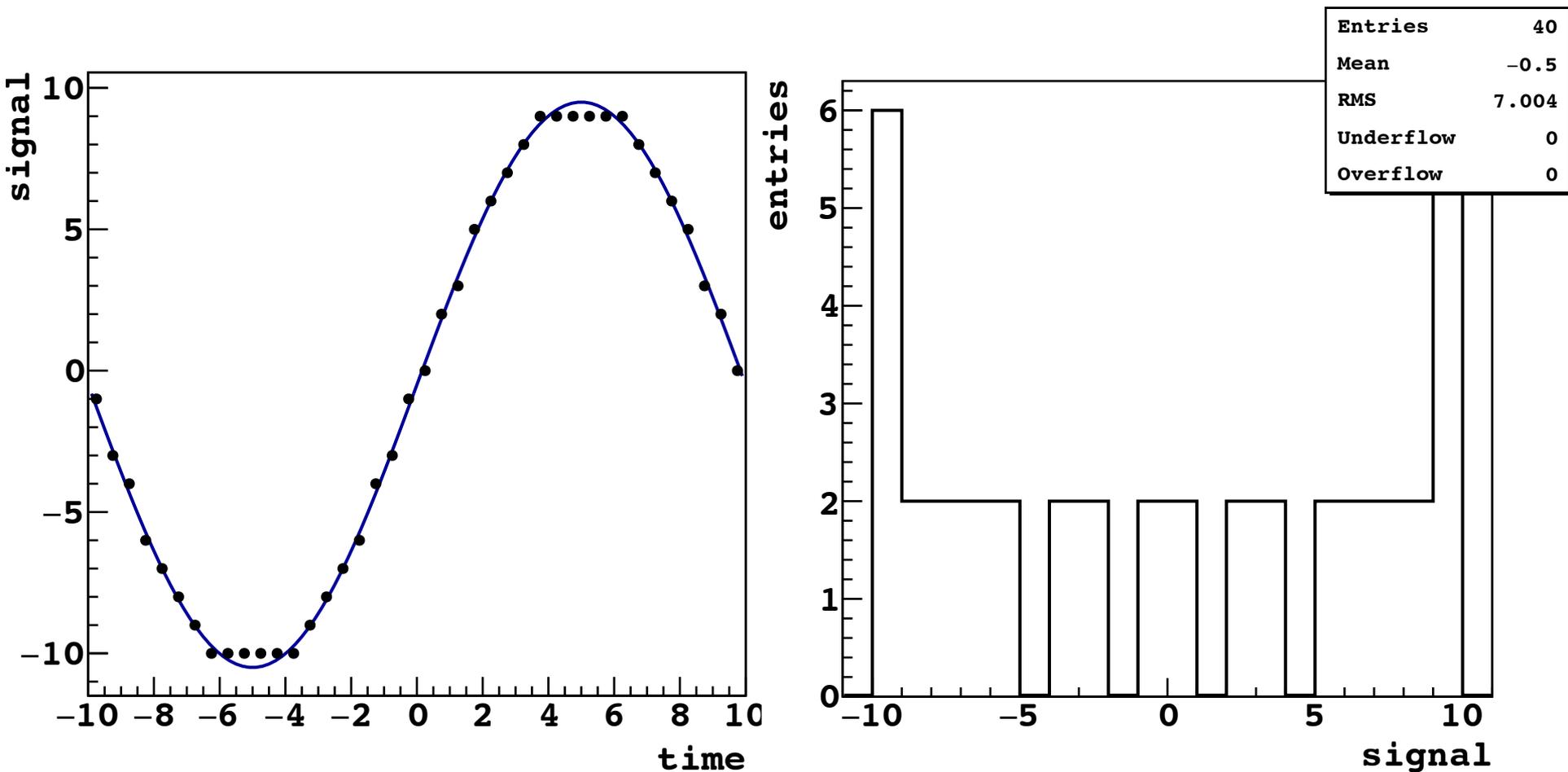
Istogramma (2)



Istogramma (2)



Istogramma (2)



ADC (4)

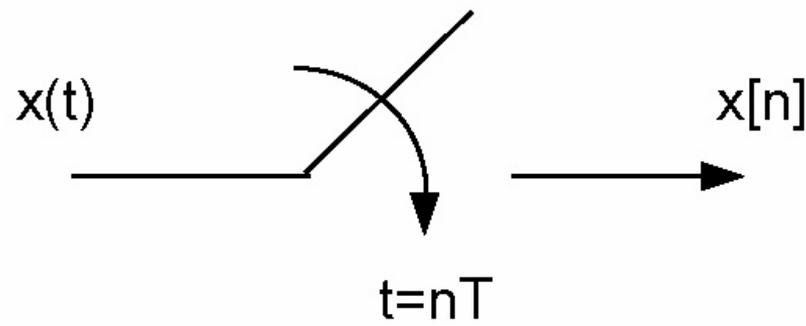
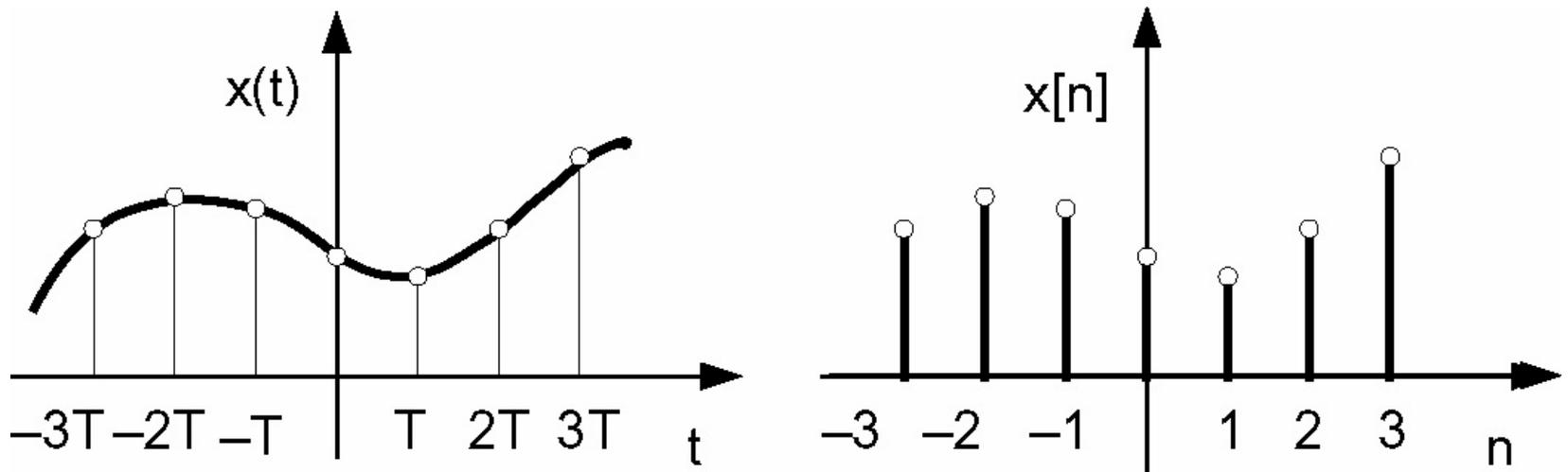
- Dal punto di vista funzionale gli ADC sono dei *classificatori*:
 - L'intervallo di variabilità del segnale V_x viene diviso in n intervalli, detti *canali*, di ampiezza costante K . Definiamo quindi $V_i = K i + V_0$
 - Il segnale in ingresso V_x viene *classificato* nel canale i -esimo se è verificata la relazione
$$V_{i-1} < V_x < V_i$$
 - Inevitabilmente si ha un errore di quantizzazione

ADC (5)

- Ogni ADC è caratterizzato da:
 - *Range*: l'intervallo di tensione che l'ADC può accettare in ingresso
 - Numero di *canali* in cui è diviso il *range*. E' definito dal numero n di bit: $ADC \# = 2^n$
 - Sensibilità: La minima variazione di segnale rivelabile è data, in condizioni ideali, da $range / ADC \#$

Esempio: un ADC a 12 bit, con range di 4 Volts ha una sensibilità di $4000/4096 \sim 0.98 \text{ mV}$

Dal tempo continuo al tempo discreto

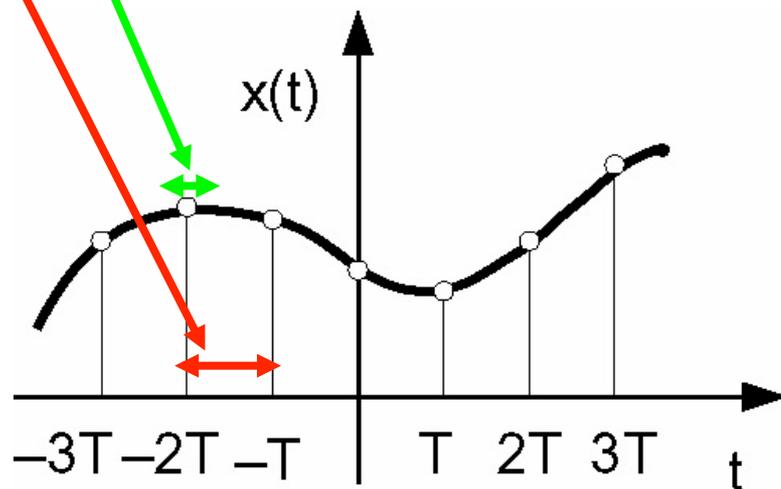


$$f_c = 1/T$$

Frequenza di campionamento

ADC (6)

- Ogni ADC è caratterizzato da:
 - *Sampling time*: il tempo impiegato per effettuare la misura (campionamento)
 - *Sampling rate*: la velocità massima a cui si possono effettuare le misure (campionature)



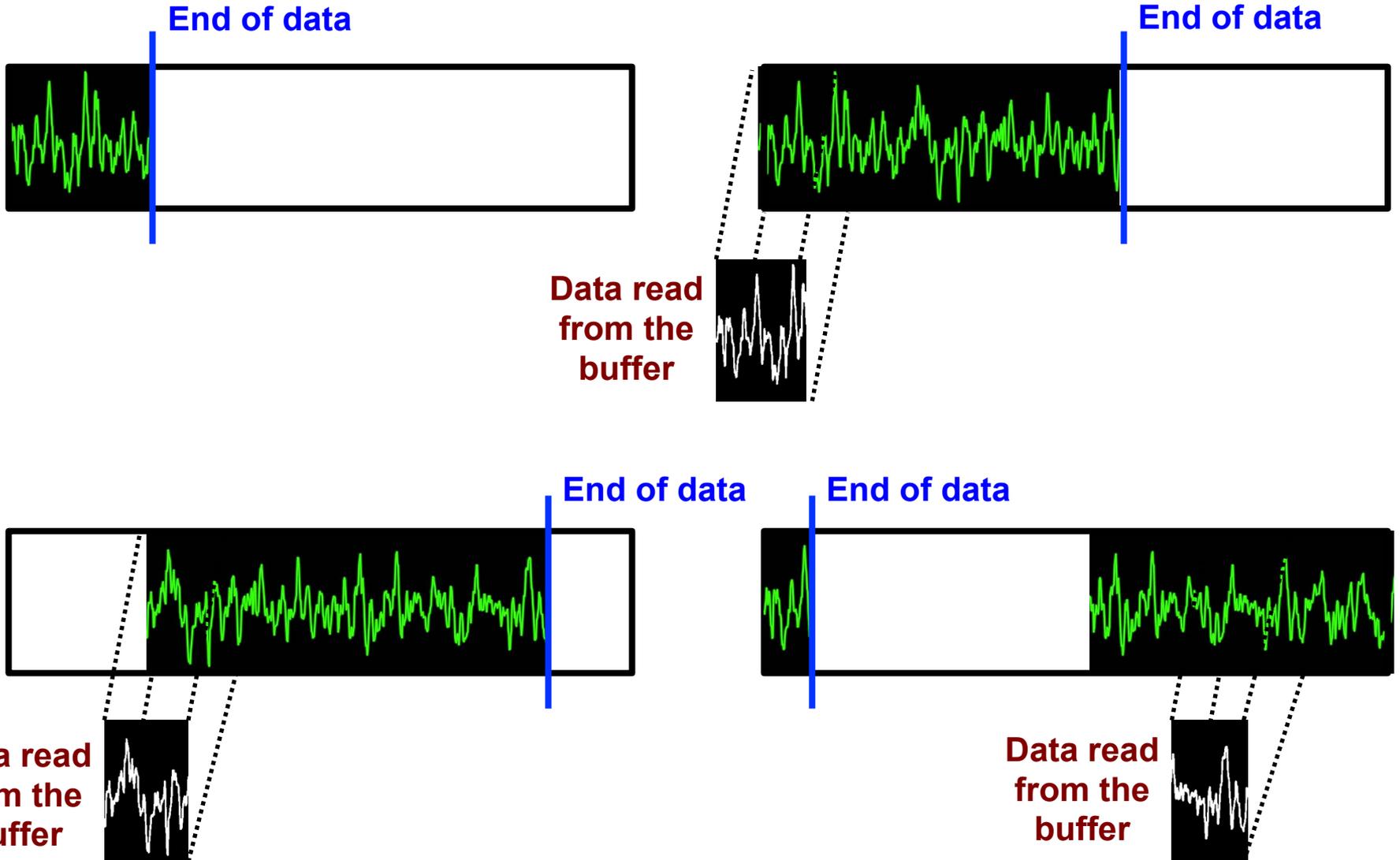
Tenere il tempo (f_c)

- I sistemi operativi dei PC sono asincroni
- I sistemi di DAQ sono dotati di clock interno, buffer (FIFO) e accesso diretto alla memoria (DMA)
- Nelle acquisizioni bufferizzate i campioni vengono immagazzinati nel buffer in modo sincrono rispetto al campionamento
- Il PC accede alla memoria (tramite DMA) ed in modo asincrono rispetto al campionamento

Acquisizione a buffer circolare

- La CPU accede alla scheda, mentre continua l'acquisizione, e legge i dati
- 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

Buffer circolare



Canali & canali ...

- “canali di ADC”: il numero di intervalli in cui è diviso il range. Esempio: un ADC a 12bit ha 4096 canali;
- “canali di lettura”: il numero di “segnali” (i.e. di “fili”) da leggere e, generalmente, da *digitalizzare*. Esempio: una macchina fotografica a 10Mpixel ha 10M canali di lettura;



ADC: nuclear and particle physics experiments need most advanced technologies for progress

In 1948 Wilkinson introduced signal digitization for nuclear spectrometry

D.H. Wilkinson Proc. Cambridge Phil. Soc. 46(1950) 508

Emilio Gatti improved it further (1949) using 2 telephone registers
→ 99 channel digitizer

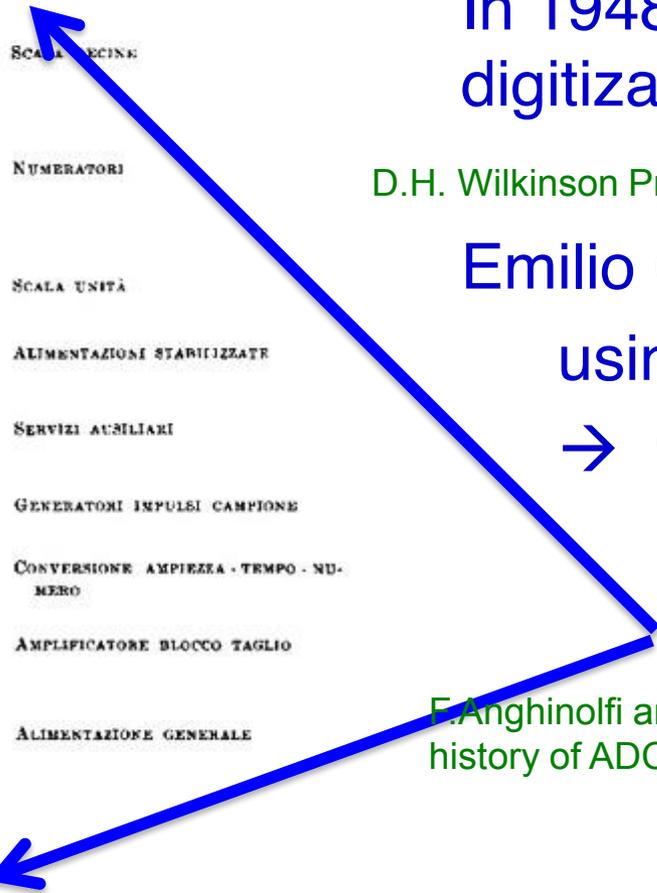
E. Gatti Nuovo Cimento 7(1950) 655-673

One rack, one ADC !!

F. Anghinolfi and E. Heijne IEEE-Sol. St Circ Mag. 4-3(2012) 24
history of ADC



iPHONE
>30 ADCs



- SCALARECINE
- NUMERATORI
- SCALA UNITÀ
- ALIMENTAZIONI STABILIZZATE
- SERVIZI AUSILIARI
- GENERATORI IMPULSI CAMPIONE
- CONVERSIONE AMPIEZZA - TEMPO - NUMERO
- AMPLIFICATORE BLOCCO TAGLIO
- ALIMENTAZIONE GENERALE



Dal sistema di DAQ più semplice all'esperimento più complesso...

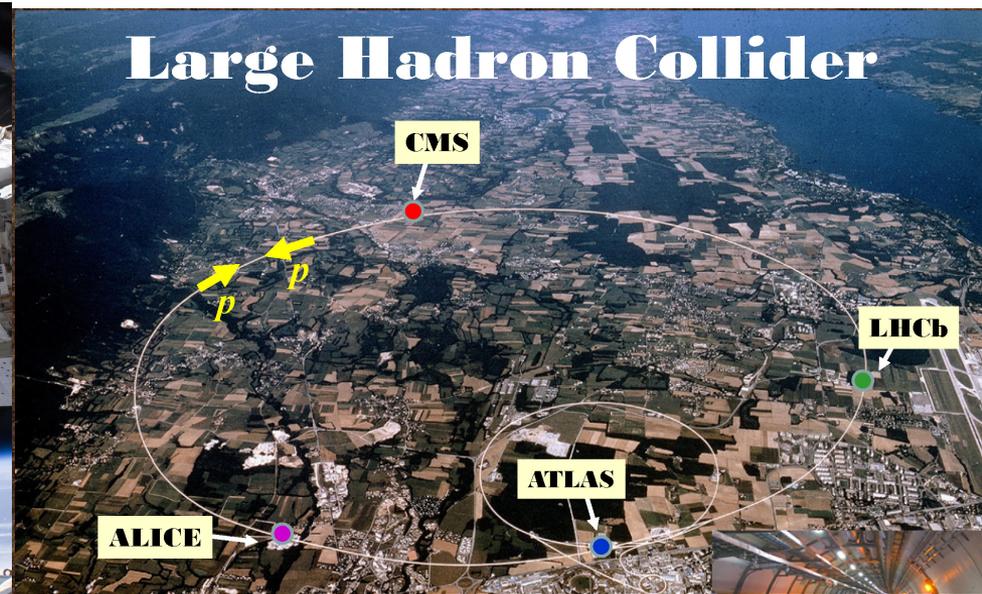
AMS-02 – International Space Station



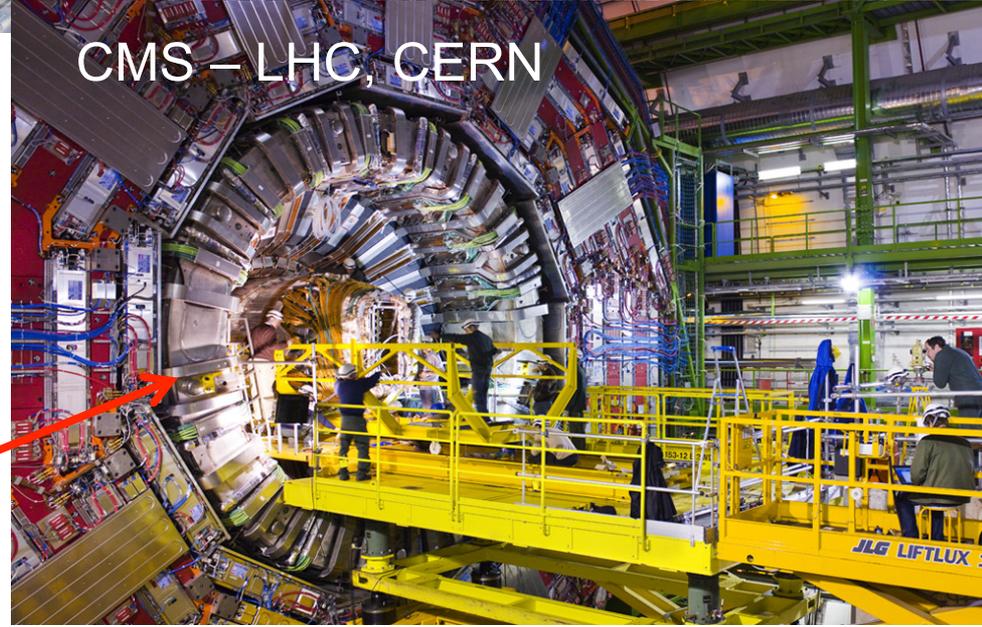
centinaia di migliaia di canali di lettura

decine di milioni di canali di lettura

Large Hadron Collider



CMS – LHC, CERN



JLG LIFTLUX 1

Dal sistema di DAQ più semplice all'esperimento più complesso...

AMS-02 – International Space Station



centinaia di migliaia di canali di lettura

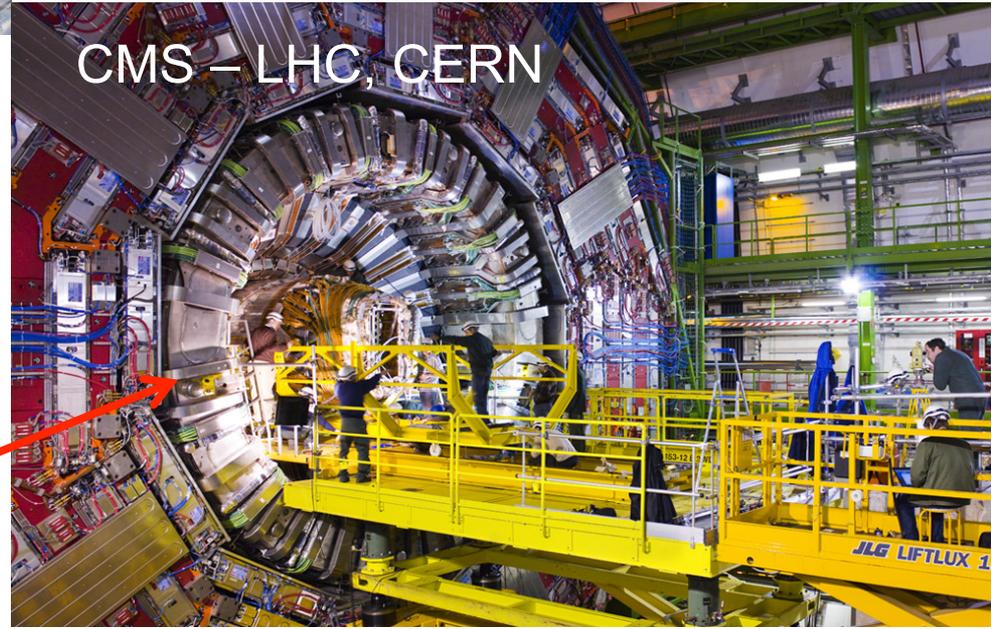
milioni di canali di lettura

decine di milioni di canali di lettura

Macchinetta fotografica digitale



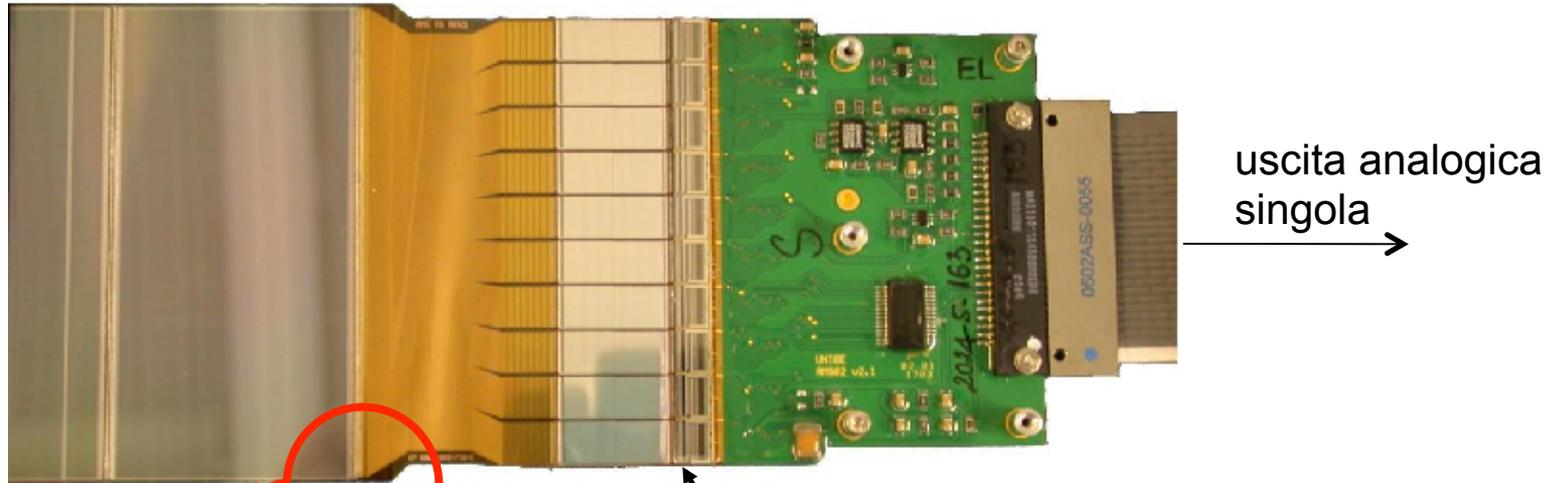
CMS – LHC, CERN



Modalità di acquisizione

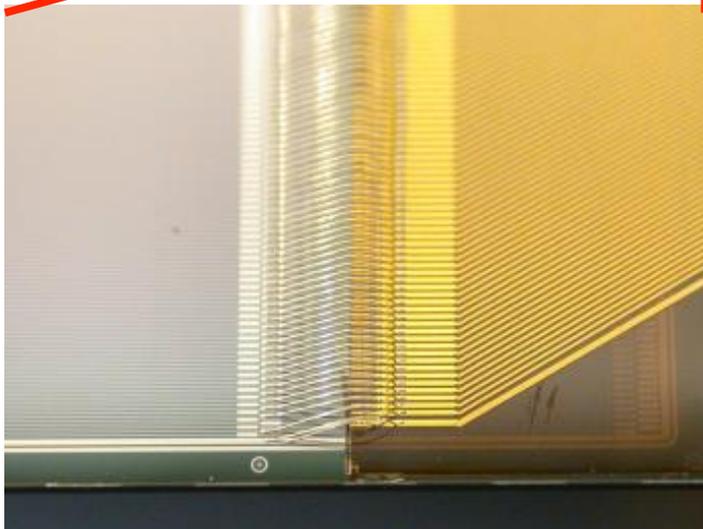
- Continua: a partire da un certo t_0 il sistema acquisisce campioni ad una frequenza fissata
- Con trigger: il sistema acquisisce una quantità definita di campioni, ad una frequenza fissata, a partire da un segnale di trigger
- La sequenza di campioni può essere relativa a:
 - lo stesso segnale a tempi diversi
 - diversi segnali allo stesso istante di tempo
(necessità di un *sample&hold* e di un *multiplexer*)

Rivelatore di particelle



uscita analogica
singola →

640 channels



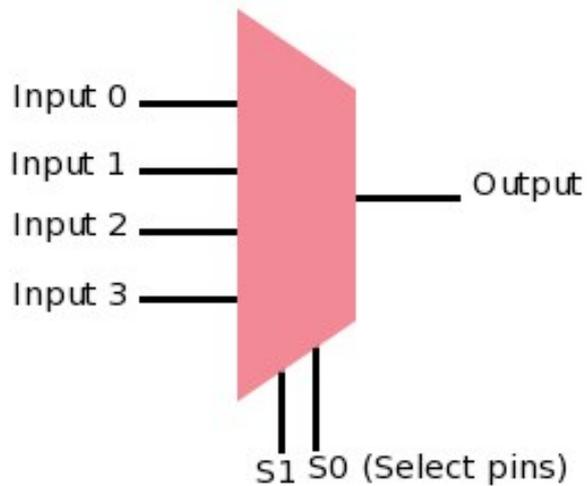
Ad esempio: il tracciatore al silicio del rivelatore AMS-02 ha 192 *rivelatori*, detti *ladder*, ed ognuno a 1024 canali di lettura

→ ~ 200k canali di lettura

Modalità di acquisizione

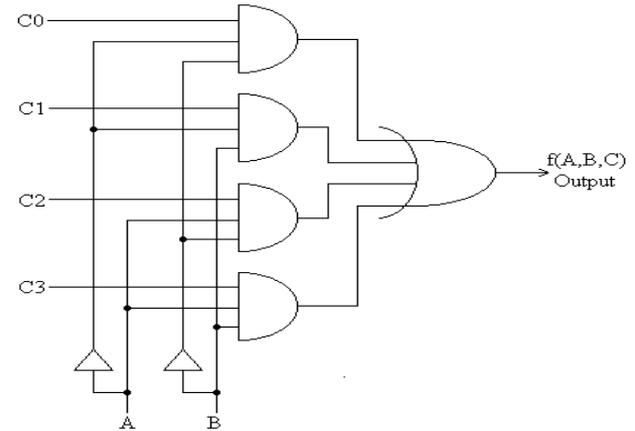
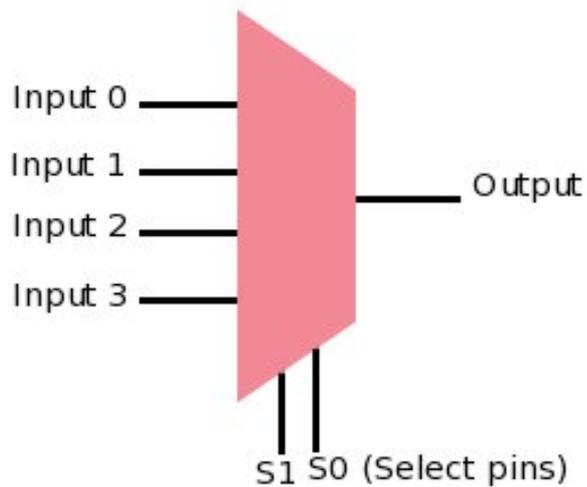
- Continua: a partire da un certo t_0 il sistema acquisisce campioni ad una frequenza fissata
- Con trigger: il sistema acquisisce una quantità definita di campioni, ad una frequenza fissata, a partire da un segnale di trigger
- La sequenza di campioni può essere relativa a:
 - lo stesso segnale a tempi diversi
 - diversi segnali allo stesso istante di tempo
(necessità di un *sample&hold* e di un *multiplexer*)

Multiplexer



multiplexer è un dispositivo capace di selezionare un singolo segnale elettrico fra diversi segnali in ingresso in base al valore degli **ingressi di selezione**

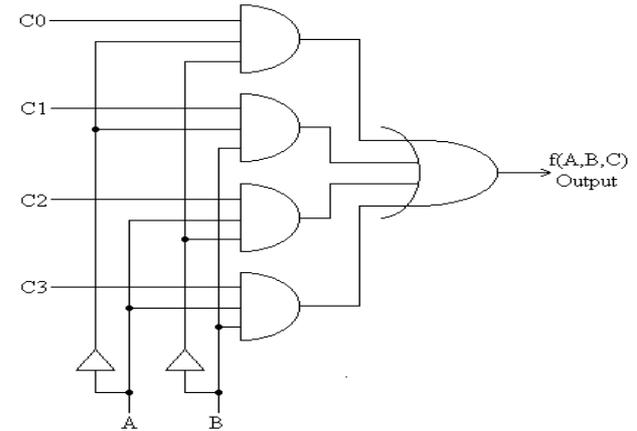
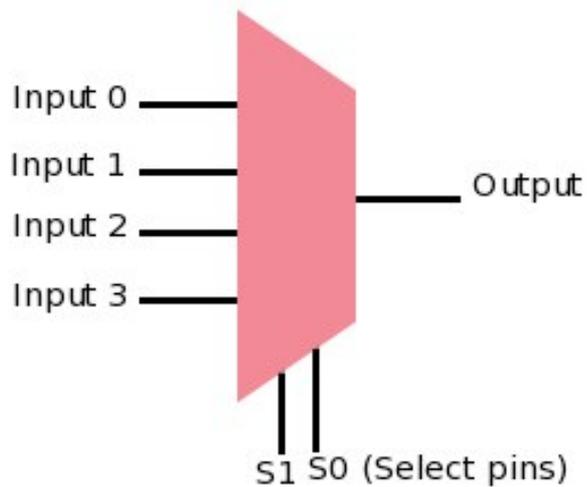
Multiplexer



multiplexer digitale

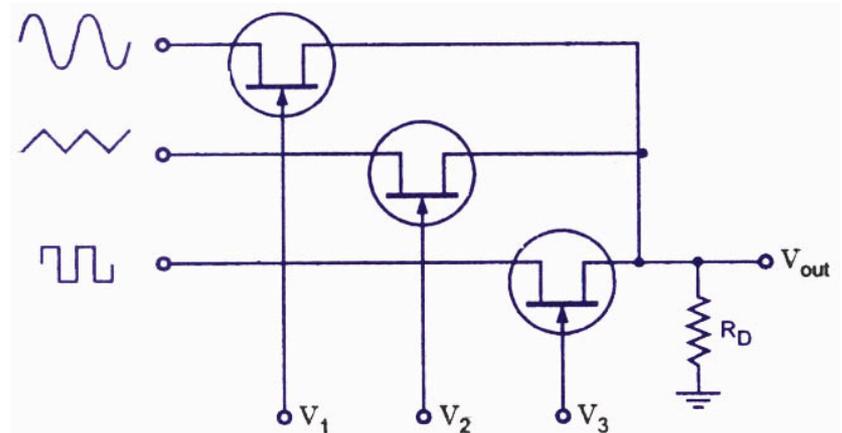
multiplexer è un dispositivo capace di selezionare un singolo segnale elettrico fra diversi segnali in ingresso in base al valore degli **ingressi di selezione**

Multiplexer



multiplexer digitale

multiplexer è un dispositivo capace di selezionare un singolo segnale elettrico fra diversi segnali in ingresso in base al valore degli **ingressi di selezione**



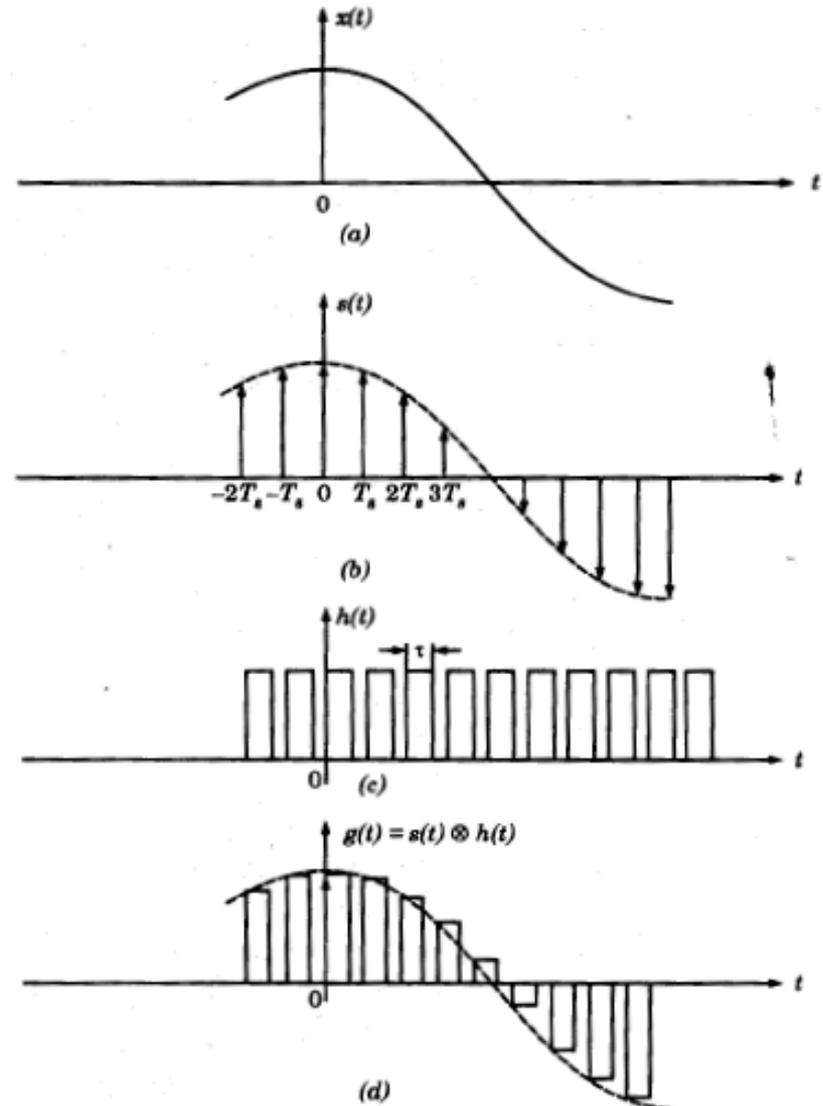
multiplexer analogico

Sample & Hold

La tecnica del **sample&hold** è consente di campionare (**sample**) il segnale ad un certo tempo e immagazzinarlo (**hold**) in attesa del momento in cui sarà possibile andarlo a leggere.

Può essere utilizzato per:

- immagazzinare un segnale *veloce* e leggerlo alla velocità permessa dall'ADC (ovviamente poi ci sarà un certo *dead time* prima della prossima acquisizione)
- immagazzinare il segnale dagli N canali di lettura (*multiplexati*) di un unico rivelatore



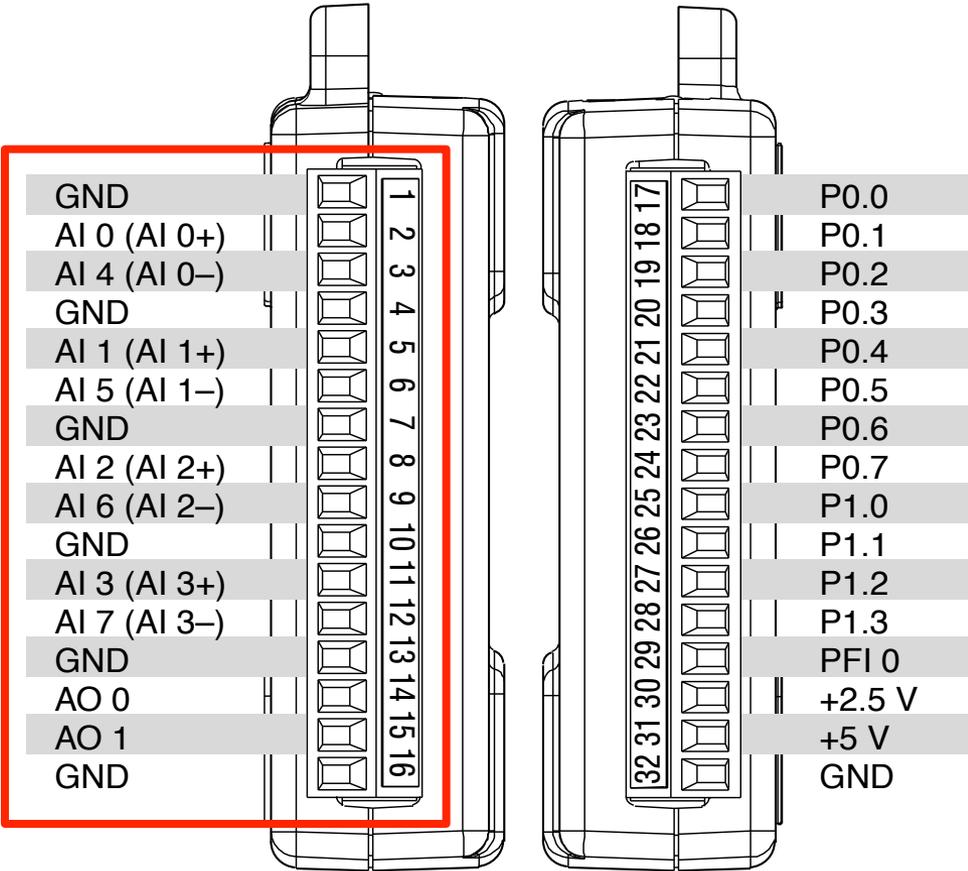
National Instruments USB-6008



National Instruments USB-6008

Device Pinout

Figure 2. NI USB-6008 Pinout



National Instruments USB-6008

Analog Input

Analog inputs	
Differential	4
Single-ended	8, software-selectable
Input resolution	
Differential	12 bits
Single-ended	11 bits
Maximum sample rate (aggregate)	10 kS/s, system dependent
Converter type	Successive approximation
AI FIFO	512 bytes
Timing resolution	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy	100 ppm of actual sample rate
Input range	
Differential	$\pm 20\text{ V}^1$, $\pm 10\text{ V}$, $\pm 5\text{ V}$, $\pm 4\text{ V}$, $\pm 2.5\text{ V}$, $\pm 2\text{ V}$, $\pm 1.25\text{ V}$, $\pm 1\text{ V}$
Single-ended	$\pm 10\text{ V}$
Working voltage	$\pm 10\text{ V}$
Input impedance	144 k Ω