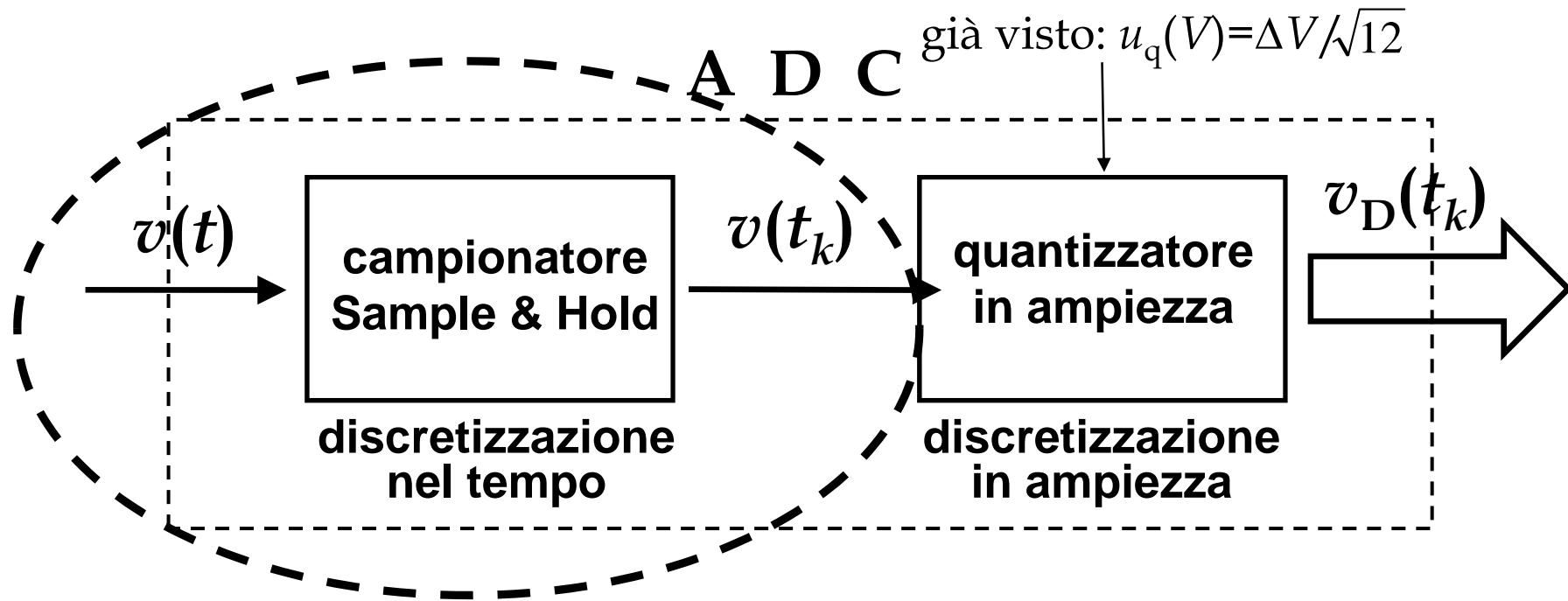


**CAMPIONAMENTO**

**SCHEDA DAQ**

**PROTOCOLLI**

# Campionamento ideale/reale



Il segnale campionato  $v(t_k) = v(kT_c) = x_c(t)$  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 poi 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 (serie) di **delta di Dirac**  $h(t)=\delta(t)$

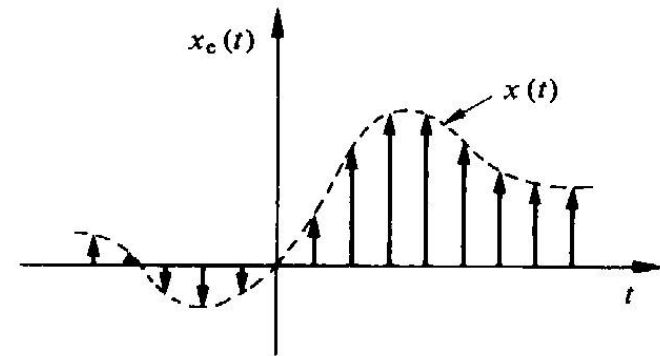
In un **campionamento reale** il segnale è moltiplicato per un treno (serie) di **rettangoli**  $h(t)=\text{rect}(t/T_w)$  in cui il singolo rettangolo ha durata finita  $T_w$

# Campionamento ideale

$T_c$  e  $f_c$  sono periodo e frequenza di campionamento

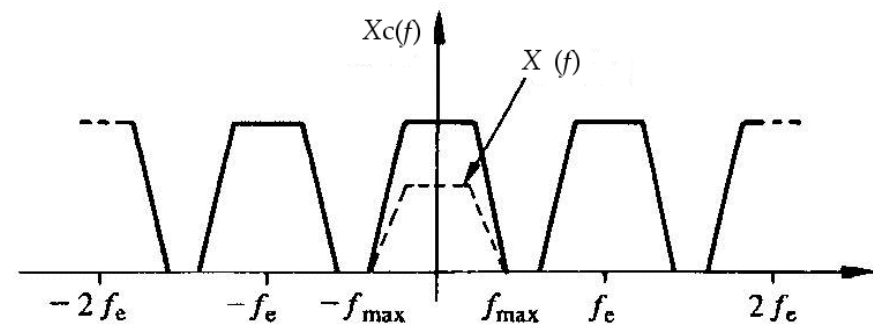
segnale campionato  
(dominio temporale)

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



segnale campionato  
(dominio spettrale)

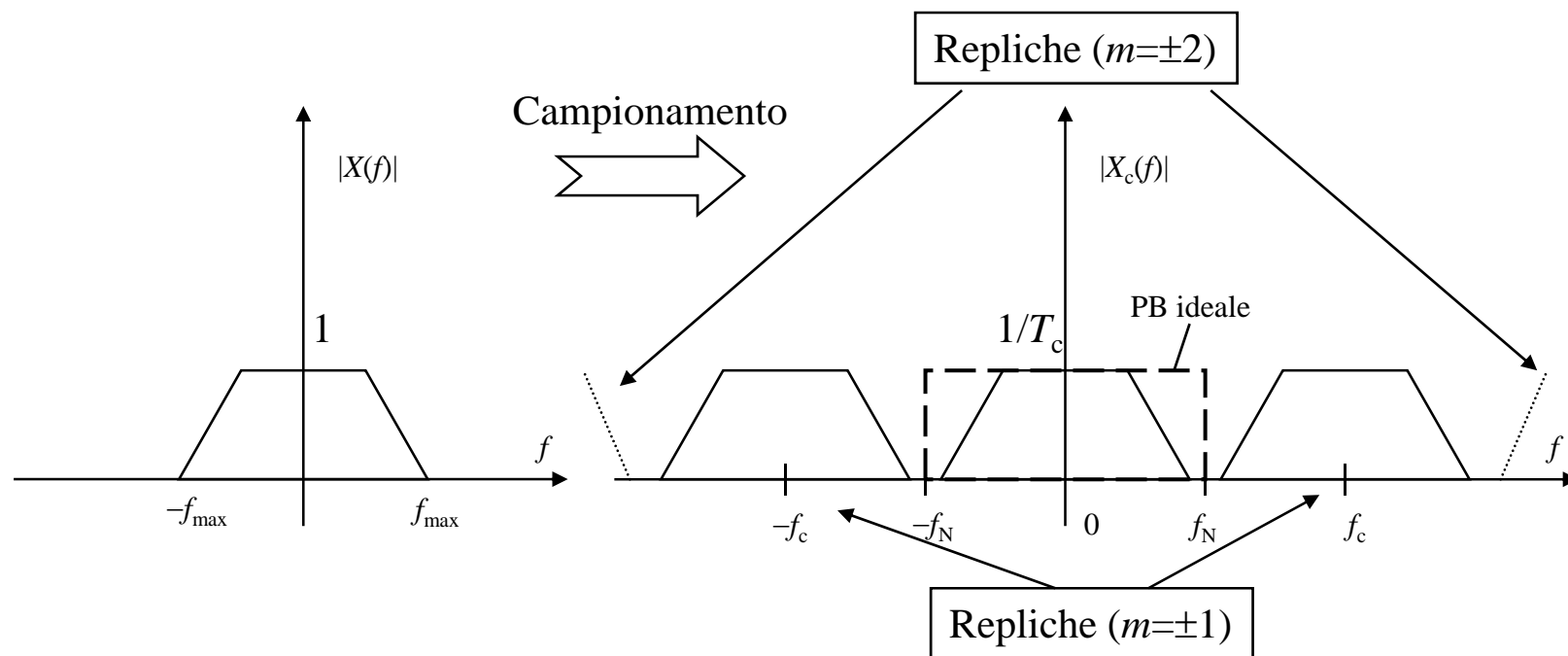
$$X_c(f) = f_c \sum_{m=-\infty}^{+\infty} X(f - mf_c)$$



**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  $f_{\max} \leq f_N$

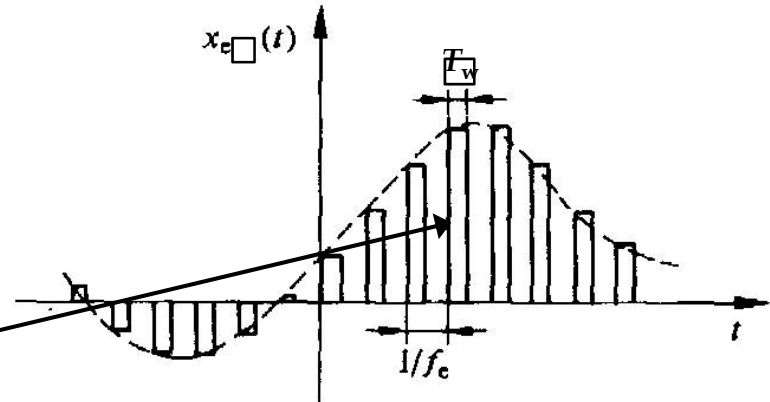


Se  $f_{\max} > f_N$  si avrà **aliasing** (equivocazione) sul segnale ricostruito

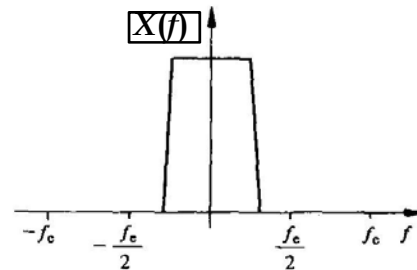
# Campionamento reale

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

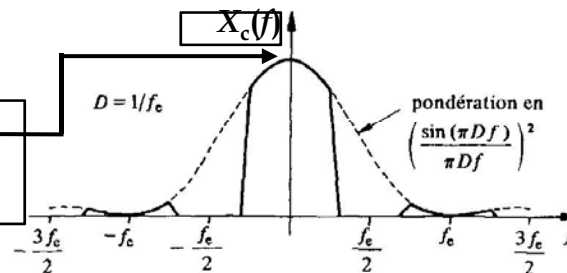
si campiona con una funzione a rettangolo  
anziché con una  $\delta$  di Dirac



segnale campionato  
(dominio spettrale)



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



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

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

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

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

# 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**

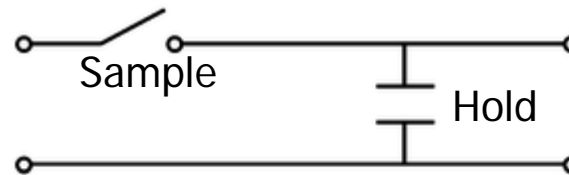
Non saranno accettabili distorsioni che producono errori sul segnale confrontabili con il limite di rumore imposto dal numero di bit equivalenti

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**

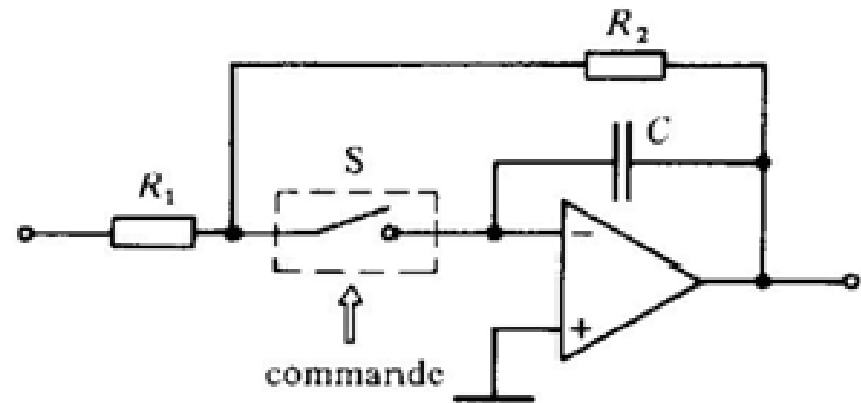
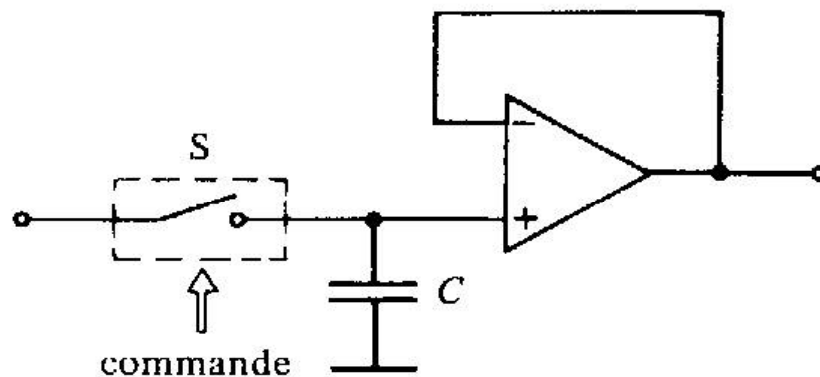
( ad esempio  $f_c = 10f_{c,\min} = 20f_{\max} = 20f_{s,\max}$  )

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



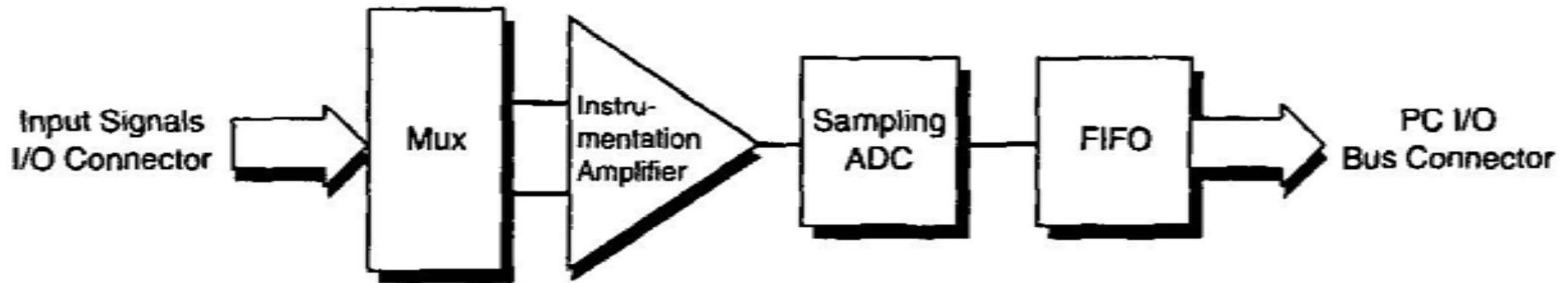
$T_w \approx \tau$  dipende dalla  $R_s$        $T_w \approx \tau$  è dato da  $R_2 C = \text{cost.}$

**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**)

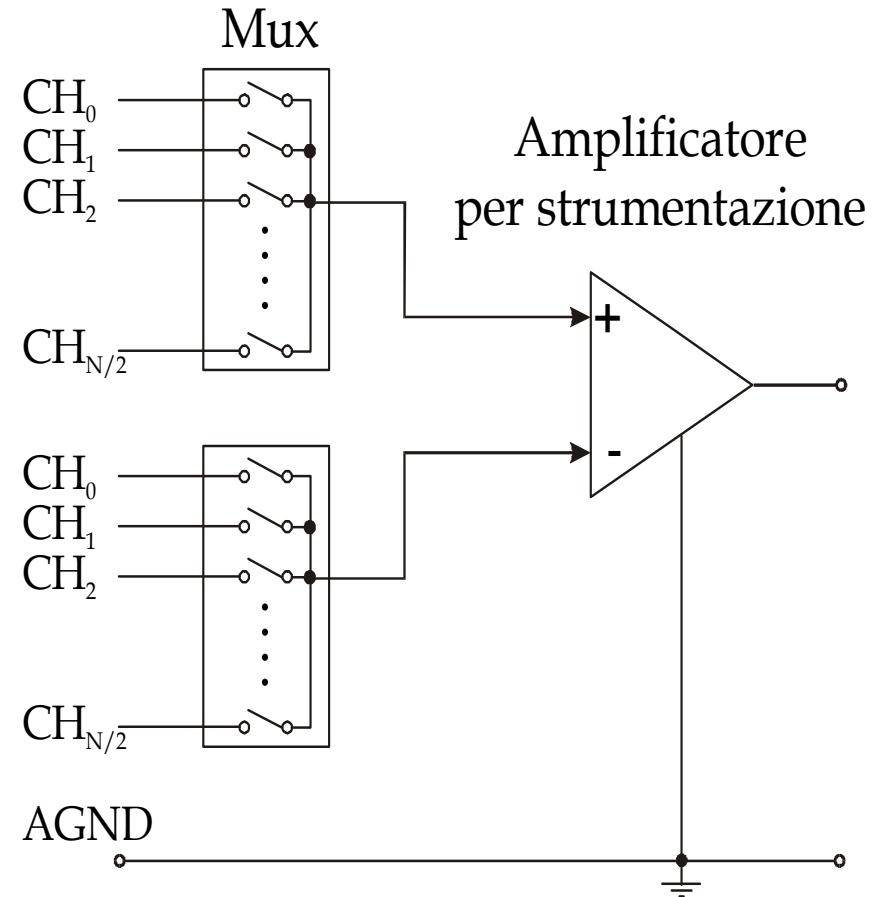
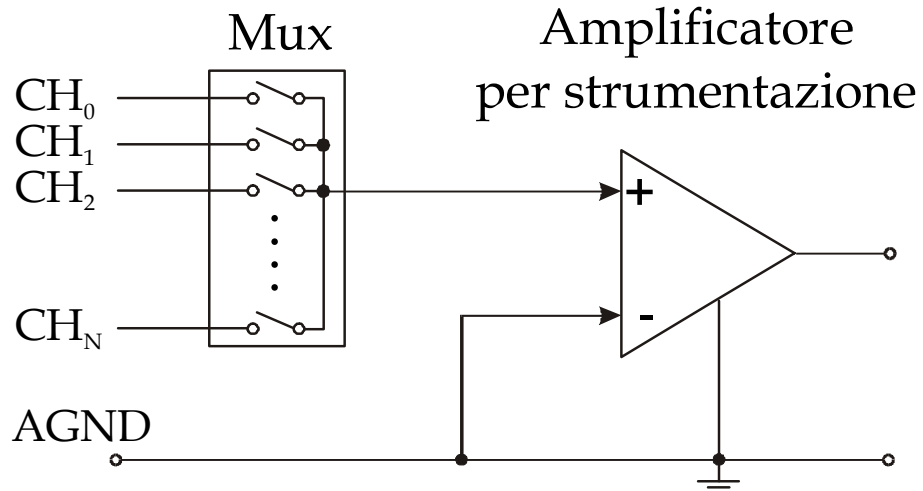
**Amplificatore** per strumentazione (WB, guadagno variabile) – consente di utilizzare la piena dinamica del convertitore (ADC)

**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:

$$f_{sample, N_I \text{ ingressi}} = \frac{f_{\max, \text{ADC}}}{N_I}$$

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

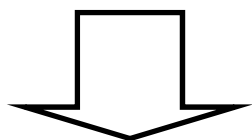
$$10 \text{ kSa/s} < f_{sample} < 10 \text{ MSa/s}$$



# 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  $\pm 5$  V:

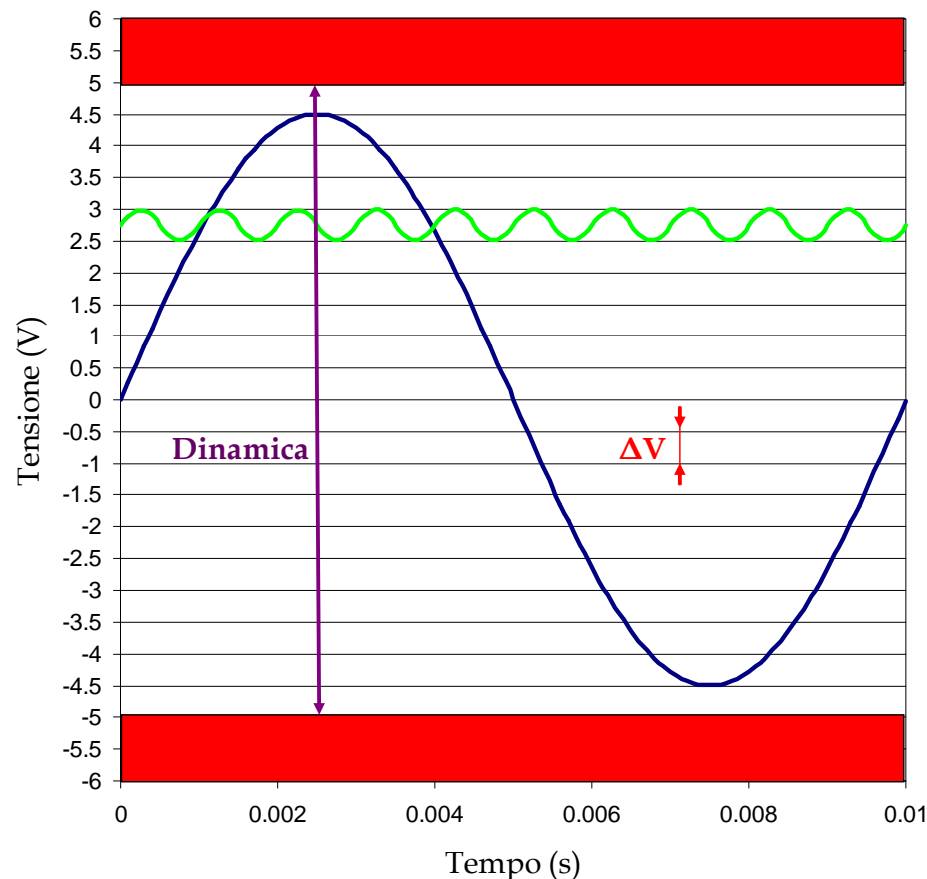
$$G=100 \quad D_s = \pm 50 \text{ mV}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \Delta V_s &= D_s / 2^n = (100\text{mV}, 1\text{V}, 10\text{V}, 20\text{V}) / 2^n \\ &= 25\mu\text{V}, 250\mu\text{V}, 2.5\text{mV}, 5\text{mV} @ n=12\text{bit} \end{aligned}$$



# 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.  $\Delta V$ ) 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.

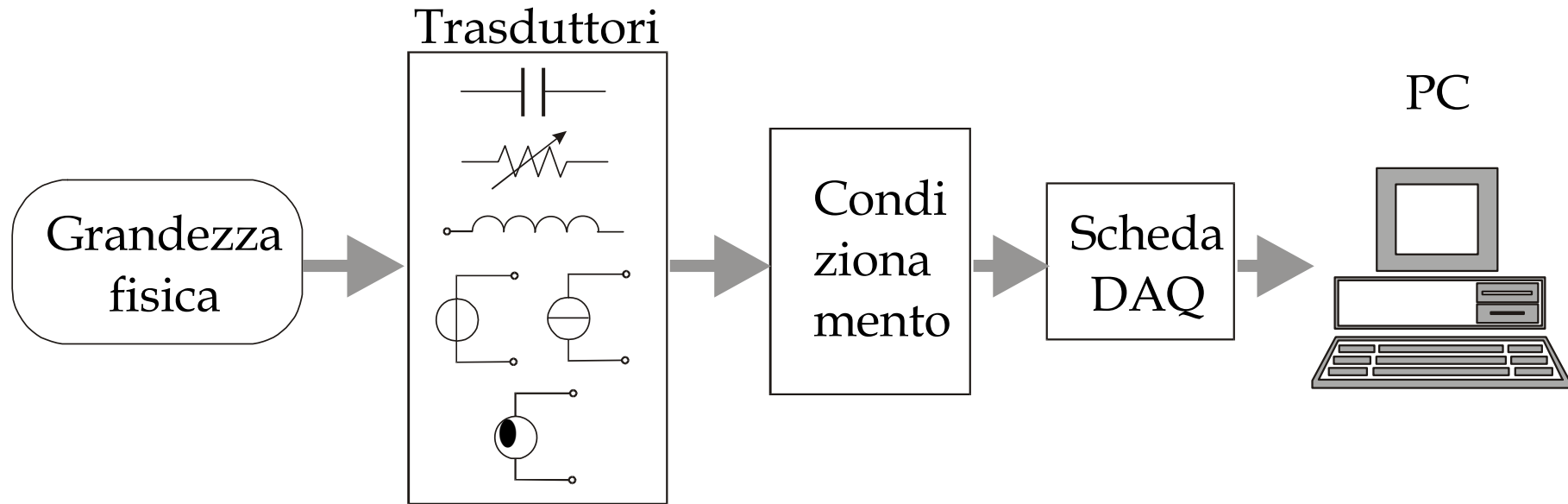
$$\Delta V = \frac{D_{ADC}}{G \times 2^n} \quad \text{risoluzione dimensionale}$$

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

Risoluzioni tipiche di una DAQ: 12-18 bit ( $\delta = 0.25 \times 10^{-3} - 4 \times 10^{-6}$ )

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.

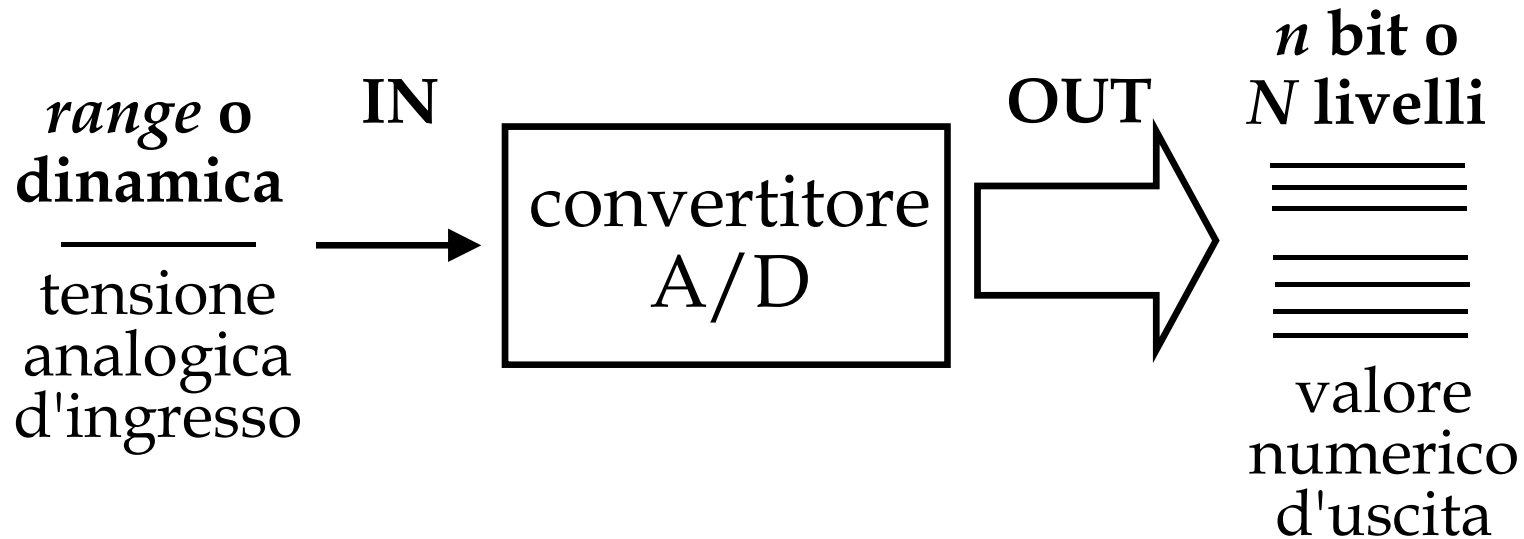
# Acquisizione dati dal mondo fisico



**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  $f_{\text{sample}}$  [Sa/s]

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

**COSTO** [€] e **CONSUMI** [mW]



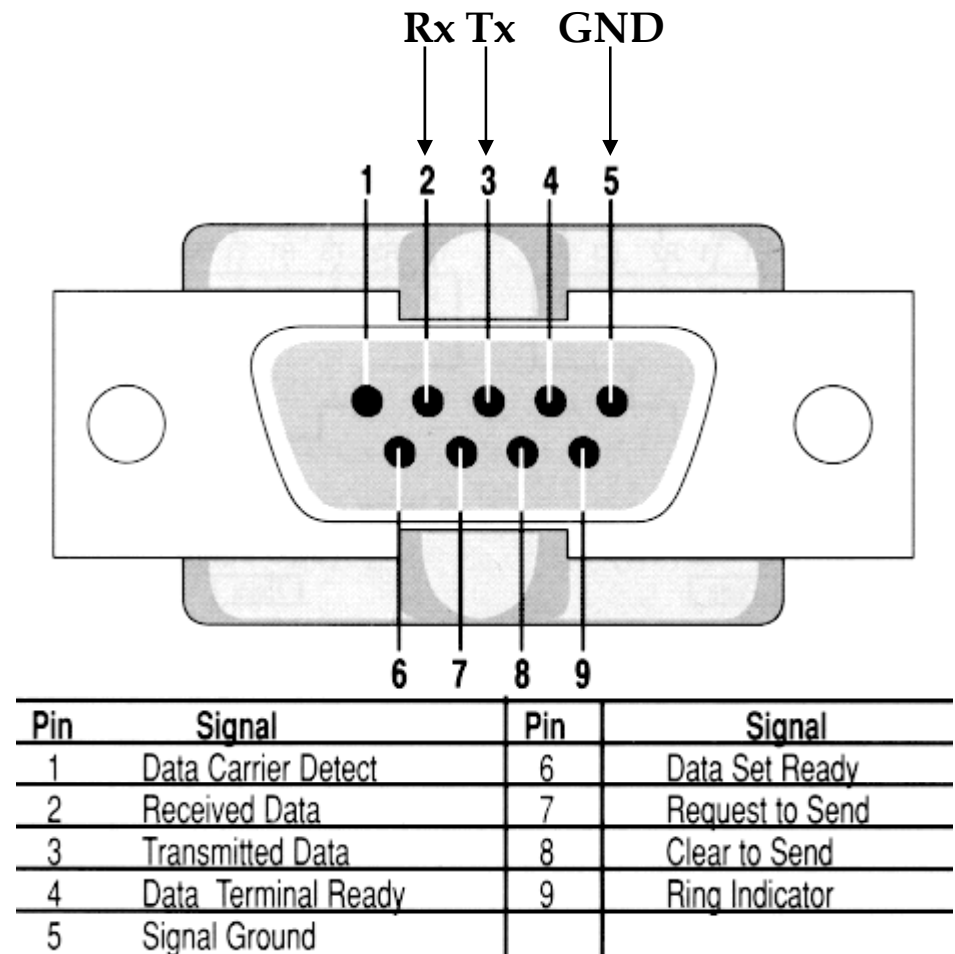
**PROTOCOLLI  
DI COMUNICAZIONE**

# Interfaccia seriale RS-232

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

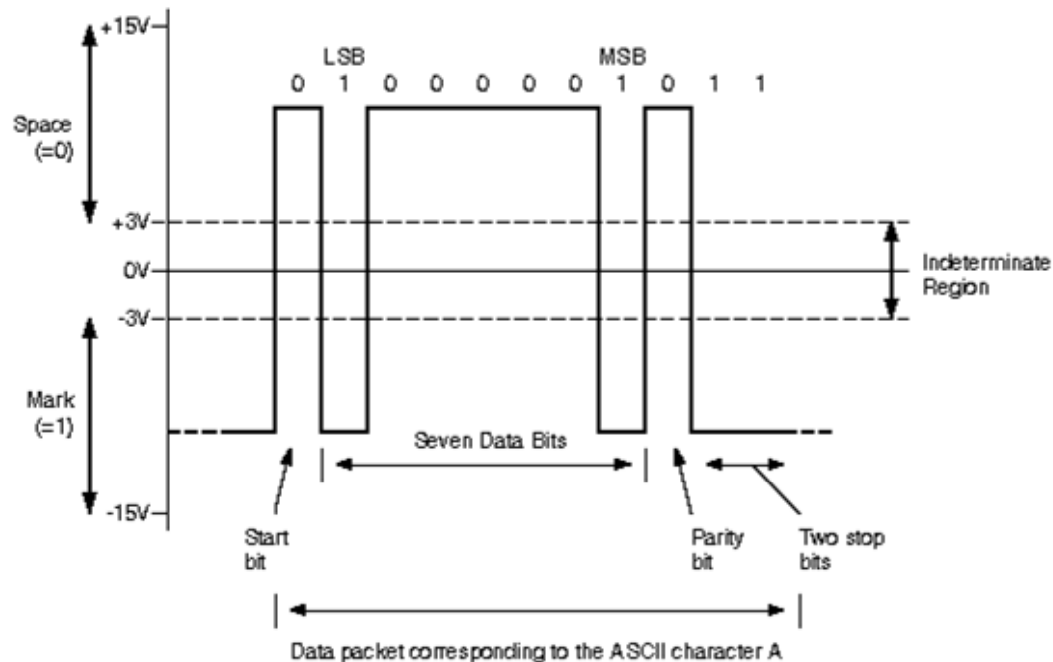
- (2) **RX** ricezione;
  - (3) **TX** trasmissione;
  - (5) **linea di massa GND**;
- (i livelli RX e TX sono quindi riferiti al GND).

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



# 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).



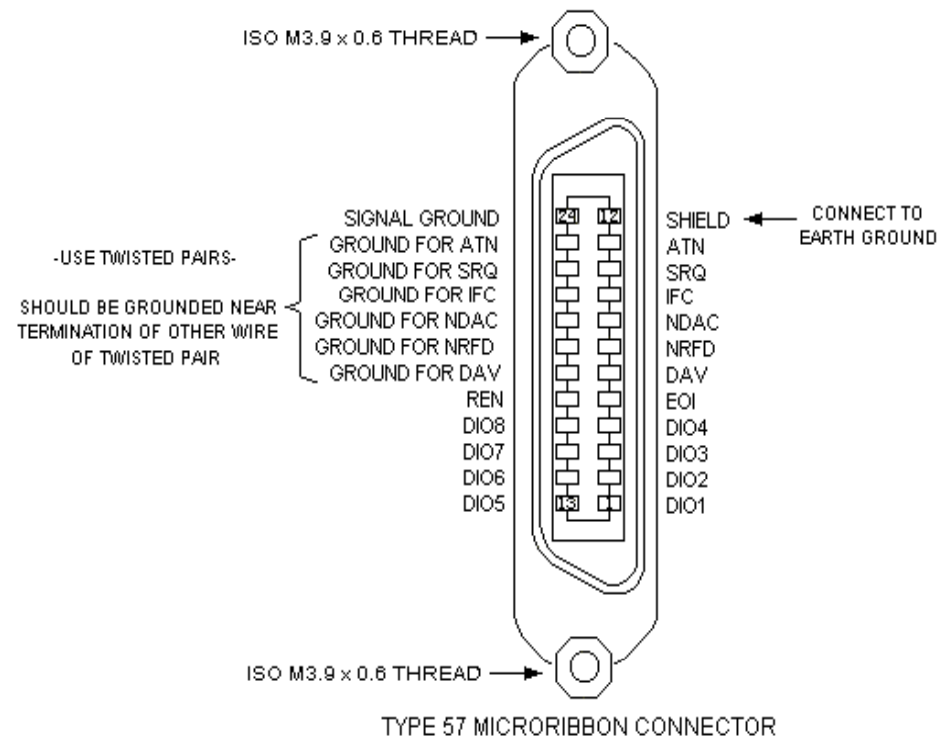
bit signals  
in the cable

Parametri fondamentali del protocollo seriale sono:  
**baud rate (velocità trasmissione  $\approx 9.6$  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  $\approx 400$  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  $\Rightarrow$  alimentazione (+5 V)
- 2 D<sup>-</sup>  $\Rightarrow$  "ricezione" dati
- 3 D<sup>+</sup>  $\Rightarrow$  "trasmissione" dati
- 4 GND  $\Rightarrow$  riferimento di massa

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

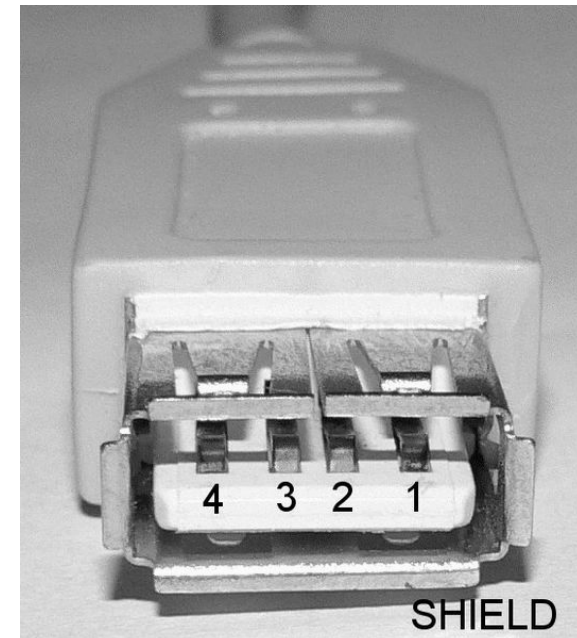
Velocità di trasferimento dati:

USB 1.0  $\Rightarrow$  1.5 Mbit/s

USB 1.1 o 2.0 *full speed*  $\Rightarrow$  12 Mbit/s

USB 2.0 *high speed*  $\Rightarrow$  480 Mbit/s

La trasmissione viene eseguita in modalità *half duplex* (monodirezionale alternata).



# 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  $\Rightarrow$  operazioni di comando e stato
- 2 Interrupt  $\Rightarrow$  latenze garantite, pochi dati trasferiti
- 3 Bulk  $\Rightarrow$  latenze non garantite, trasferimento di un grosso pacchetto di dati
- 4 Isosynchronous  $\Rightarrow$  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'utente

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)