

CAMPIONAMENTO

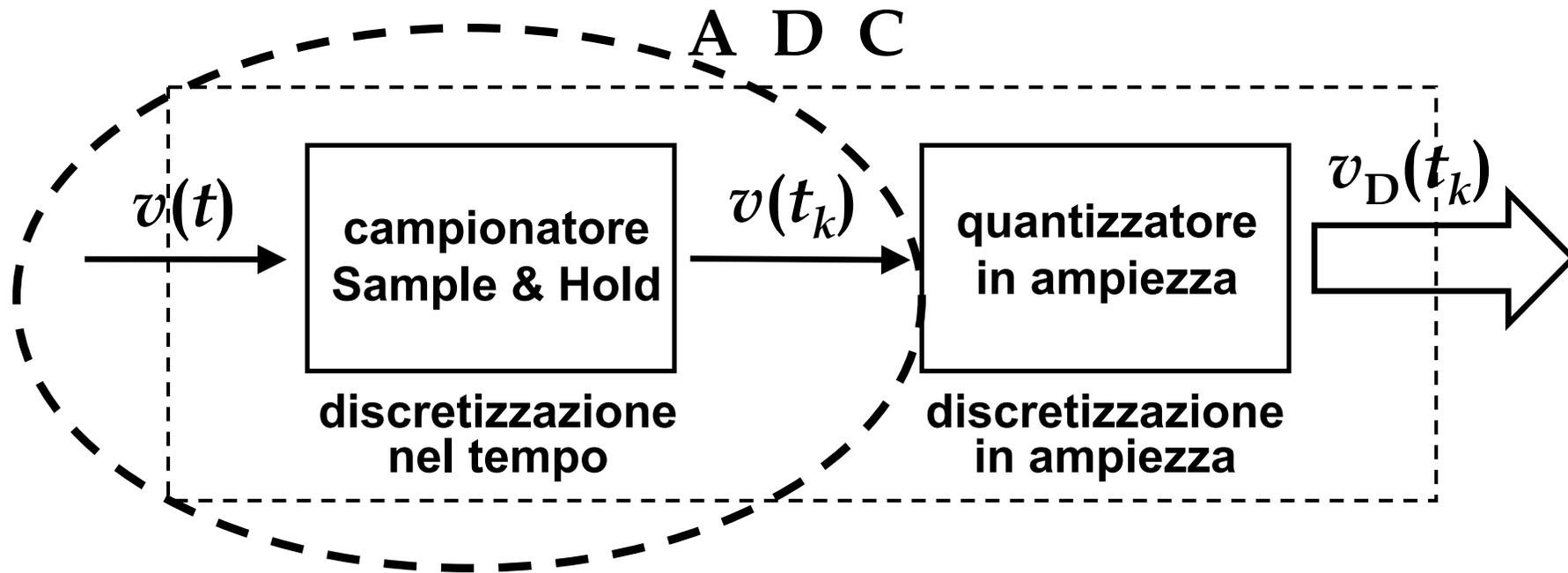
SCHEDA DAQ

PROTOCOLLI

Sistemi di Acquisizione Dati
Prof. Alessandro Pesatori



Campionamento ideale/reale



Il segnale campionato $v(kT_c)=x_c(t)$ idealmente si ottiene prelevando i campioni in un tempo infinitesimo ma nella **realtà** occorre un **tempo finito** ($T_w \neq 0$) per prelevare da $v(t)$ il segnale campionato $v(t_k)$ e per quantizzarlo



Segnale di ingresso e campionamento

Un **segnale di tensione** $v(t)=x(t)$ è reale e continuo

Ipotizziamo di lavorare con uno spettro del segnale "limitato":
trasformata $X(f)$ t.c. $X(f)\equiv 0$ per $|f| > f_{\max}$

(se il segnale non ha banda limitata a f_{\max} ,
si può usare un filtro passa-basso)

In un **campionamento ideale** il segnale è moltiplicato
per un treno di **delta di Dirac** $h(t)=\delta(t)$

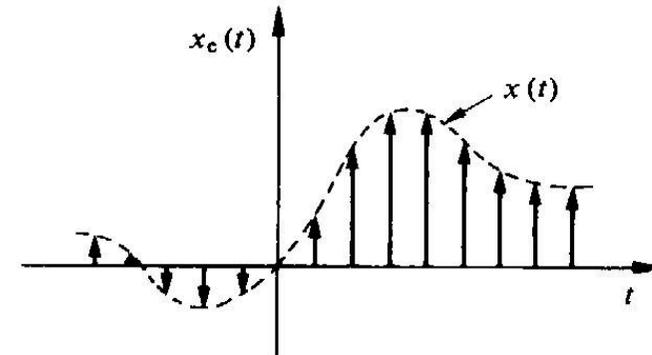
In un **campionamento reale** il segnale è moltiplicato
per un treno di **rettangoli** $h(t)=\text{rect}(t/T_w)$
in cui il singolo rettangolo ha durata finita T_w

Campionamento ideale

T_c e f_c sono periodo e frequenza di campionamento

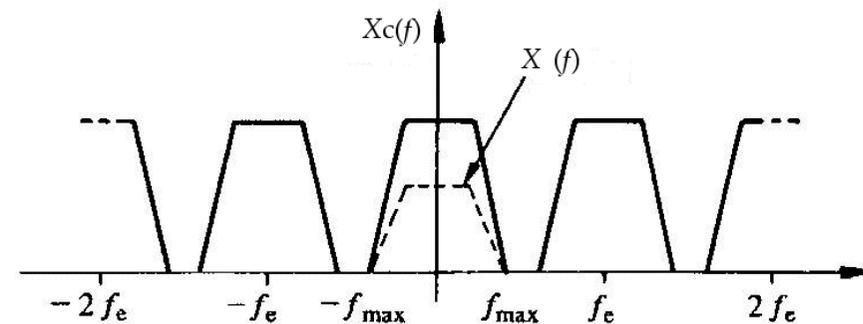
segnale campionato
(dominio temporale)

$$x_c(t) = x(t) \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_c)$$



segnale campionato
(dominio spettrale)

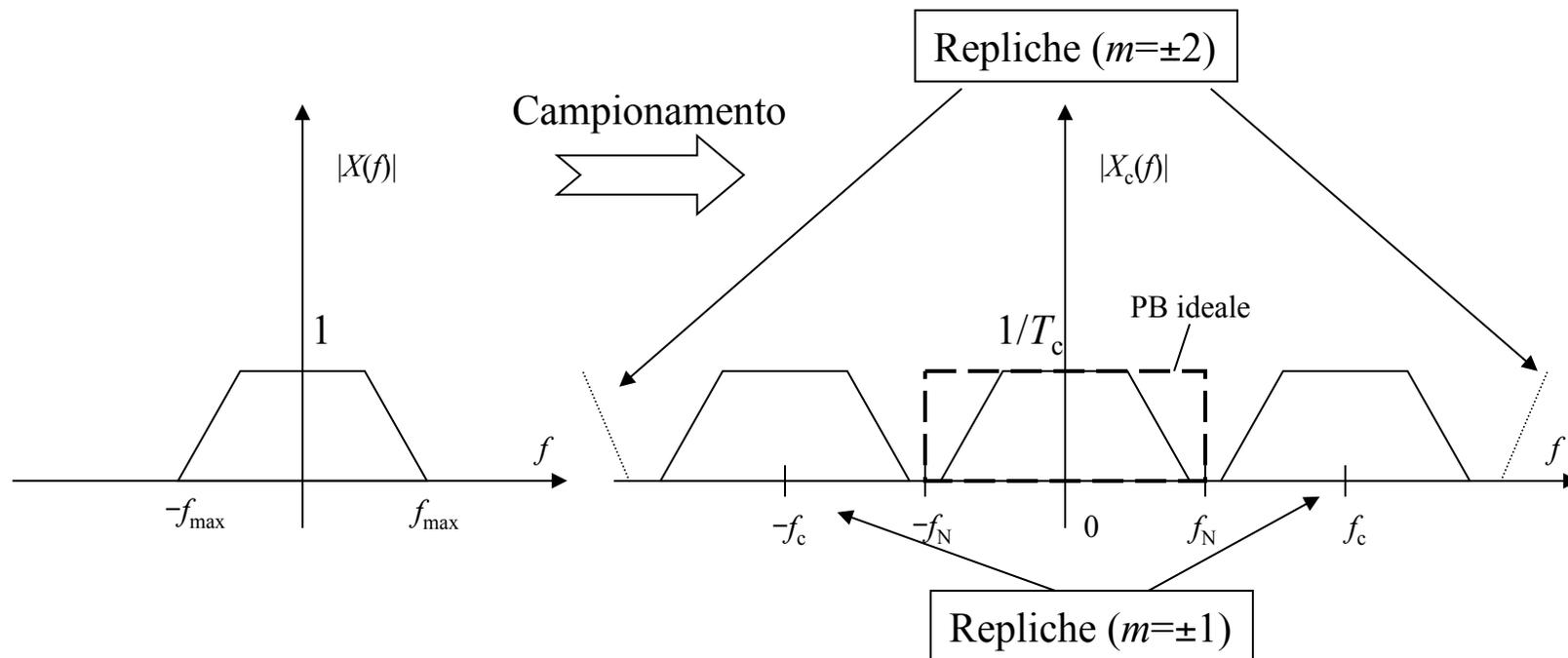
$$X_c(f) = f_c \sum_{m=-\infty}^{+\infty} X(f - mf_c)$$



Lo spettro del segnale campionato è periodico
e contiene infinite **repliche** dello spettro del segnale,
distanziate con un **passo f_c**

Teorema di Shannon

Un filtro **passa-basso (PB) ideale** con frequenza di taglio pari alla **frequenza di Nyquist** $f_N = f_c / 2$ permette di **ricostruire** il segnale originale, dal segnale campionato, se la massima frequenza f_{\max} del segnale d'ingresso è tale che $f_{\max} \leq f_N$

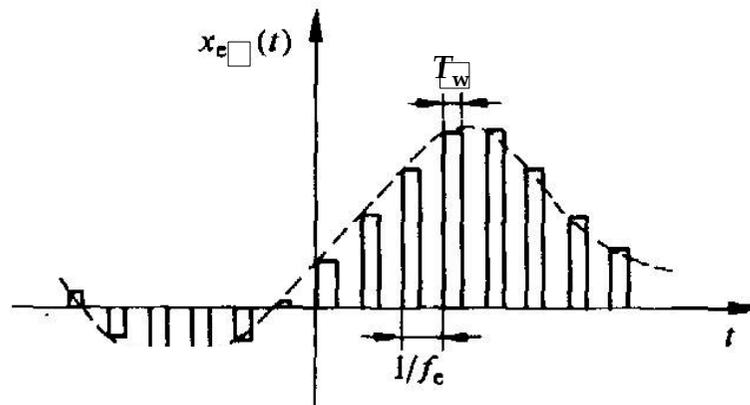


Se $f_{\max} > f_N$ si avrà **aliasing** (equivocazione) sul segnale ricostruito

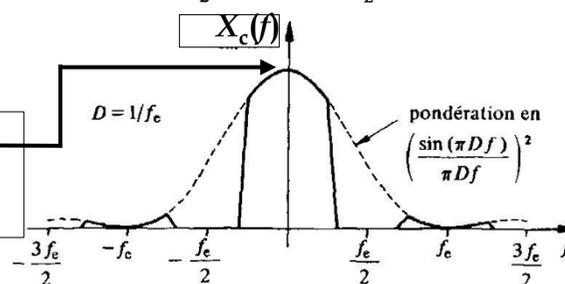
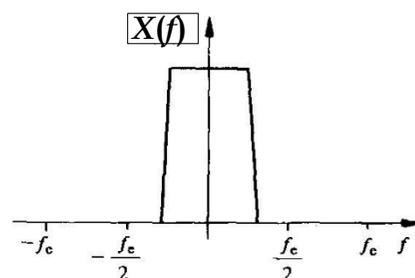
Campionamento reale

segnale campionato
(dominio temporale)

$$x_c(t) = x(t) \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \text{rect}[(t - kT_c) / T_w]$$



segnale campionato
(dominio spettrale)



per $fT_w \ll 1$
l'errore è trascurabile

$$\Rightarrow T_w \ll 1/f_{\max}$$

$$\Rightarrow f_{\max} \ll 1/T_w$$

**distorsioni su
ampiezza e fase del
segnale ricostruito**

$$X_c(f) = f_c T_w \frac{\sin(\pi f T_w)}{(\pi f T_w)} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} X(f - m f_c) e^{-j\pi f T_w} \frac{\sin \pi T_c (f - m f_c)}{\pi T_c (f - m f_c)} e^{-j\pi f T_c}$$

Soluzione Pb. campionamento reale



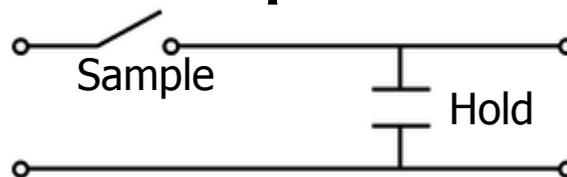
Per sistemi DAQ con **requisiti di accuratezza** elevati le **distorsioni** introdotte dal campionamento reale devono essere **calcolate e tenute in conto**

In generale per ridurre gli effetti provocati dall'*aliasing* e dalla durata finita del campionamento **si adottano frequenze di campionamento ben superiori al limite imposto dal teorema di Shannon**

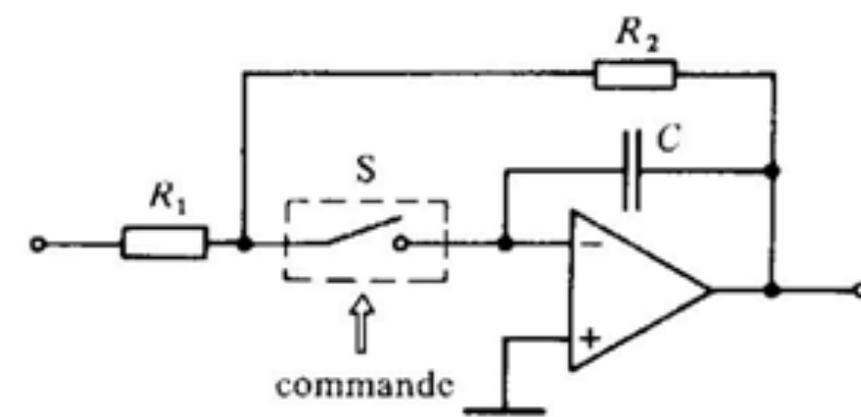
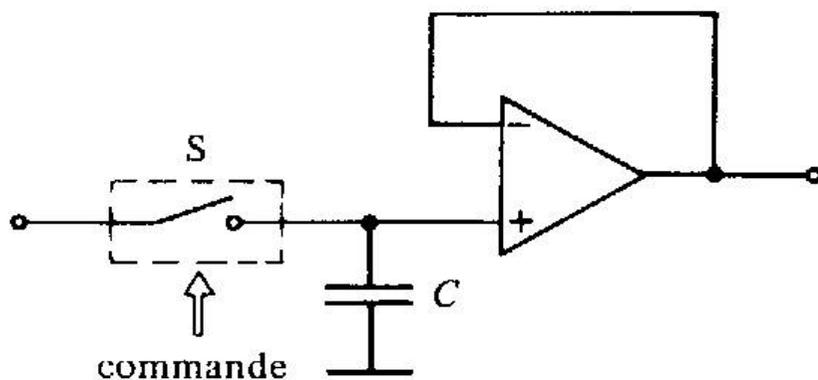
(ad esempio $f_c = 10f_{c,\min} = 20f_{\max} = 20f_{s,\max}$)

Naturalmente $T_w < T_c$ e magari $T_w \ll T_c \Rightarrow T_w \ll 1/f_{\max}$

Campionatore Sample&Hold (S/H)

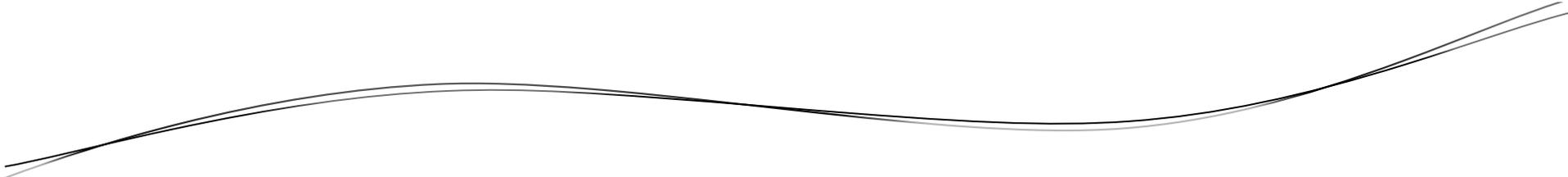


A interruttore chiuso, la tensione campionata viene "memorizzata" su un condensatore (memoria analogica) che poi la mantiene quando l'interruttore è aperto



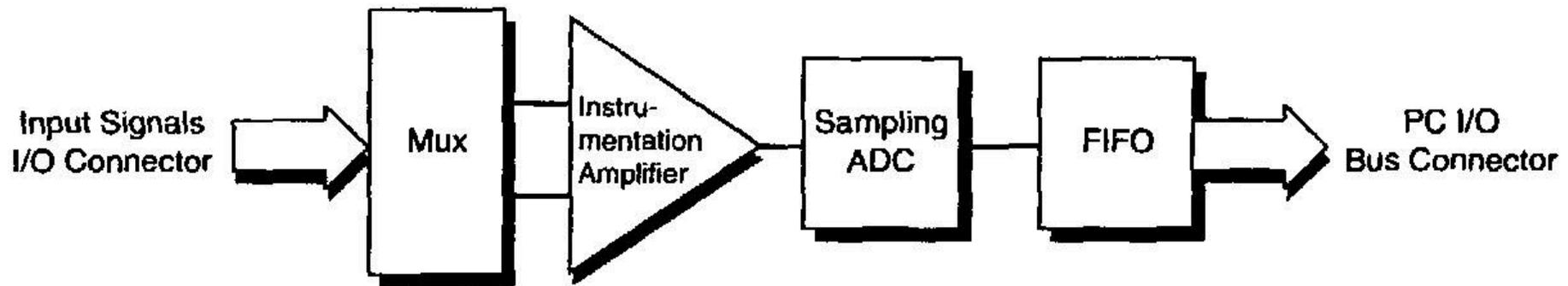
$T_w \approx \tau$ dipende dalla R_s $T_w \approx \tau$ è dato da $R_2 C = \text{cost.}$

Pb. non-idealità (correnti di perdita): dell'interruttore S o del condensatore C o dell'operazionale



**SCHEDE DI
ACQUISIZIONE DATI
(DAQ) Data Acquisition**

Scheda di acquisizione dati (DAQ)



Multiplexer – permette di selezionare i diversi ingressi disponibili (di tipo *single-ended* e di tipo **differenziali**)

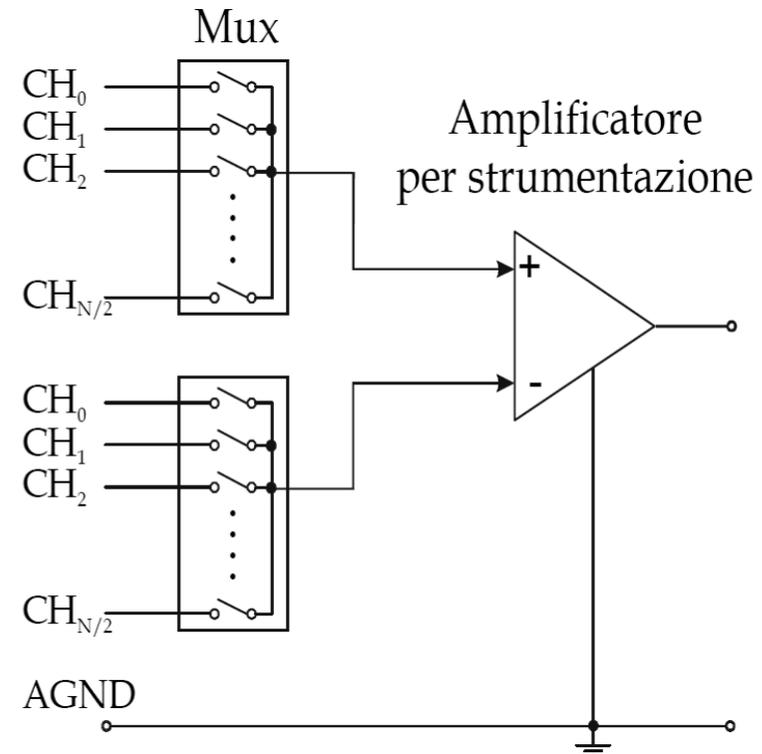
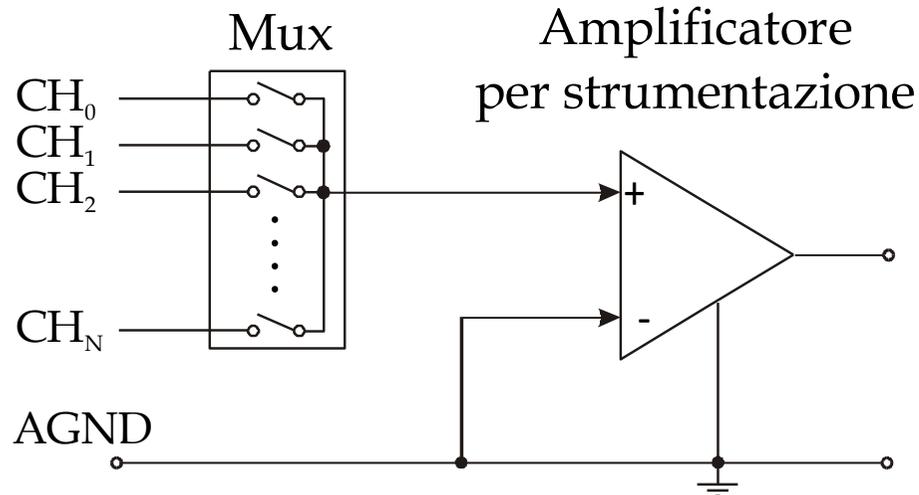
Amplificatore per strumentazione (WB, guadagno variabile) – consente di utilizzare la piena dinamica del convertitore (ADC)

Campionatore+ADC – converte la tensione in valore numerico

FIFO – consente di inviare sul bus dati del PC e/o direttamente in memoria RAM (**DMA**) del PC i dati acquisiti

Le schede dispongono anche di **uscite analogiche (DAC)**, di **linee di I/O Input/Output**, e di **sincronizzazioni analogiche e digitali (timer e trigger)**

Ingressi *single-ended* o differenziali



Se il MUX ha N ingressi (fili),
la scheda avrà
 N ingressi *single-ended*
e $N/2$ ingressi differenziali

Numero tipico dei canali analogici d'ingresso: 8-80 canali

Frequenza di campionamento

Frequenza di campionamento - La massima frequenza a cui la DAQ può digitalizzare il segnale. La DAQ potrà digitalizzare il segnale anche a frequenze inferiori. Quando si effettua un campionamento multicanale (cioè su più ingressi), la massima frequenza campionabile sul singolo canale è pari a:

$$f_{sample,segnale} = \frac{f_{max,ADC}}{N_{segnali}}$$

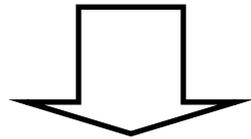
Valori tipici per la frequenza di campionamento nel caso di schede *general purpose*:

$$10 \text{ kSa/s} < f_{sample} < 10 \text{ MSa/s}$$



Dinamica ADC

Dinamica ADC: D_{ADC}
 è fissa (non sempre adatta al segnale)



Si massimizza la risoluzione
 sul segnale amplificandolo

$$G = D_{ADC} / D_{segnale}$$

Guadagni tipici dell'amplificatore
 con ADC con dinamica ± 5 V:

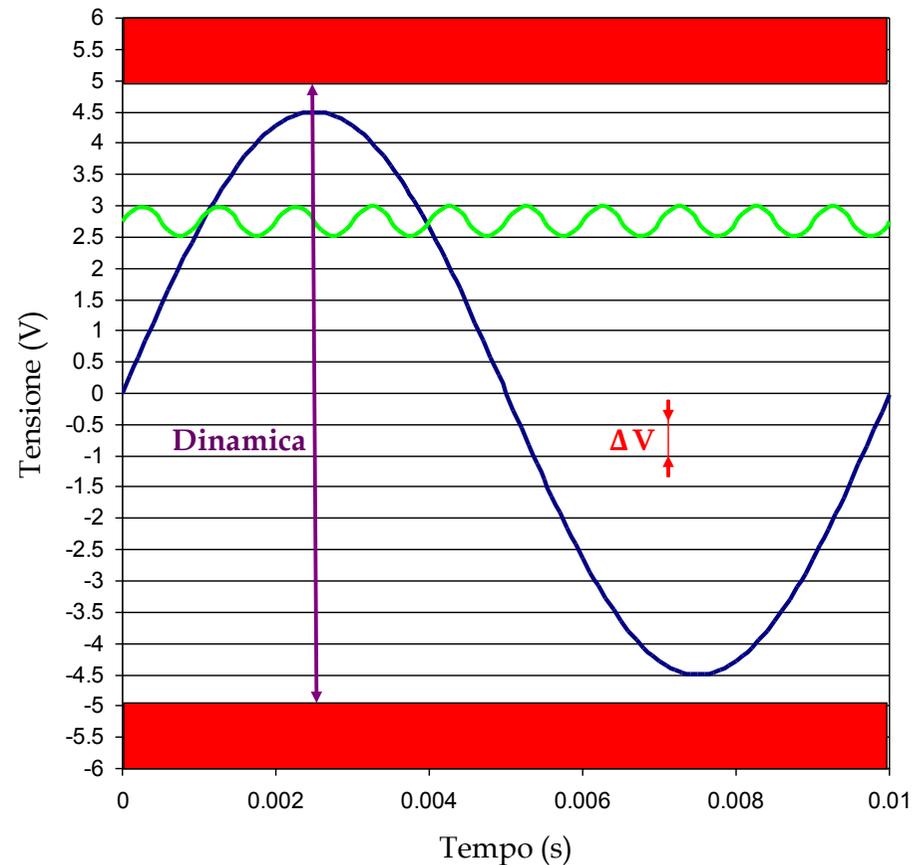
$$G=100 \quad D_s = \pm 50 \text{ mV}$$

$$G=10 \quad D_s = \pm 0.5 \text{ V}$$

$$G=1 \quad D_s = \pm 5 \text{ V}$$

$$G=0.5 \quad D_s = \pm 10 \text{ V}$$

$$\Delta V_{daq} = D_s / 2^n = (100\text{mV}, 1\text{V}, 10\text{V}, 20\text{V}) / 2^n$$





Risoluzione ADC

Risoluzione - Il numero di bit (n) che l'ADC usa per rappresentare il **segnale analogico in ingresso**. Maggiore è la risoluzione, maggiore è il numero di livelli in cui la dinamica (D_{ADC}) dell'ADC è divisa, ergo, la tensione minima rilevabile (ris. dim. ΔV) varia in funzione della dinamica del segnale d'ingresso e del guadagno dell'amplificatore. La **minima tensione rilevabile** per una DAQ ideale è la ris. dimensionale.

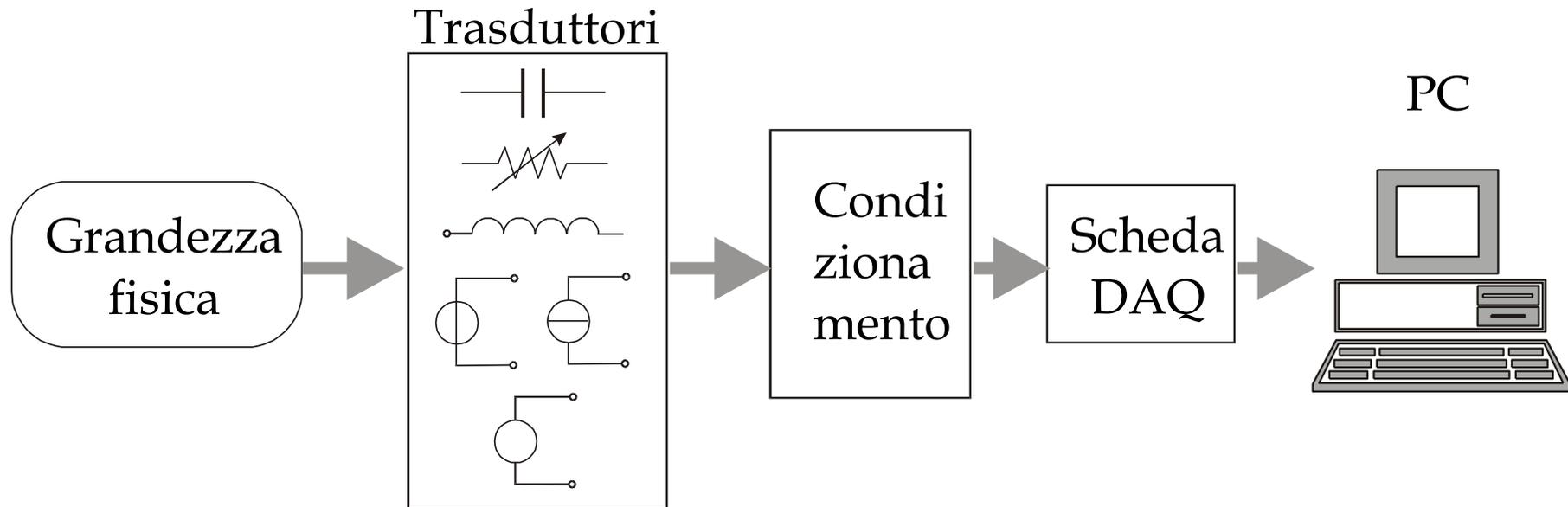
$$\Delta V = \frac{D_{ADC}}{G \times 2^n} \quad \text{risoluzione dimensionale}$$

$$\delta = \frac{1}{N} = \frac{1}{2^n} \quad \text{ris. adim.}$$

Risoluzioni tipiche di una DAQ: **12-18 bit** ($\delta = 2.5 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-6}$)

La risoluzione è solo una delle caratteristiche che descrivono l'**accuratezza della DAQ**. **Rumore elettronico ed errori** (di linearità, di *offset*, di guadagno) devono essere considerati per descrivere correttamente l'accuratezza dell'ADC.

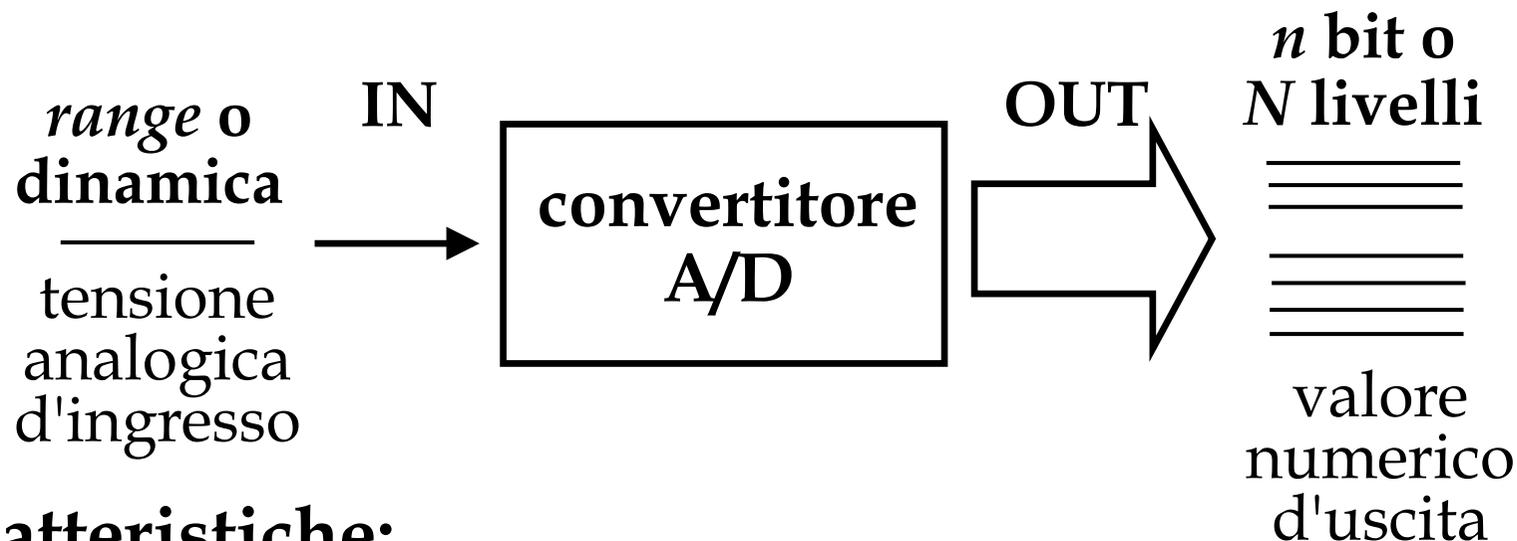
Acquisizione dati dal mondo fisico



**Fenomeno fisico → Trasduttore → Condizionamento →
Scheda DAQ → PC+DSP (elaborazione e visualizzazione)**

ACQUISIZIONE e ANALISI dei DATI

Caratteristiche del convertitore A/D



Caratteristiche:

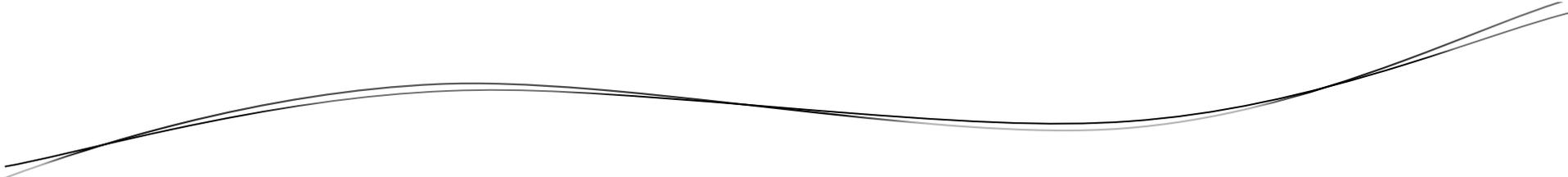
DINAMICA: D [V]

RISOLUZIONE: n [bit] o N [livelli]

VELOCITA': f_c [Hz] o T_c [s] o anche f_{sample} [Sa/s]

RUMORE ELETTR. [mV efficaci] o **BIT EQ.** n_e [bit]

COSTO [€] e **CONSUMI** [mW]



PROTOCOLLI DI COMUNICAZIONE

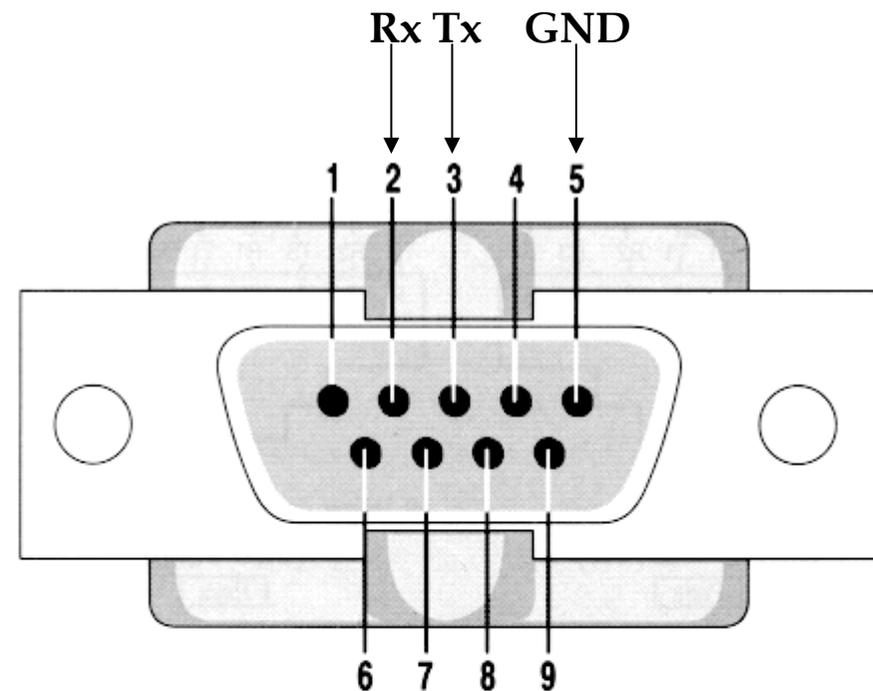
Sistemi di Acquisizione Dati
Prof. Alessandro Pesatori

Interfaccia seriale RS-232

La comunicazione seriale avviene attraverso **tre linee**:

- (2) **RX** ricezione;
 - (3) **TX** trasmissione;
 - (5) linea di massa **GND**;
- (i livelli RX e TX sono quindi riferiti al GND).

Altre linee possono essere disponibili ma in generale non sono richieste.

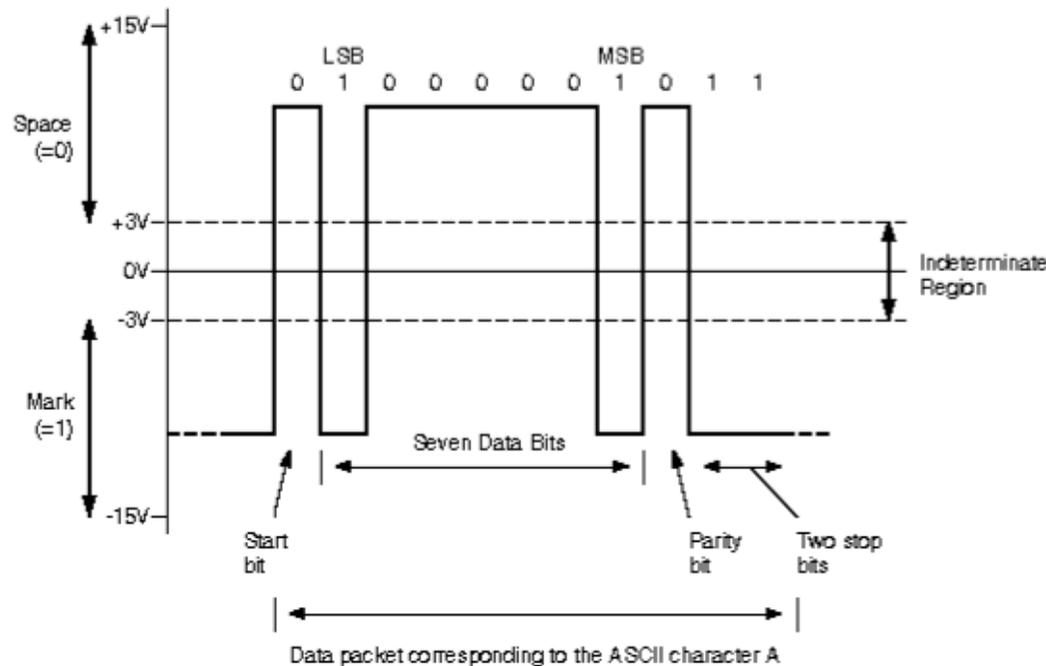


Pin	Signal	Pin	Signal
1	Data Carrier Detect	6	Data Set Ready
2	Received Data	7	Request to Send
3	Transmitted Data	8	Clear to Send
4	Data Terminal Ready	9	Ring Indicator
5	Signal Ground		



Interfaccia seriale RS-232

Il livello di tensione corrispondente allo stato **alto** (1) è compreso tra **+3 V e +12 V** mentre lo stato logico **basso** (0) è tra **-3 V e -12 V** (nel PC o nel dispositivo, invece sul cavo i livelli sono opposti).



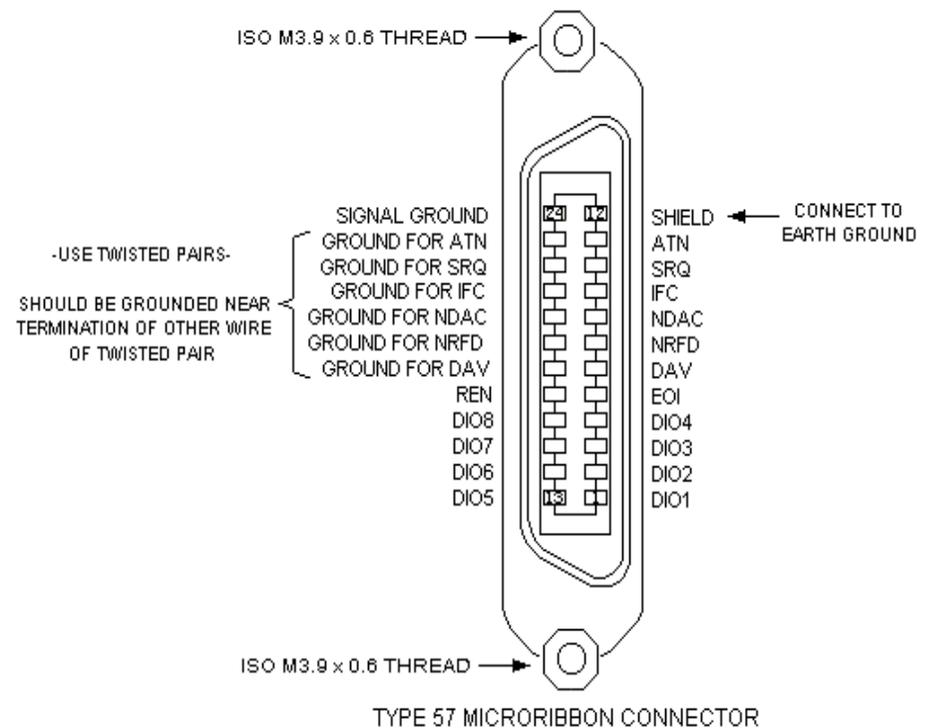
Bit trasmessi

Parametri fondamentali del **protocollo seriale** sono:
baud rate (velocità trasmissione ≈ 9.6 kbit/s), **data bits** (sono 7), **stop bit(s)** e **parity bit** (è 1). Il singolo messaggio è un pacchetto costituito dai bit di dati, stop e parità.

Interfaccia IEEE-488 (GPIB)

Le caratteristiche essenziali dell'interfaccia parallela GPIB (*general purpose interface bus*) sono :

- **8 linee dati** (DIO1-DIO8, TTL 0-5 V), **5 linee di gestione dell'interfaccia** e **3 linee di handshake**;
- il **codice** di trasferimento dei dati è **ASCII a 7 bit + 1 bit di parità** (1 dato = 1 byte);
- il numero massimo di **dispositivi collegabili** è **15** con lunghezza massima di collegamento pari a 20 m
- **velocità massima** di trasmissione **1 Mbyte/s** (tipiche di ≈ 400 kbyte/s)
- ogni strumento collegato ha il suo indirizzo GPIB



Interfaccia IEEE-488 (GPIB)

Ognuno dei dispositivi collegati al bus può assumere uno dei **tre ruoli attivi (modalità)**:

- **LISTENER** (ascoltatore) ⇒ riceve i dati
- **TALKER** (parlatore) ⇒ trasmette i dati
- **CONTROLLER** (controllore) ⇒ gestisce il bus

Un dispositivo può anche assumere più di un ruolo. La minima configurazione richiede **un controller** e *un talker* o *un listener*.

Esiste anche un **quarto ruolo** detto *idler* (ozioso) un cui il dispositivo è in fase di attesa



Interfaccia USB

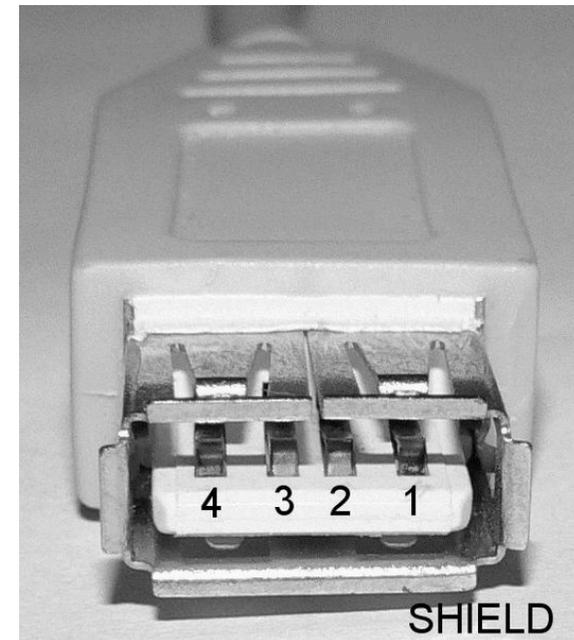
L'*Universal Serial Bus* (USB) è uno standard di comunicazione seriale che consente di collegare **diverse periferiche** (fino a 127 compresi gli *hub* di connessione delle periferiche) tra di loro o a un computer.

- 1 **VBUS** ⇒ alimentazione (+5 V)
- 2 **D⁻** ⇒ “ricezione” dati
- 3 **D⁺** ⇒ “trasmissione” dati
- 4 **GND** ⇒ riferimento di massa

I dati sono tensioni differenziali con
 $\Delta V^+ \cong +3V$ e $\Delta V^- \cong -3V$ per $\Delta V = (D^+ - D^-) = 2.8 \div 3.6V$

Velocità di trasferimento dati:

- | | |
|---------------------------------|--------------|
| USB 1.0 | ⇒ 1.5 Mbit/s |
| USB 1.1 o 2.0 <i>full speed</i> | ⇒ 12 Mbit/s |
| USB 2.0 <i>high speed</i> | ⇒ 480 Mbit/s |
| USB 3.0 <i>super speed</i> | ⇒ 4.8 Gbit/s |

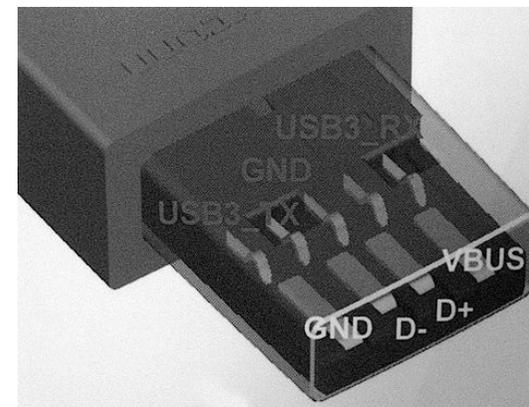
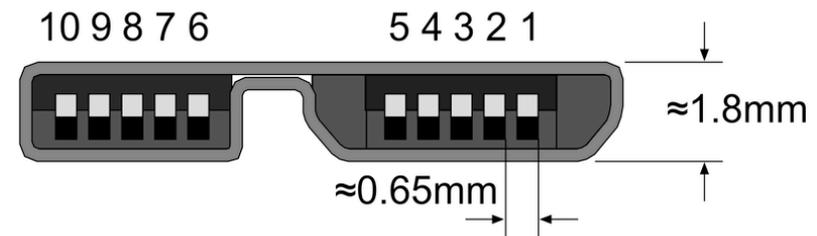


Interfaccia USB

USB fino a 2.0 utilizzano una comunicazione di tipo *half-duplex* mentre 3.0 permette una trasmissione di tipo *full-duplex*

Sulla connessione di alimentazione (VBUS) un PC può erogare **fino a 500 mA di corrente a 5 V**. Grazie a ciò è possibile anche **alimentare periferiche** a “basso consumo” di potenza (<2.5 W)

L'USB 3.0 può erogare una corrente di **150 mA**, con picchi di 900 mA, il che apre le porte a tutta una nuova gamma di accessori USB.





Interfaccia USB

Quando una periferica o un *hub* viene connesso alla struttura ad albero gli viene assegnato un indirizzo logico. Dopo essersi sincronizzato con il *clock* del ricevitore invia un stringa di bit indicando quale **tipo di trasferimento dati** desidera eseguire:

- 1 **Control** ⇒ operazioni di comando e stato
- 2 **Interrupt** ⇒ latenze garantite, pochi dati trasferiti
- 3 **Bulk** ⇒ latenze non garantite, trasferimento di un grosso pacchetto di dati
- 4 **Isosynchronous** ⇒ trasferimento continuo (*streaming*) di dati

Un **singolo cavo USB** può essere **lungo fino a 5 m**
Collegando degli *hub* le **periferiche** possono trovarsi **fino a 30 m**
dall'utilizzatore

Sino a oggi infatti se si collegano più dispositivi alla stessa porta USB i dati vengono inviati a tutte le periferiche e poi solo l'interessato li preleva, il che comporta che tutti debbano stare costantemente attivi. Il nuovo **USB 3.0** invece riesce a **smistare il traffico**, così i dispositivi non interessati possono restare inattivi ⇒ **risparmio energetico**

Altre interfacce

- Firewire fino 800 Mb/s \Rightarrow Bus simile al GPIB
- E-sata fino a 3.2 Gb/s \Rightarrow utilizzato negli HD
- Thunderbolt fino a 10 Gb/s \Rightarrow protocollo di comunicazione più semplice

