

# Dispositivi Minimamente Invasivi

per Diagnosi, Monitoraggio e Terapia

## Esercitazione 10

Alessandro Tognetti

Nicola Carbonaro

[a.tognetti@centropiaggio.unipi.it](mailto:a.tognetti@centropiaggio.unipi.it)

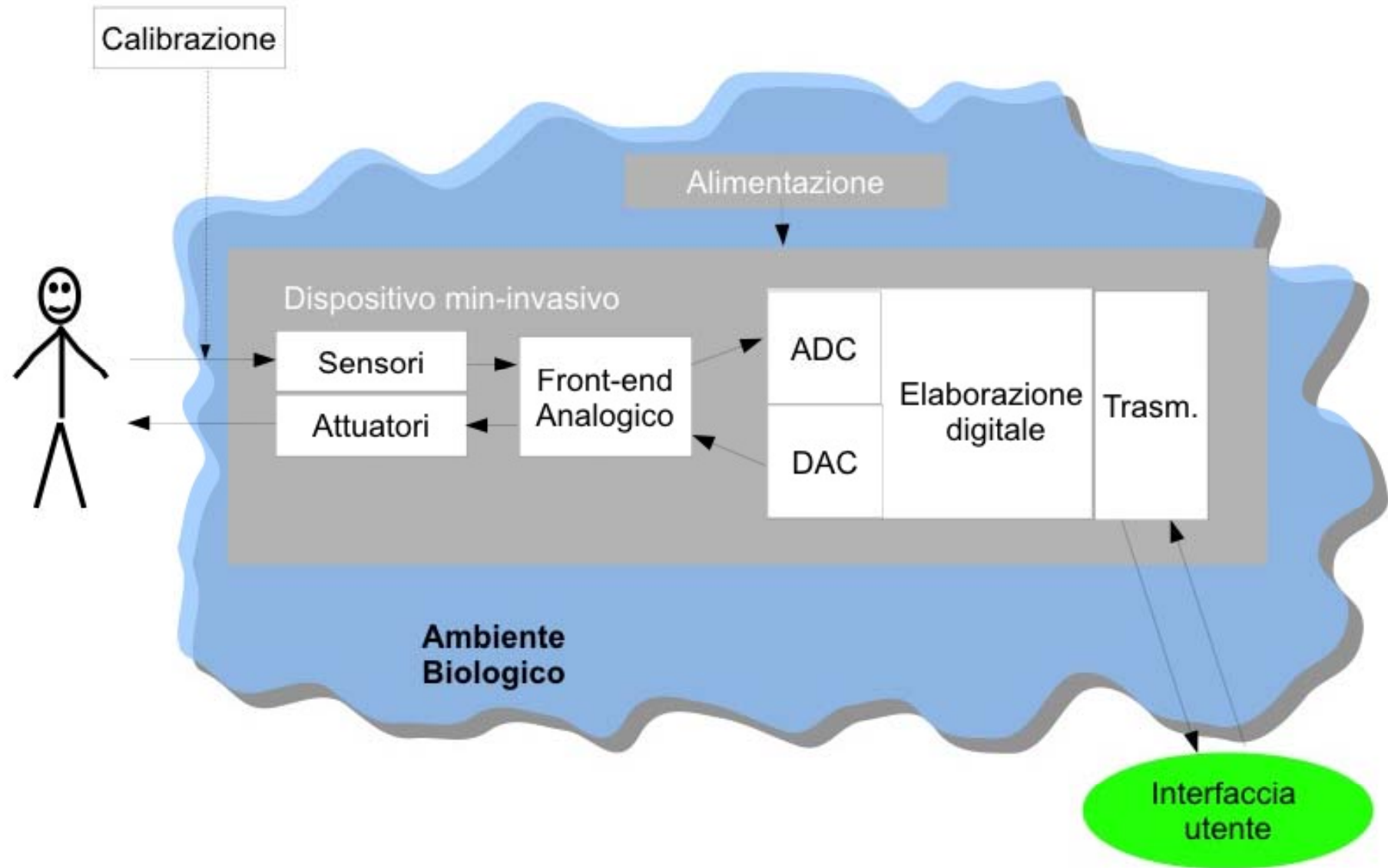
[nicola.carbonaro@centropiaggio.unipi.it](mailto:nicola.carbonaro@centropiaggio.unipi.it)

# Problema

Voglio misurare una forza  $F$  con caratteristiche:

- range [0 – 10 N]
- Frequenza di lavoro [0 – 10 Hz]
- Si vuole realizzare un sistema che acquisisca il segnale analogico “forza”, lo converta in digitale e visualizzi la “ $F$ ” nominale e la stima della forza
  - Provare a generare un Allarme nel caso che la forza superi il valore di 6N per più 2 secondi

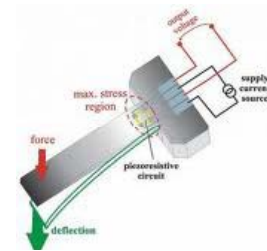
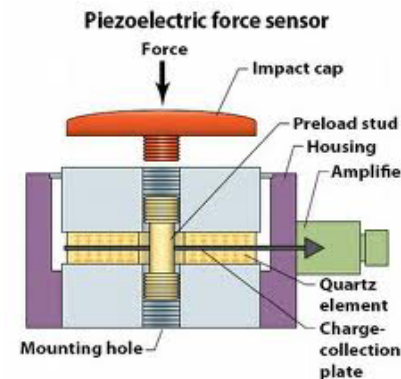
# Schema generale di un sistema di misura



# Sensori di Forza – Concetti Base

- La maggior parte dei sensori di forza impiega un elemento sensibile che converte la forza applicata in:

- Spostamento meccanico
  - in genere una deformazione di un elemento elastico
- Variazione di grandezza elettrica
  - Resistenza, Capacità



- Nota l'area della superficie su cui agisce la forza, si può risalire alla forza per unità di area ( $\text{N/m}^2$ )  $\rightarrow$  pressione (Pa)
  - L'unità di misura del Sistema Internazionale (SI) per la pressione è il pascal
    - $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

# Sensori di Forza

## Sensori FlexiForce® della Tekscan

### ▪ Principali applicazioni

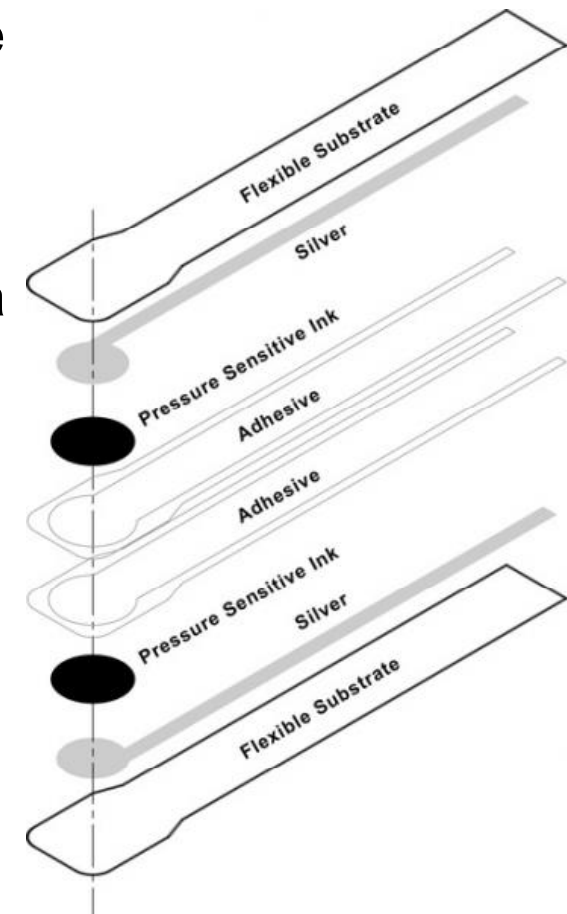
- Rilevare e misurare il cambiamento relativo di forza o del carico applicato
- Rilevare e misurare la frequenza della variazione di forza applicata
- Identificare valori specifici di forza (soglie) per attivare specifiche azioni
- Rilevare il contatto o il tocco della superficie del sensore



# Specifiche del sensore

Il sensore FlexiForce è costruito in modo da generare variazioni della sua resistenza nominale al variare della forza applicata

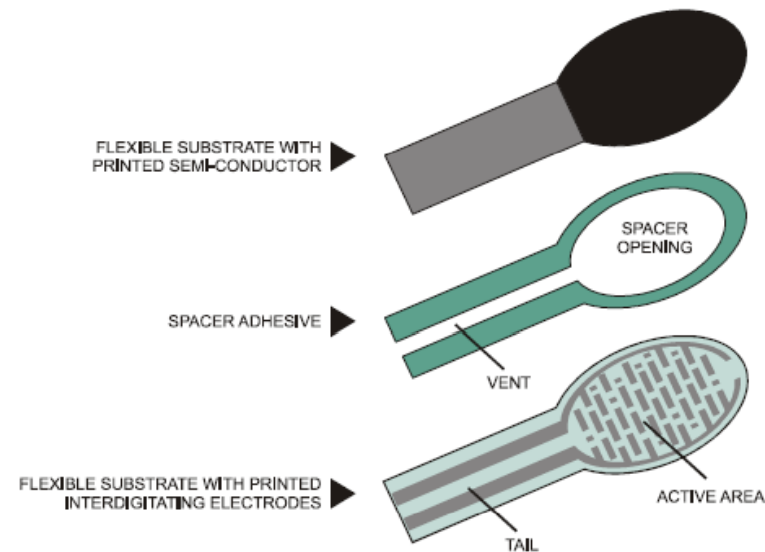
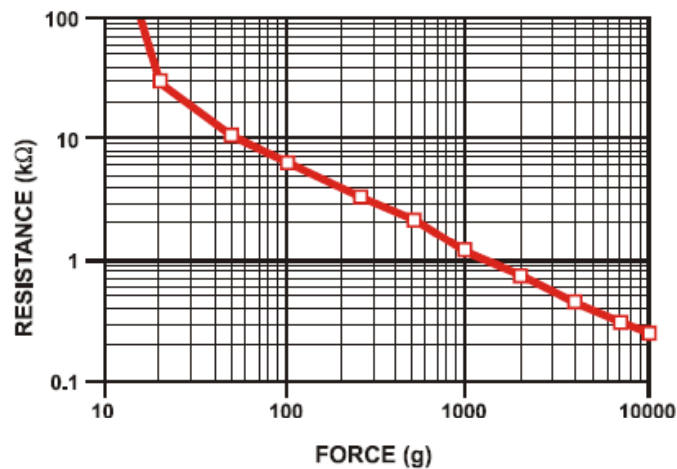
- Zero Forza = nessun carico applicato → Resistenza del sensore elevata (superiore ai  $5M\Omega$ )
- Forza applicata al sensore → Resistenza del sensore decresce
- Legge Forza misurata / Resistenza inversamente proporzionale



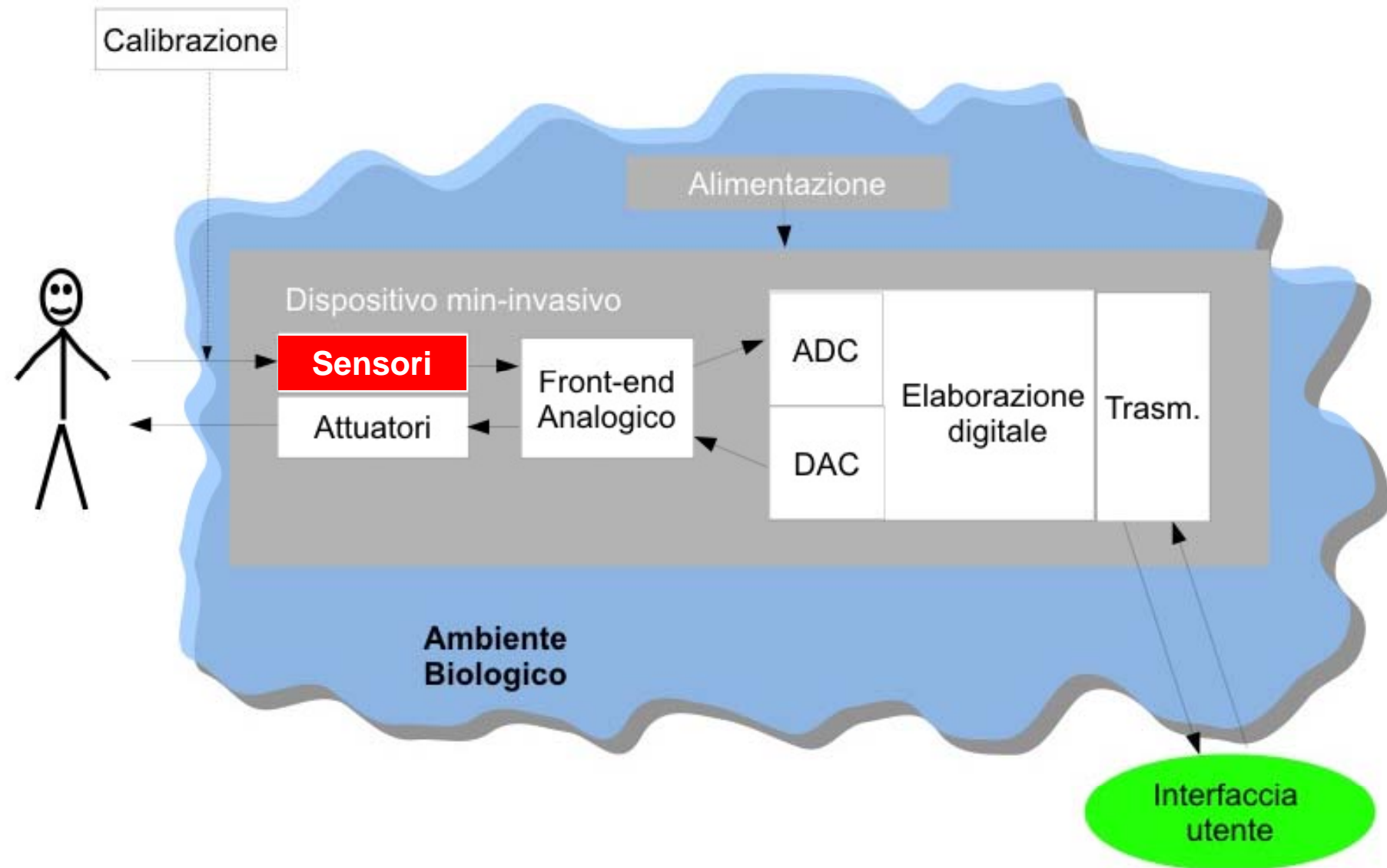
# Sensori di Forza (II)

## Sensore FSR della Interlink

- FSR, force sensing resistors, disponibile dal sito (<http://www.interlinkelectronics.com/>)
  - Sensore che all'aumentare della forza applicata diminuisce la resistenza
  - Non possono essere utilizzati per misure di precisione
    - Celle di carico o strain gauge



# Selezione del sensore





# Sensori di Forza

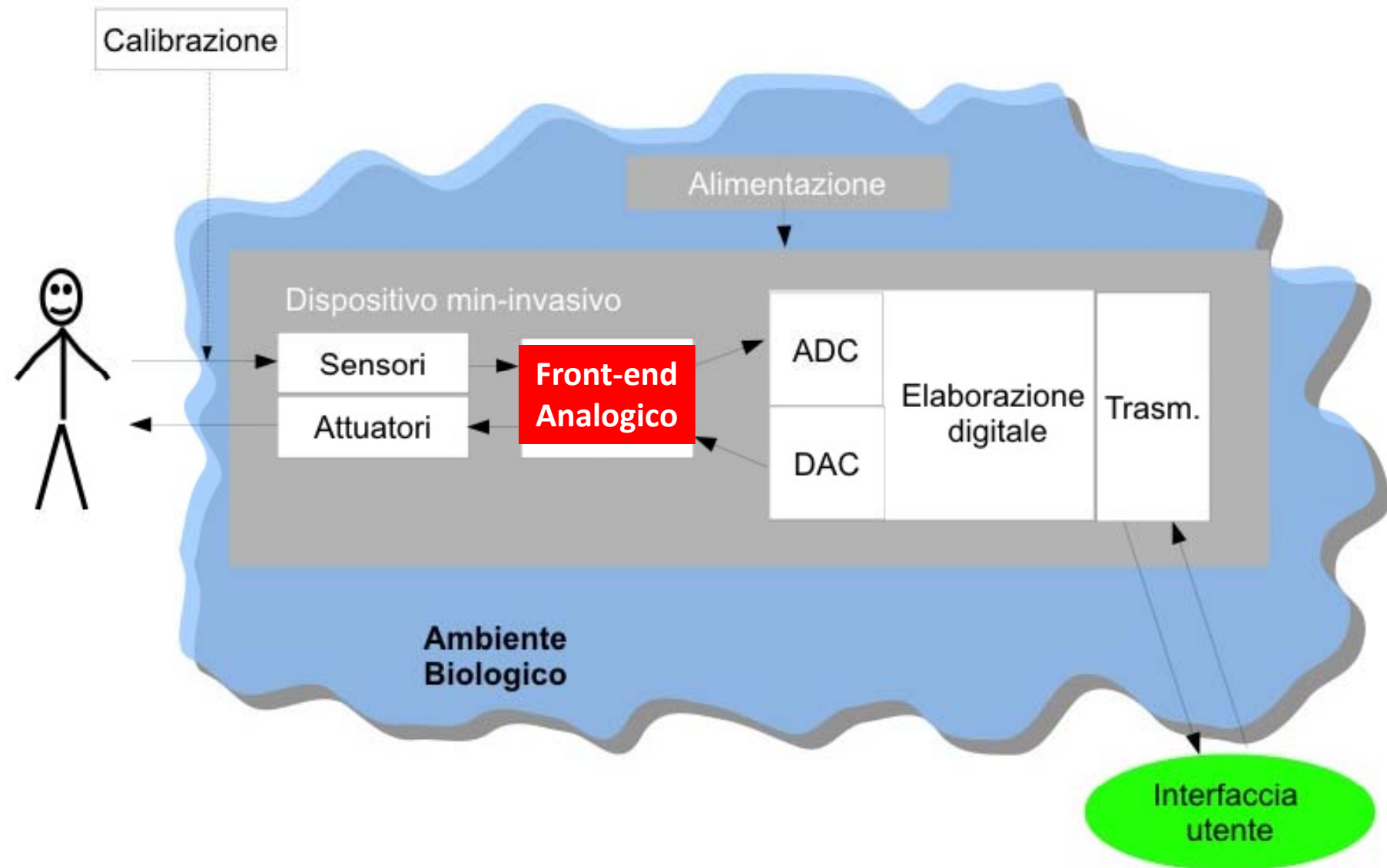
Sensori FlexiForce® della Tekscan

Datasheet disponibile dal sito (<http://www.tekscan.com/flexible-force-sensors>)

	<b>A201 MODEL</b> <b>(<a href="#">Spec Sheet</a>)</b>	<b>HT201 (HIGH-TEMP) MODEL</b> <b>(<a href="#">Spec Sheet</a>)</b>	<b>A301 MODEL</b> <b>(<a href="#">Spec Sheet</a>)</b>	<b>A401 MODEL</b> <b>(<a href="#">Spec Sheet</a>)</b>
<b>Force Ranges</b>	0-1 lb (4.4 N) 0-25 lb (110 N) 0-100 lb (440 N)**	Low: 0-30 lb (133 N) High: 0-100 lb (440 N)**	≈ 0-1 lb (4.4 N) ≈ 0-25 lb (110 N) ≈ 0-100 lb (440 N)**	0-25 lb (110 N)***



# Selezione del sensore

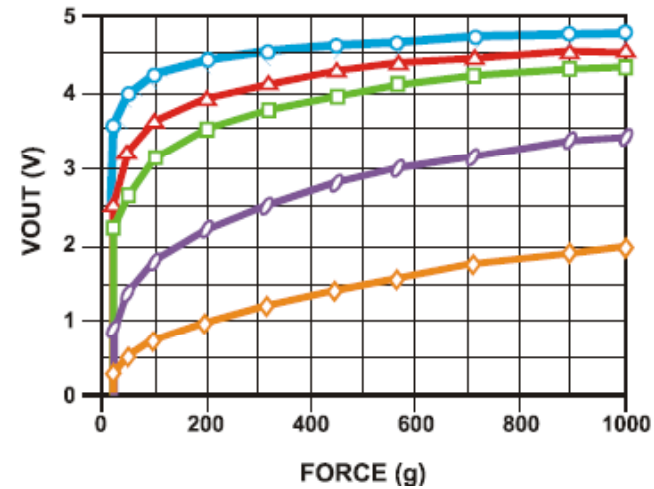
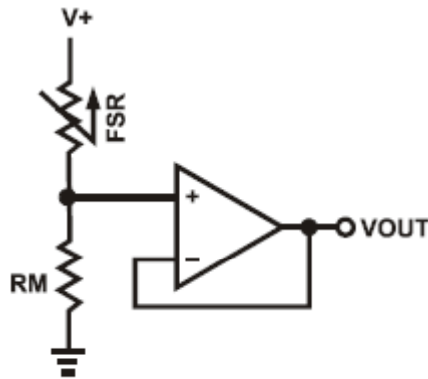


# Progettazione Front-end

Dobbiamo leggere una variazione di Resistenza del sensore

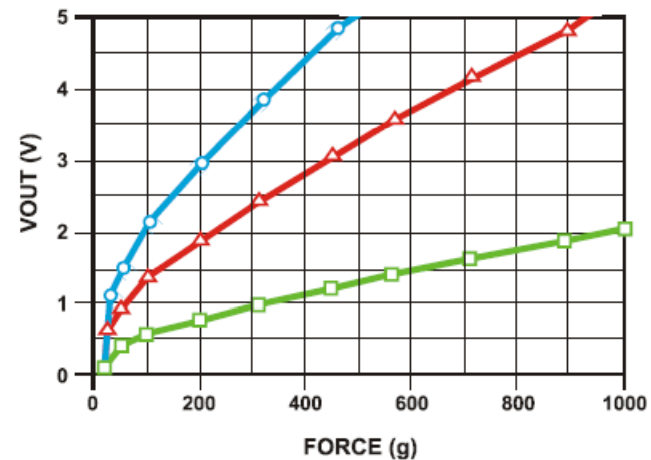
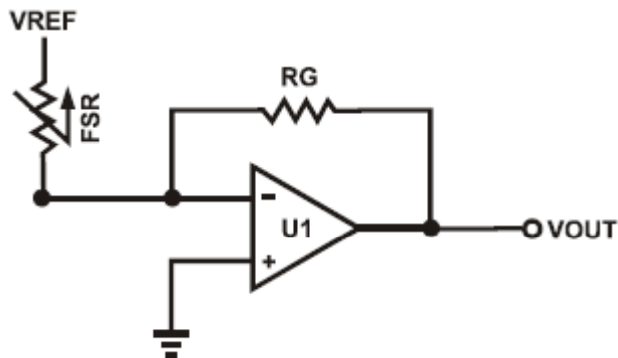
- Schema a partitore

- $V_{OUT} = (V+) / [1 + R_{FSR}/R_M]$ .



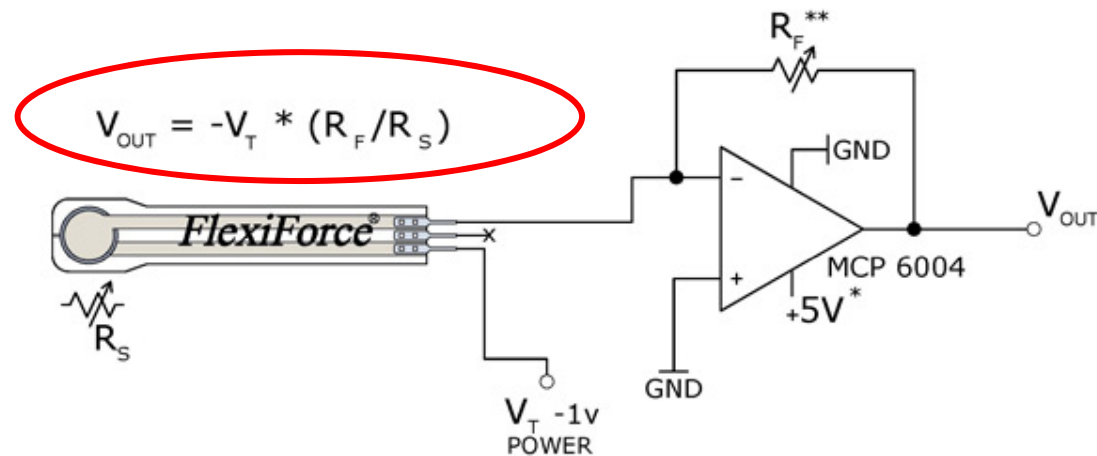
- Schema convertitore corrente-tensione

- $V_{OUT} = V_{REF} \cdot [-R_G/R_{FSR}]$ .



# Front-end Analogico

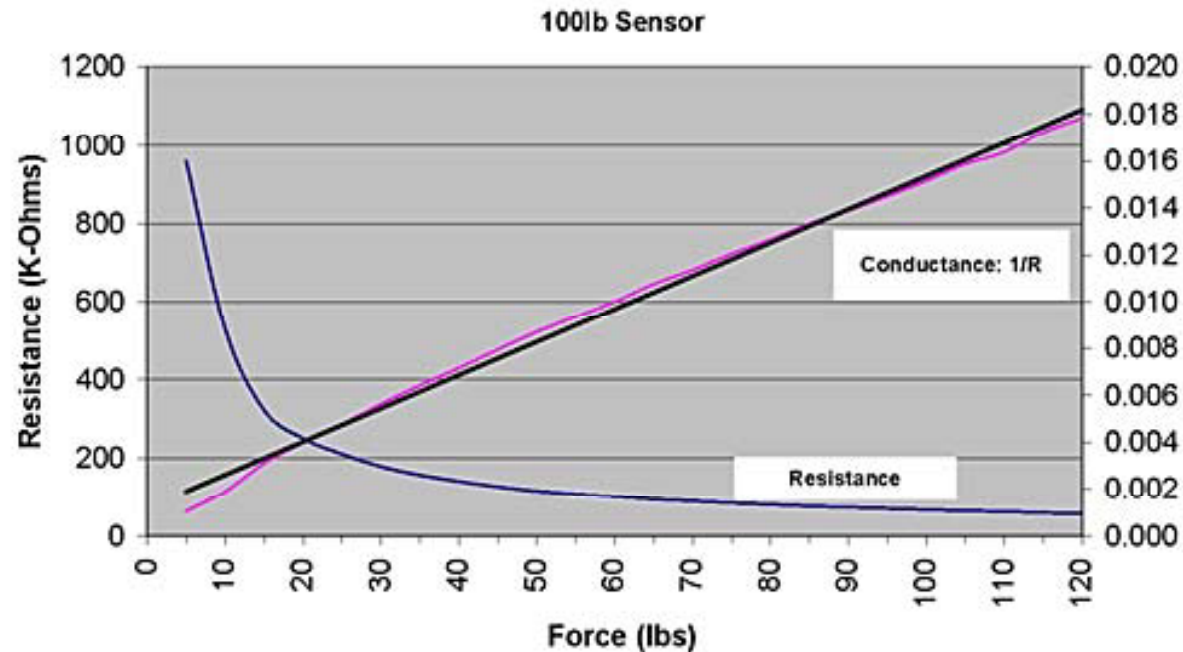
- Utilizziamo il front-end consigliato nel datasheet
  - Montaggio con operazionale invertente ([LM358](#))



- \* Supply Voltages should be constant
- \*\* Reference Resistance  $R_F$  is 1k $\Omega$  to 100k $\Omega$
- Sensor Resistance  $R_S$  at no load is >5M $\Omega$
- Max recommended current is 2.5mA

# Dimensionamento dei parametri circuitali

- Relazione tra tensione misurata ( $V_{out}$ ) e forza (F) ??



- Per la linearità relativa agli estremi, prendiamo i due punti estremi della caratteristica *Conduttanza* ( $\sigma$ )/*Forza*, assumendo la retta passante per l'origine degli assi, si ottiene la relazione:

$$\sigma = m F$$

## Dimensionamento dei parametri circuitali (2)

Ricaviamo  $m$

- $m = \sigma / F = 0.018 \text{ K}\Omega^{-1} / 120\text{lbs} = 1.5 * 10^{-4} \text{ K}\Omega^{-1} \text{ lbs}^{-1}$

- Sapendo che  $1\text{lbs} = 0.45 \text{ Kg}$

$$m = 3.33 * 10^{-7} \Omega^{-1} \text{ Kg}^{-1}$$

- Inoltre, volendo riportare il tutto in funzione della Forza espressa in Newton

- $1\text{Kg} \approx 10 \text{ N} \rightarrow m = 3.33 * 10^{-6} \Omega^{-1} \text{ N}^{-1}$

Quindi riprendendo la relazione dell'operazionale invertente

$$V_{out} = - R_F / R_S * V_T = R_F * \sigma_S V \quad \text{ricordando che } V_T = -1V$$

## Dimensionamento dei parametri circuitali (3)

- Si ottiene la relazione lineare tra  $V_{out}$  e  $F$

dove possiamo definire  $m_1$

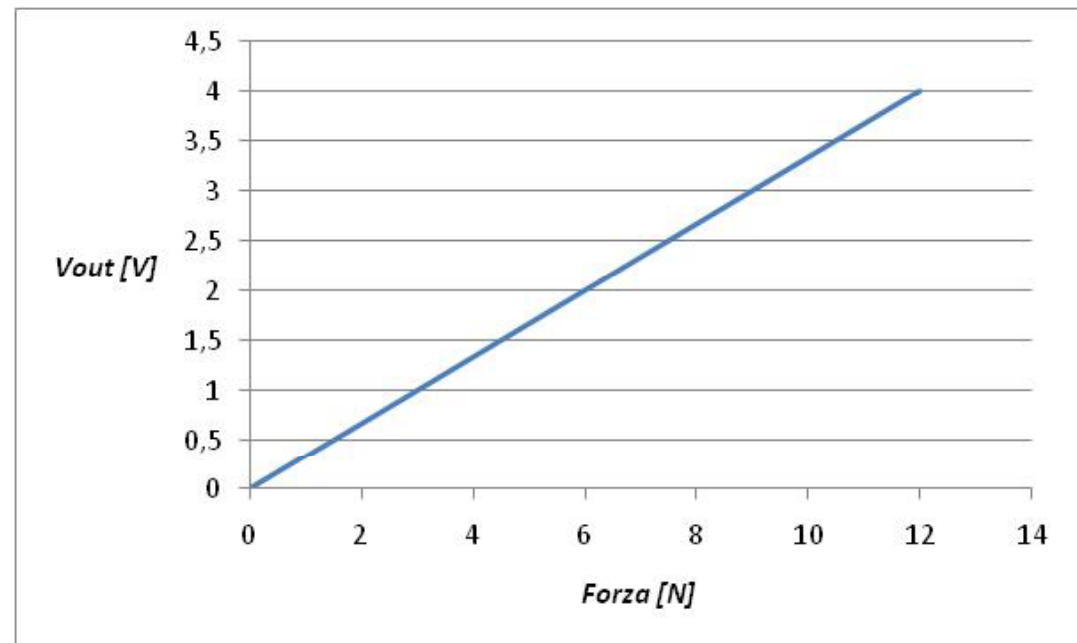
$$m_1 = R_F * \sigma_S \quad V = 3.33 * 10^{-1} \text{ V/N}$$

- *Sensibilità dello strumento*
- *Considerando  $R_F = 100\text{K}\Omega$*

$$V_{out} = m_1 * F \rightarrow F = V_{out} / m_1$$

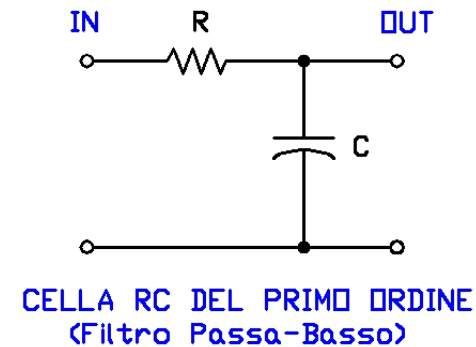
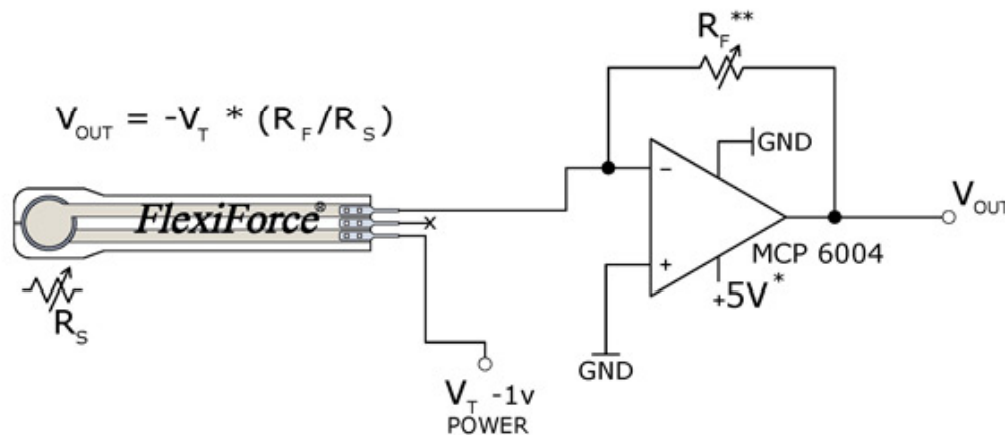
dove  $1 / m_1 = C$

- *Costante di taratura [N / V]*



# Filtraggio Analogico

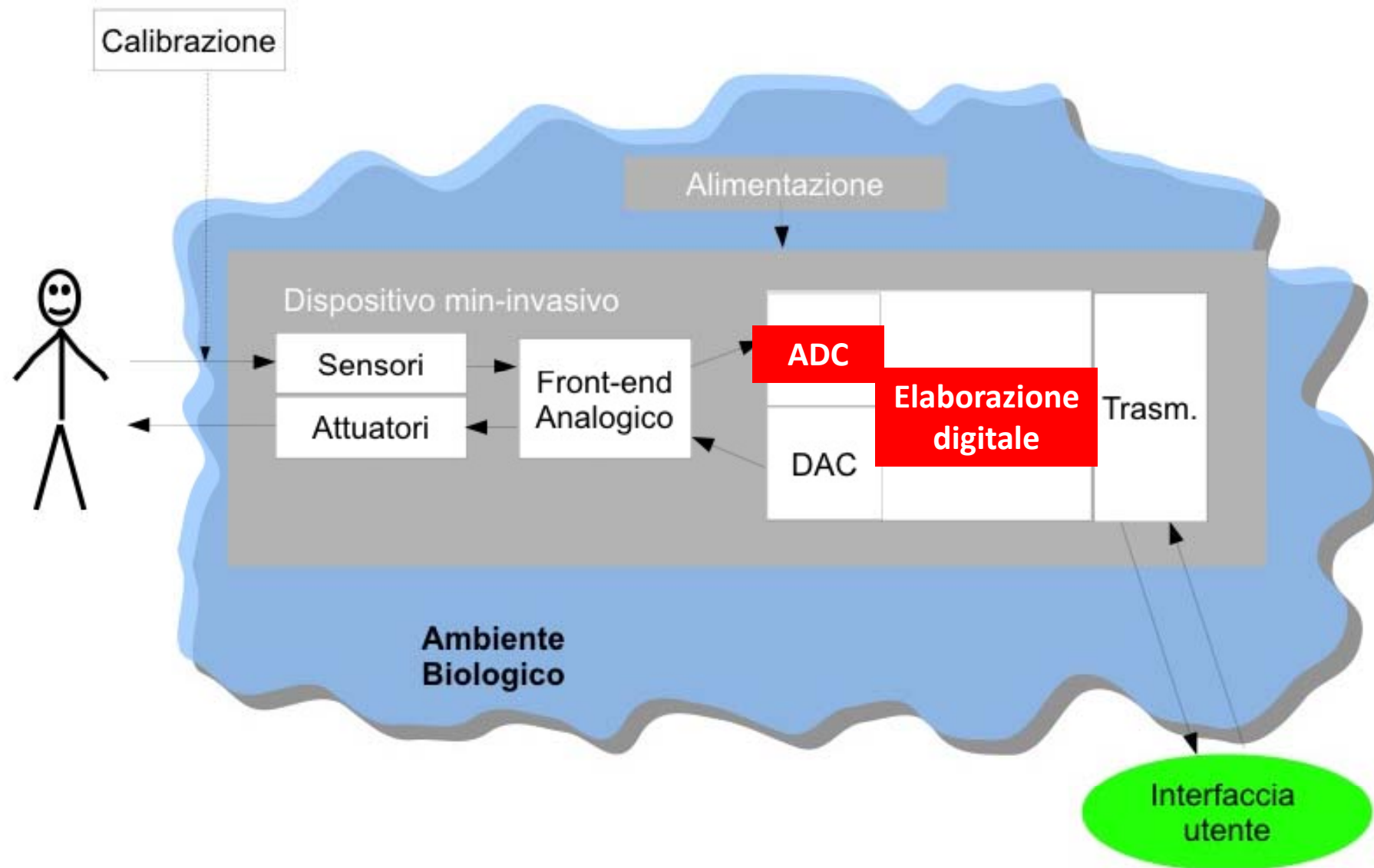
- Adattamento del segnale prima della conversione digitale



- Dimensionamento del filtro
  - Vogliamo  $f_c = 10\text{Hz}$   $\rightarrow f_c = 1 / 2\pi RC$ , fissiamo un valore e otteniamo l'altro
  - $C = 1\mu\text{F}$   $\rightarrow R = 16\text{K}\Omega$

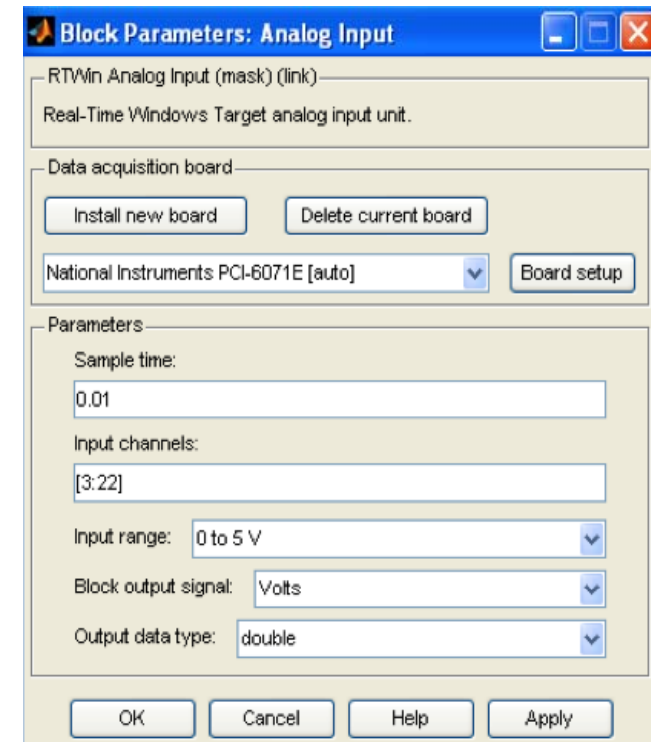


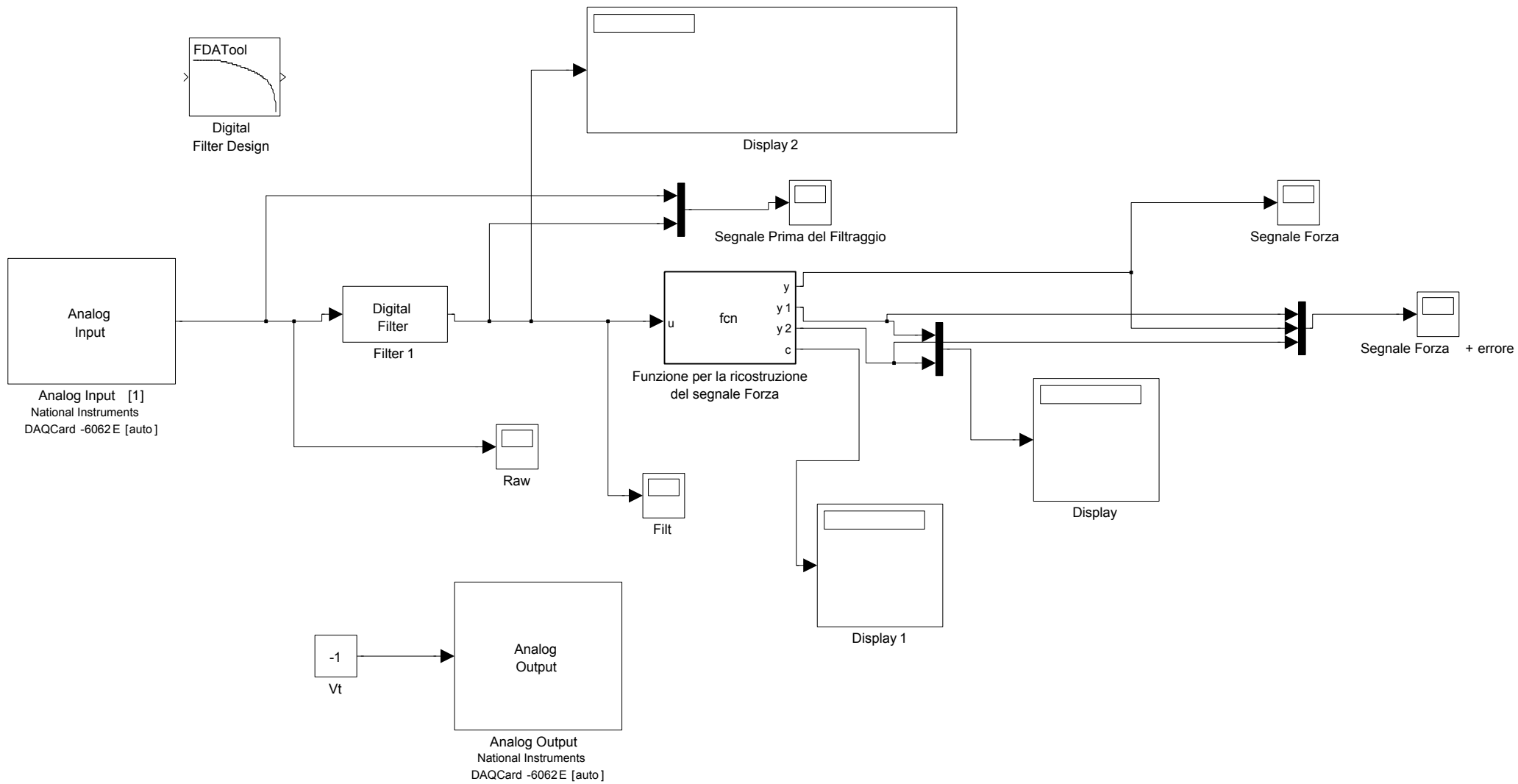
# Conversione A/D e Elaborazione



# Conversione A/D e Elaborazione (2)

- Acquisizione del segnale analogico e campionamento via scheda National Instrument PCI-6071
  - scheda di acquisizione dati a prestazioni elevate
  - 64 input analogici a terminazione singola forniscono 1,25 MS/s e risoluzione a 12 bit
- Elaborazione del segnale via Matlab
  - Tramite il componente Real-Time Windows Target, viene gestita la scheda NI PCI-6071
  - Si crea un modello con i vari parametri di interesse e i diversi blocchi relativi all'elaborazione richiesta per il segnale





```
function [y, y1 ,y2,c ] = fcn(u)
% This block supports the Embedded MATLAB subset.
% See the help menu for details.
Rf=100e3;
Vout=u-0.06;

c=1/(3.33e-6*Rf);
F=c*Vout;
y = F;
y1=1.03*F;
y2=0.97*F;
```