

BIOSENSORI

Esercitazione su sensori di Forza

Alessandro Tognetti

Nicola Carbonaro

a.tognetti@centropiaggio.unipi.it

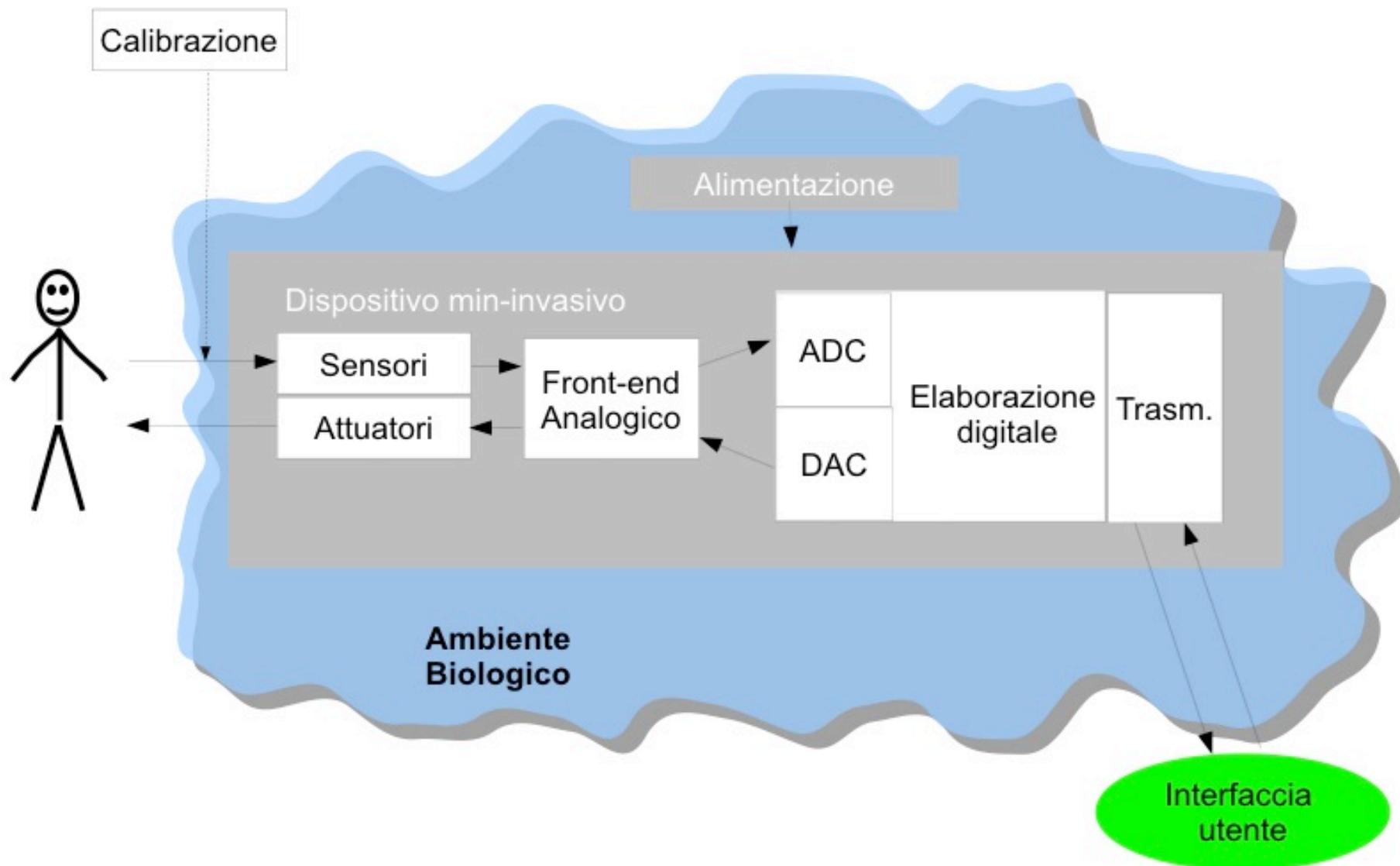
nicola.carbonaro@centropiaggio.unipi.it

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

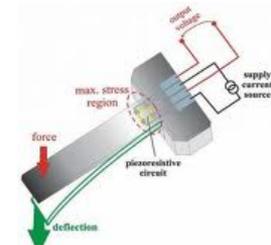
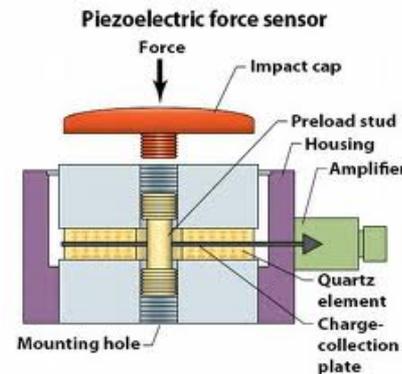
- La maggior parte dei sensori di forza impiega un elemento sensibile che converte la forza applicata in:

- 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 (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

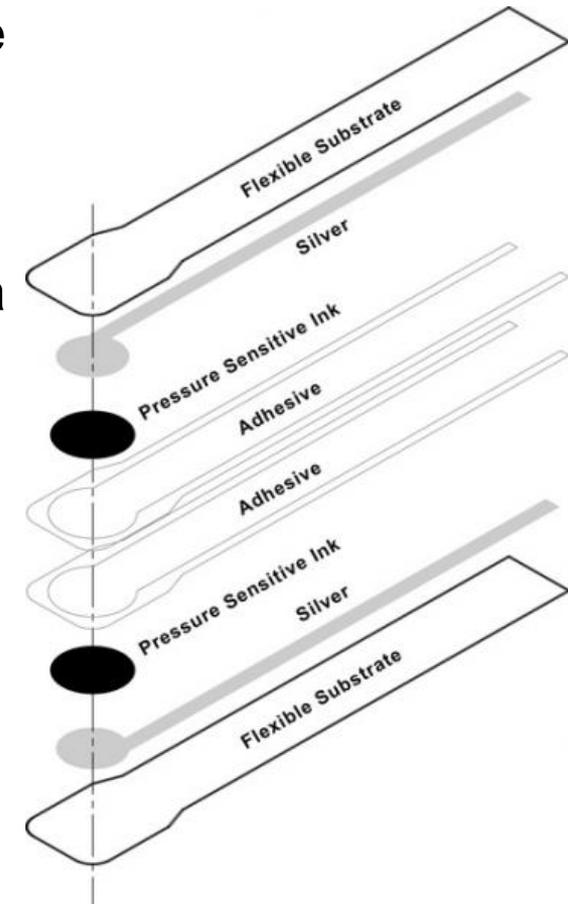
- Rilevare e misurare il cambiamento relativo di forza o del carico applicato
- Rilevare e misurare la frequenza della variazione di forza applicata
- Identificare valori specifici di forza (soglie) per attivare specifiche azioni
- Rilevare il contatto o il tocco della superficie del sensore



Specifiche del sensore

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

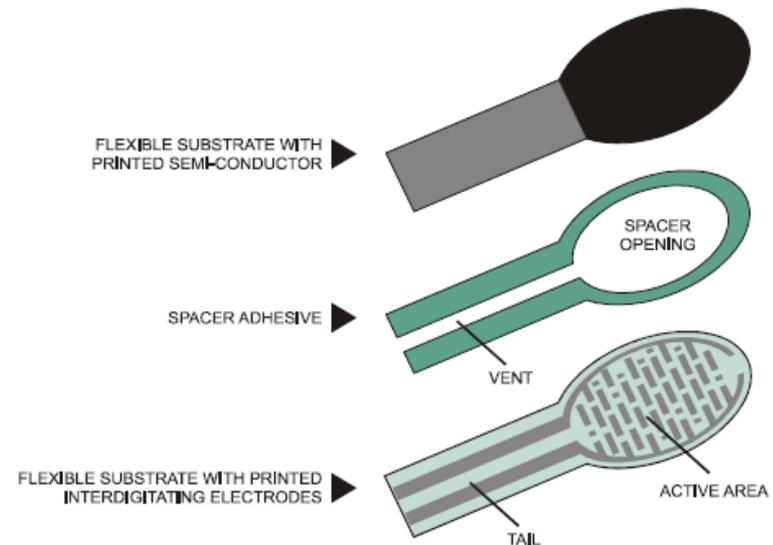
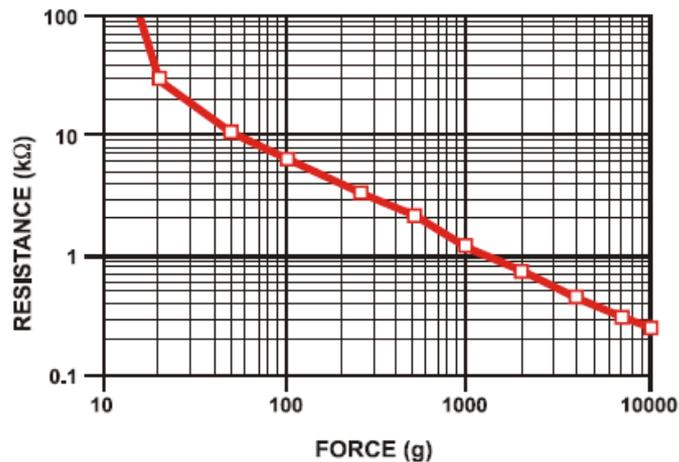
- Zero Forza = nessun carico applicato → Resistenza del sensore elevata (superiore ai $5M\Omega$)
- Forza applicata al sensore → Resistenza del sensore decresce
- Legame Forza misurata / Resistenza inversamente proporzionale



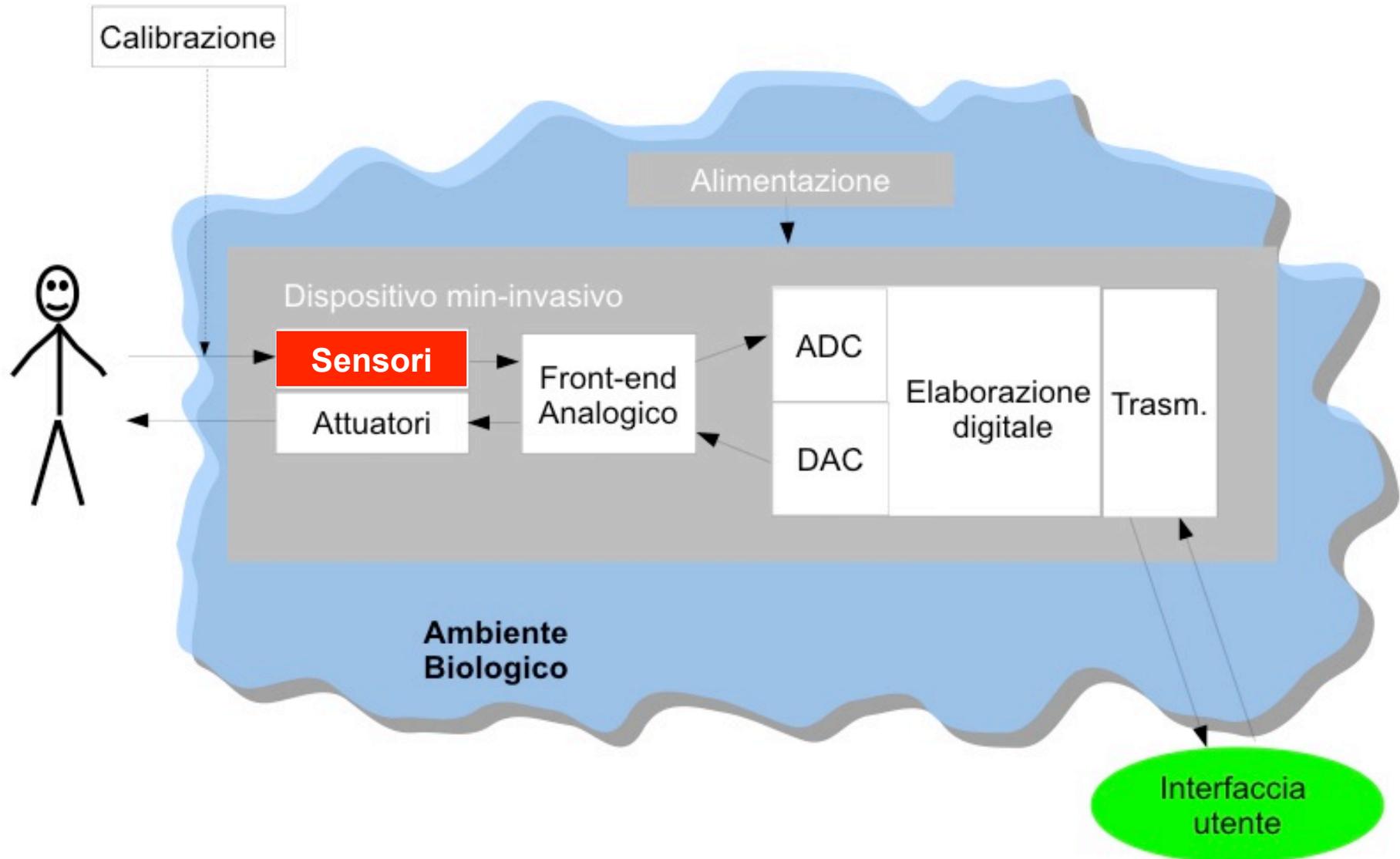
Sensori di Forza (II)

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

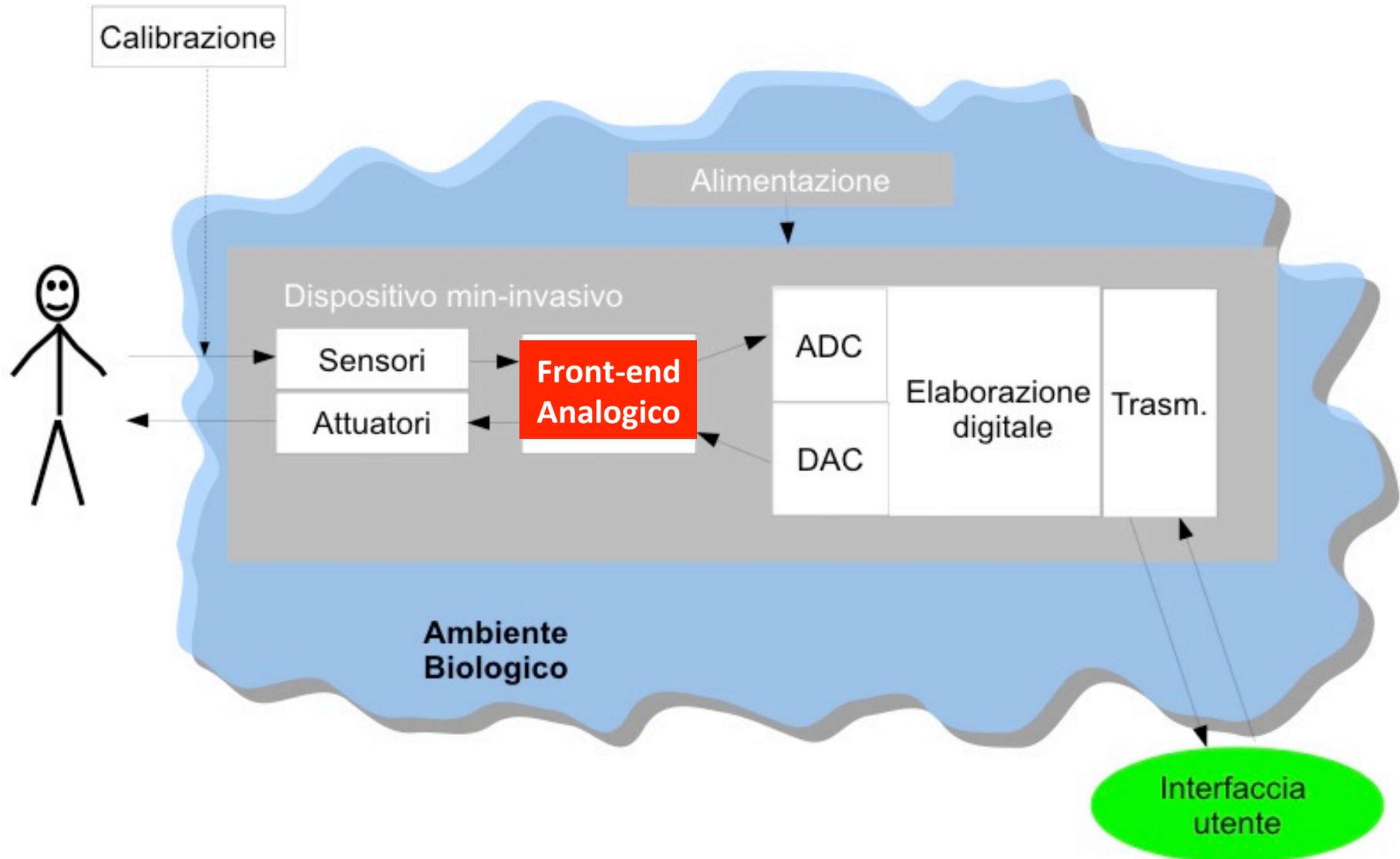
Sensori FlexiForce® della Tekscan

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

	A201 MODEL (Spec Sheet)	HT201 (HIGH-TEMP) MODEL (Spec Sheet)	A301 MODEL (Spec Sheet)	A401 MODEL (Spec Sheet)
Force Ranges	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

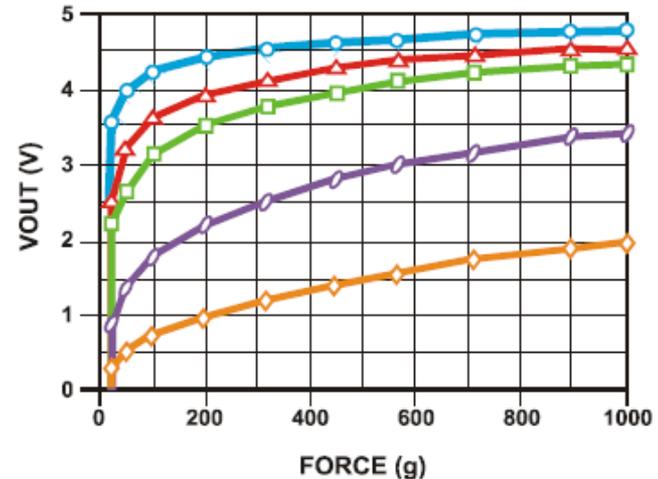
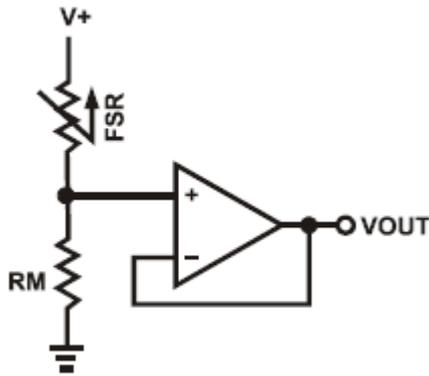


Progettazione Front-end

Dobbiamo leggere una variazione di Resistenza del sensore

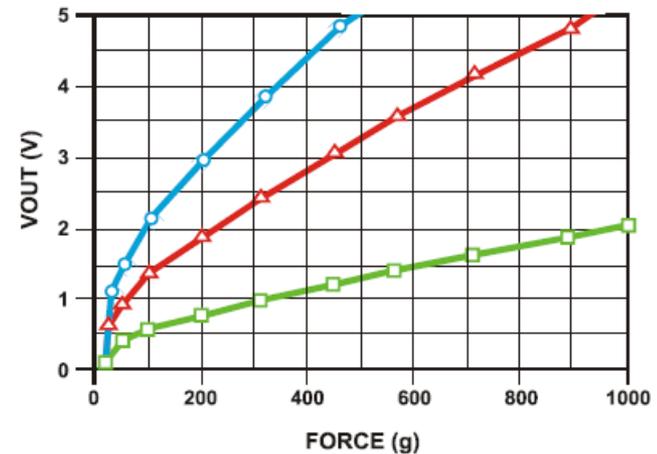
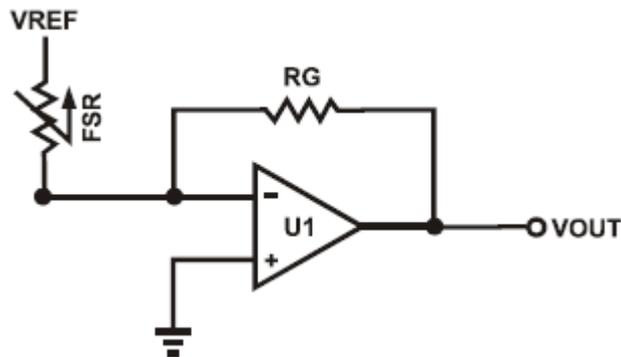
- Schema a partitore

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



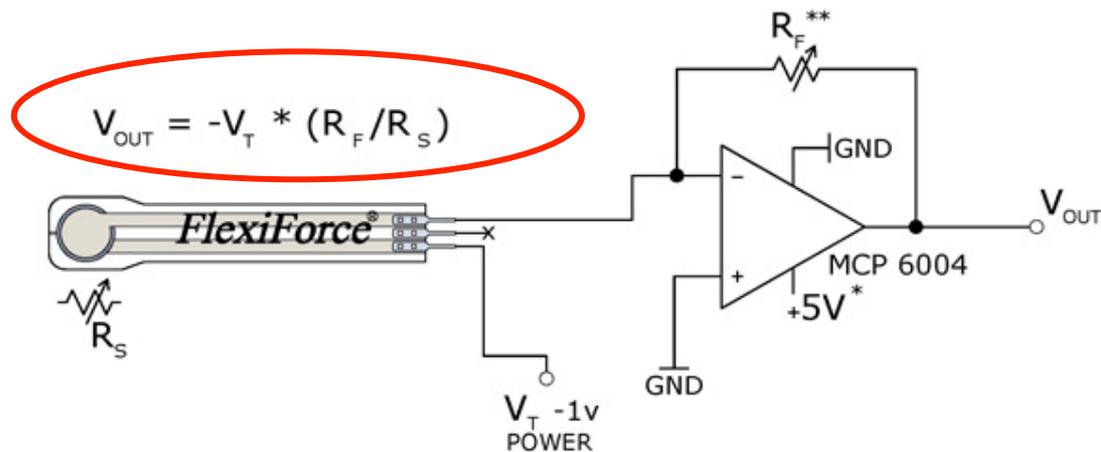
- Schema convertitore corrente-tensione

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



Front-end Analogico

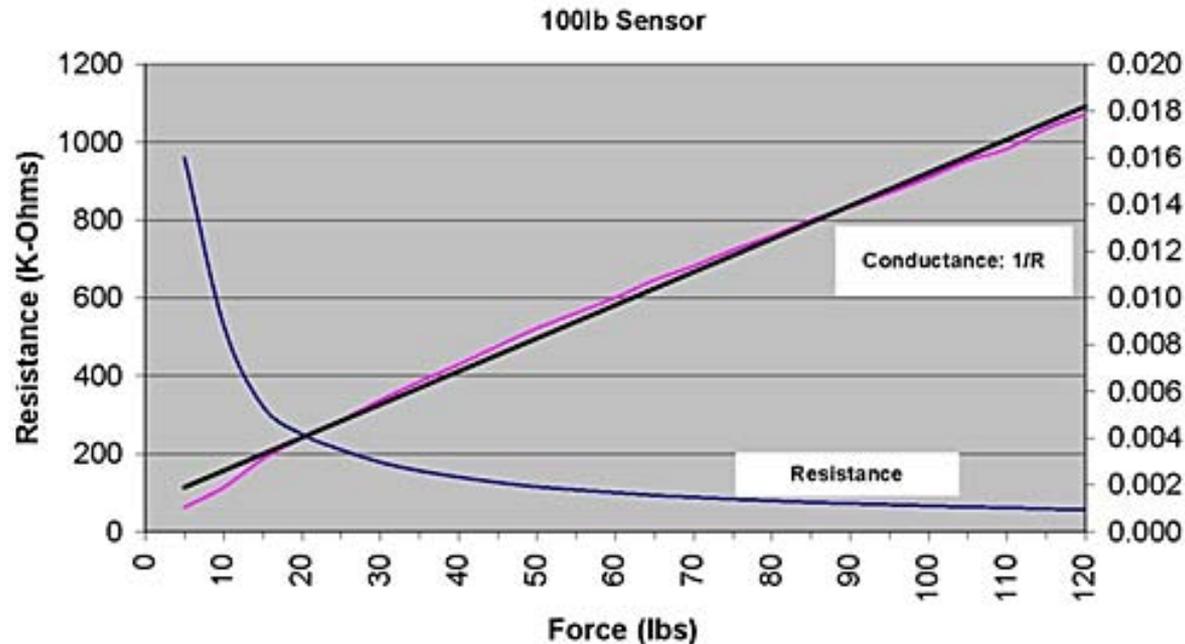
- Utilizziamo il front-end consigliato nel datasheet
 - Montaggio con operazionale invertente ([LM358](#))



- * Supply Voltages should be constant
- ** Reference Resistance R_F is 1k Ω to 100k Ω
- Sensor Resistance R_S at no load is >5M Ω
- 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* (σ)/*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

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

Dimensionamento dei parametri circuitali (3)

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

dove possiamo definire m_1

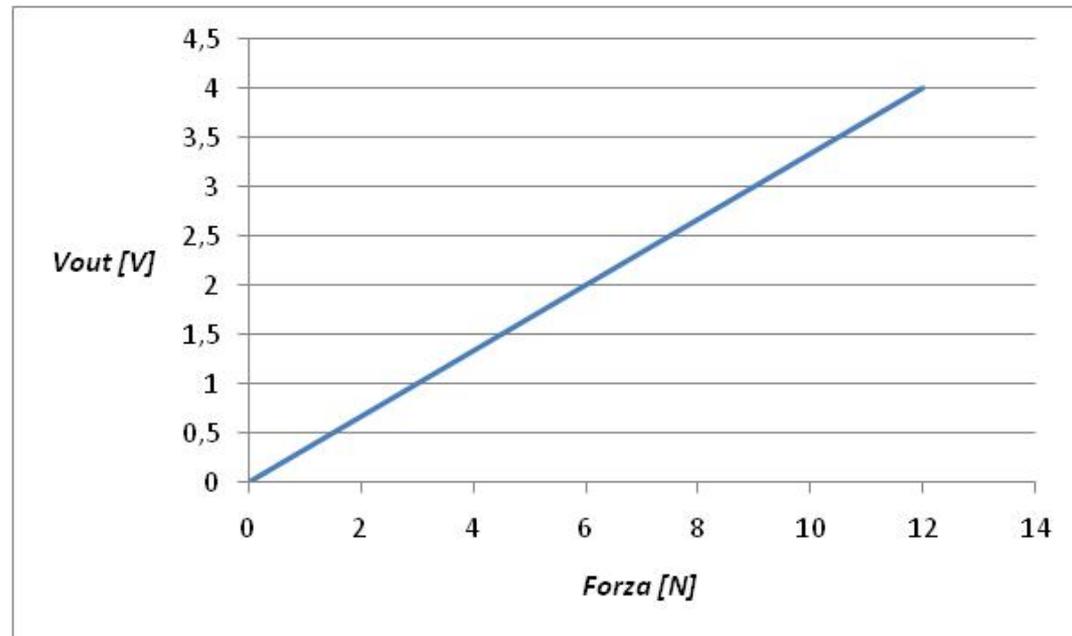
$$m_1 = R_F * \sigma_S \quad V = 3.33 * 10^{-1} \text{ V/N}$$

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

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

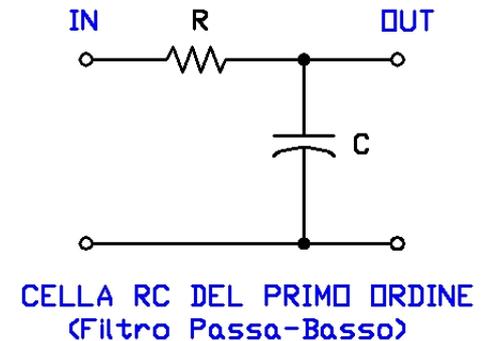
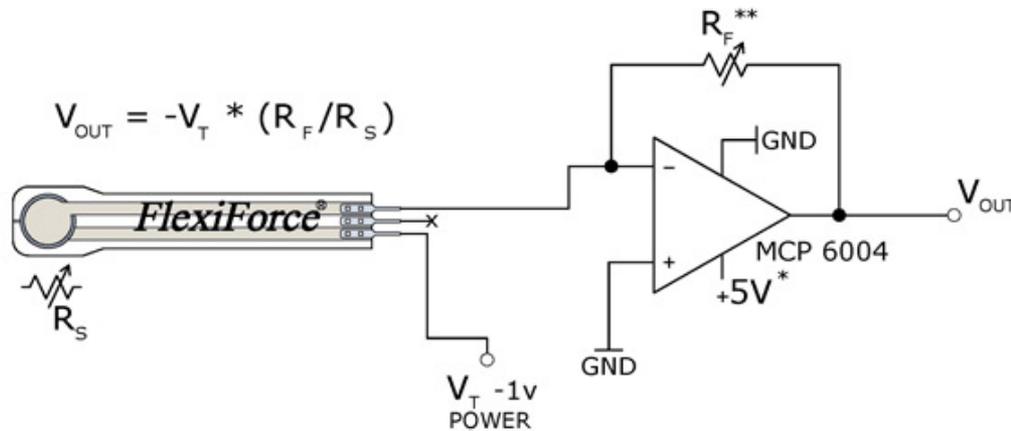
dove $1 / m_1 = C$

- *Costante di taratura [N / V]*



Filtraggio Analogico

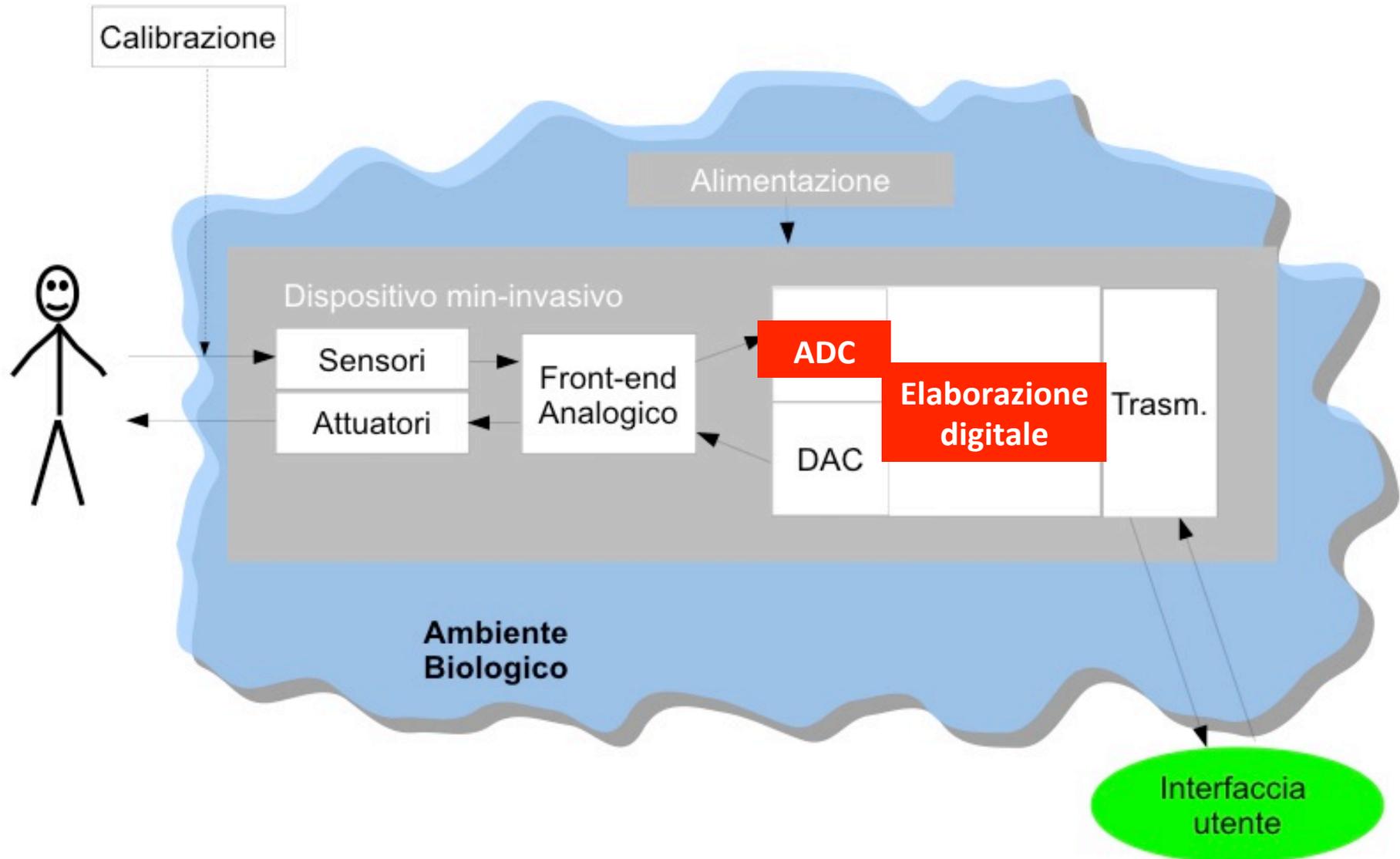
- Adattamento del segnale prima della conversione digitale



- Dimensionamento del filtro

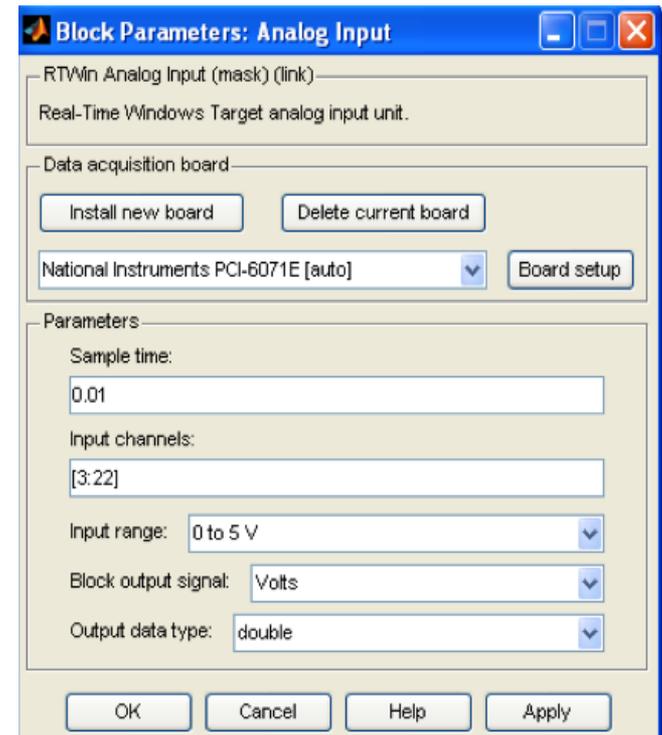
- Vogliamo $f_c = 10\text{Hz}$ $\rightarrow f_c = 1 / 2\pi RC$, fissiamo un valore e otteniamo l'altro
- $C = 1\mu\text{F}$ $\rightarrow R = 16\text{K}\Omega$

Conversione A/D e Elaborazione



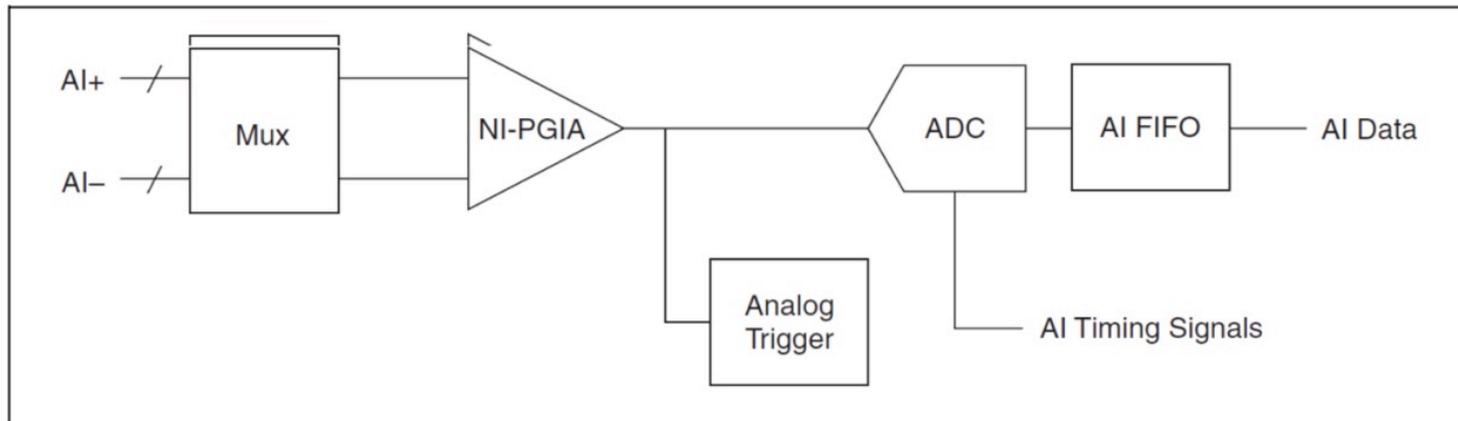
Conversione A/D e Elaborazione (2)

- Acquisizione del segnale analogico e campionamento via scheda National Instrument DAQ6024E
 - scheda di acquisizione dati a prestazioni elevate
 - 16 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 DAQ-6024E
 - Si crea un modello con i vari parametri di interesse e i diversi blocchi relativi all'elaborazione richiesta per il segnale



Generalità su DAQ 6024E

- Si tratta di una DAQ (Data AcQuisition) multifunzione con 16 input analogici che forniscono prestazioni di campionamento fino a 2,04 MS/s e una risoluzione a 12 bit. È dotata di 2 canali di output analogico (DACO0 e DACAO1) e due contatori a 24 bit.



Generalità su DAQ 6024E

Analog Input

Input Characteristics

Number of channels 16 single-ended or
8 differential
(software-selectable
per channel)

Type of A/D converter (ADC) Successive
approximation

Resolution 12 bits, 1 in 4,096

Max sampling rate 200 kS/s guaranteed

Input signal ranges (bipolar only)

Range	Bipolar
20 V	±10 V
10 V	±5 V
1 V	±500 mV
100 mV	±50 mV

▪ Blocco Connettore Esterno

AI 8	34	68	AI 0
AI 1	33	67	AI GND
AI GND	32	66	AI 9
AI 10	31	65	AI 2
AI 3	30	64	AI GND
AI GND	29	63	AI 11
AI 4	28	62	AI SENSE
AI GND	27	61	AI 12
AI 13	26	60	AI 5
AI 6	25	59	AI GND
AI GND	24	58	AI 14
AI 15	23	57	AI 7
AO 0	22	56	AI GND
AO 1	21	55	AO GND
NC	20	54	AO GND
P0.4	19	53	D GND
D GND	18	52	P0.0
P0.1	17	51	P0.5
P0.6	16	50	D GND
D GND	15	49	P0.2
+5 V	14	48	P0.7
D GND	13	47	P0.3
D GND	12	46	AI HOLD COMP
PFI 0/AI START TRIG	11	45	EXT STROBE
PFI 1/AI REF TRIG	10	44	D GND
D GND	9	43	PFI 2/AI CONV CLK
+5 V	8	42	PFI 3/CTR 1 SRC
D GND	7	41	PFI 4/CTR 1 GATE
PFI 5/AO SAMP CLK	6	40	CTR 1 OUT
PFI 6/AO START TRIG	5	39	D GND
D GND	4	38	PFI 7/AI SAMP CLK
PFI 9/CTR 0 GATE	3	37	PFI 8/CTR 0 SRC
CTR 0 OUT	2	36	D GND
FREQ OUT	1	35	D GND

NC = No Connect