

ESAMI DI STATO

1[^] SESSIONE 2020

PREPARAZIONE ALLE PROVE SETTORE INFORMAZIONE

PROF. MARIO LUISO



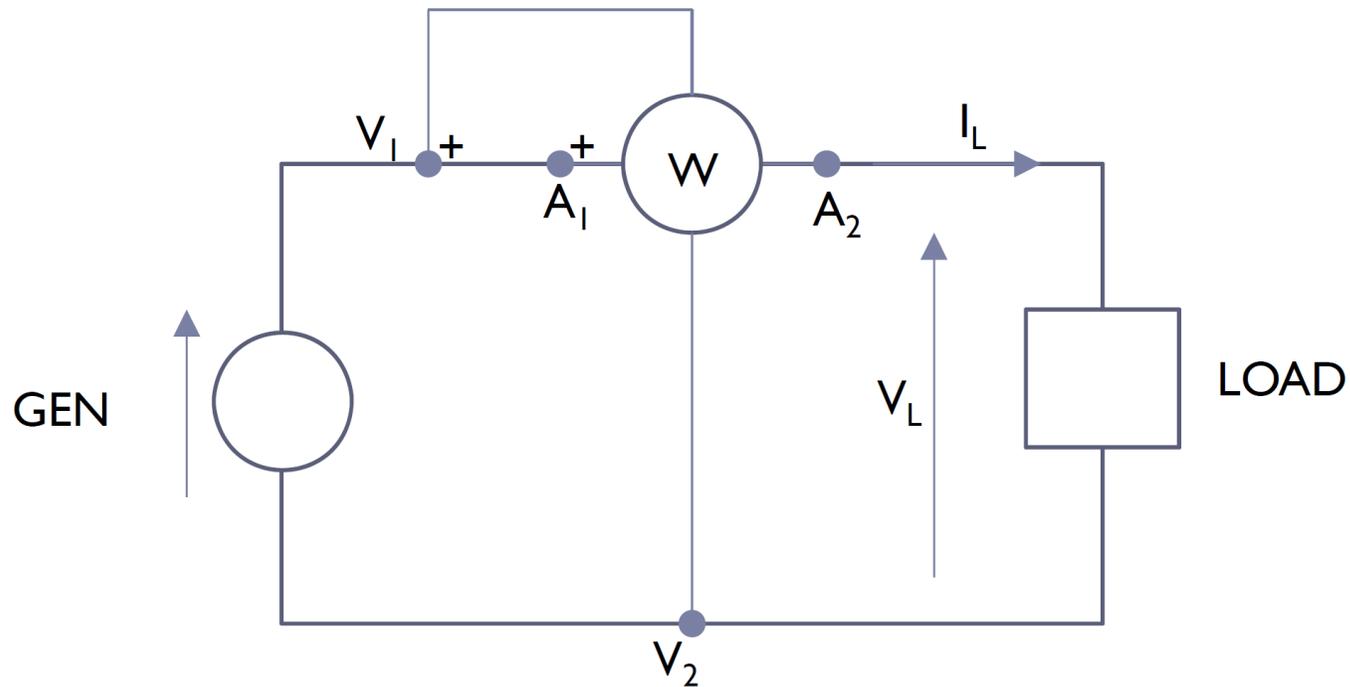
Obiettivo

Progettazione di un wattmetro numerico

Cos'è un wattmetro numerico

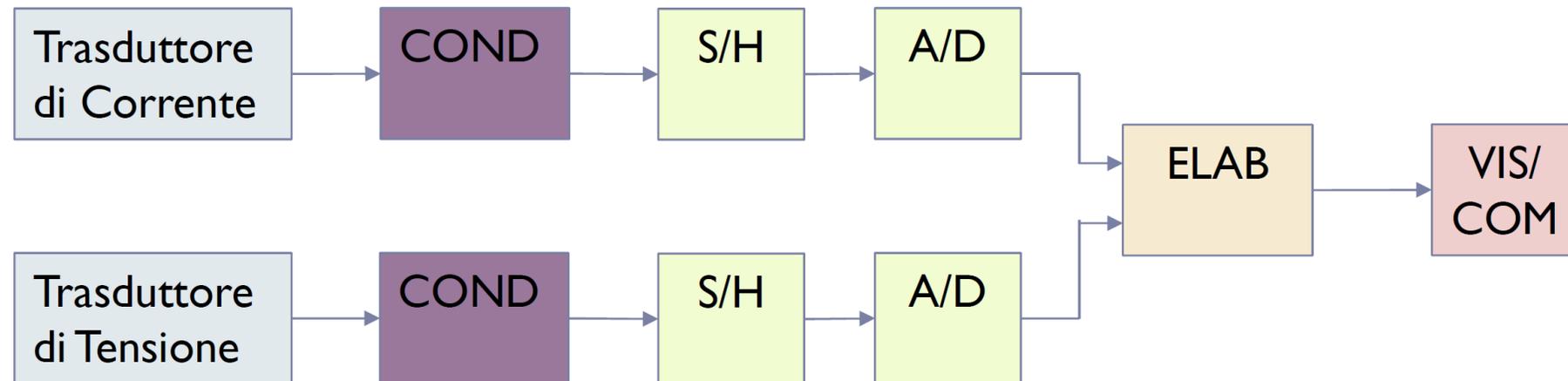
- ▶ Uno strumento di misura della potenza
- ▶ Numerico perché:
 - ▶ campiona le forme d'onda di tensione e corrente;
 - ▶ converte le forme d'onda in numeri (stringhe di bit) tramite la conversione analogico/digitale;
 - ▶ calcola la potenza effettuando opportune operazioni matematiche sui campioni convertiti in digitale.

Inserzione di un wattmetro



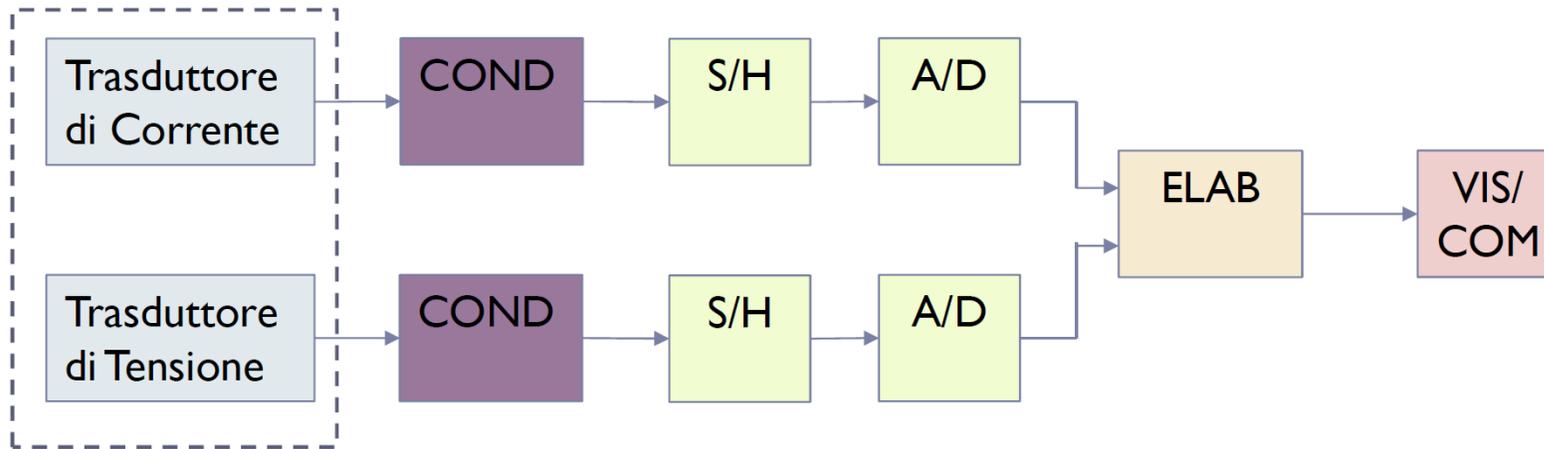
- ▶ 4 Morsetti di ingresso
- ▶ 2 Voltmetrici e 2 Amperometrici

Schema a blocchi di un wattmetro numerico



Schema a blocchi di un wattmetro numerico

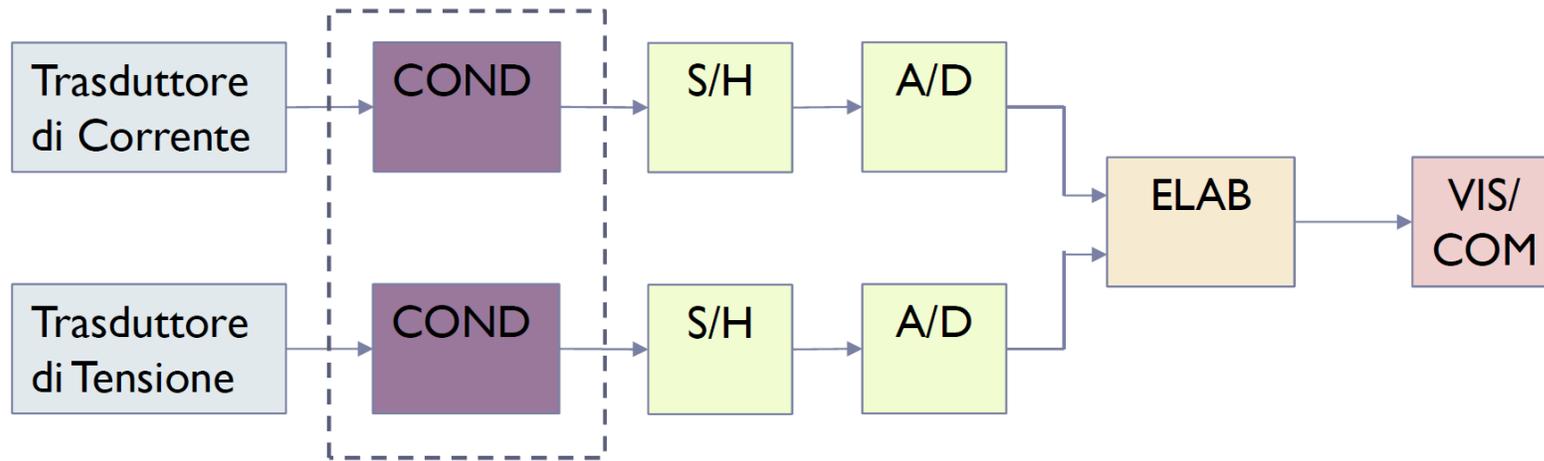
Sezione di Trasduzione



- ▶ Preleva tensione e corrente del circuito sotto test
- ▶ Compie un'operazione di attenuazione sulle forme d'onda
 - ▶ Es. $230 V_{RMS} \Rightarrow 5 V_{RMS}$, $30 A_{RMS} \Rightarrow 5 V_{RMS}$
- ▶ Generalmente la corrente viene trasformata in una tensione

Schema a blocchi di un wattmetro numerico

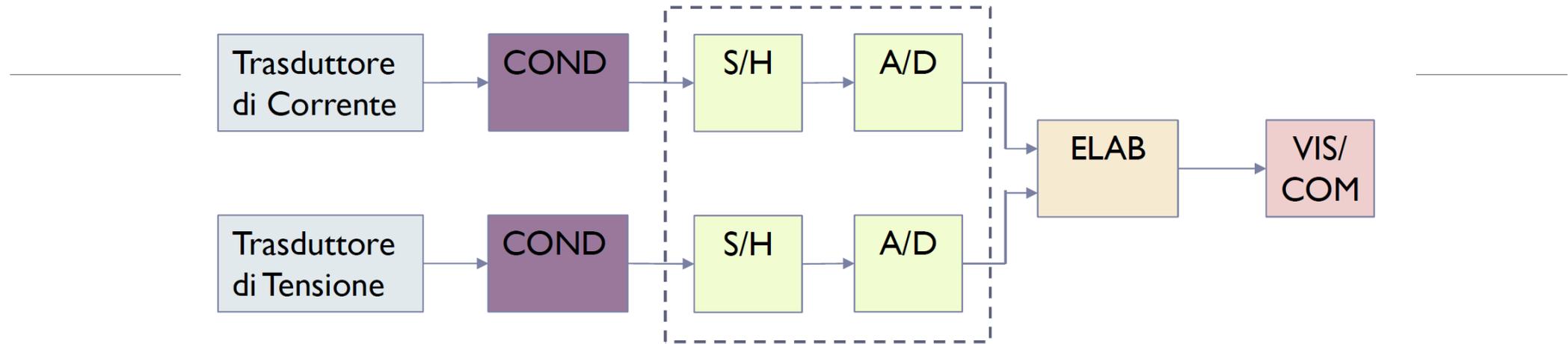
Sezione di Condizionamento



- ▶ Preleva le uscite dei trasduttori (generalmente sono entrambe delle tensioni)
- ▶ Compie operazioni di:
 - ▶ attenuazione/amplificazione (Es. $5 V_{RMS} \Rightarrow 1 V_{RMS}$)
 - ▶ traslazione (aggiunta di offset, Es. $[-1.4, 1.4] V \Rightarrow [0, 2.8] V$)
 - ▶ Filtraggio (Es. filtro antialiasing)

Schema a blocchi di un wattmetro numerico

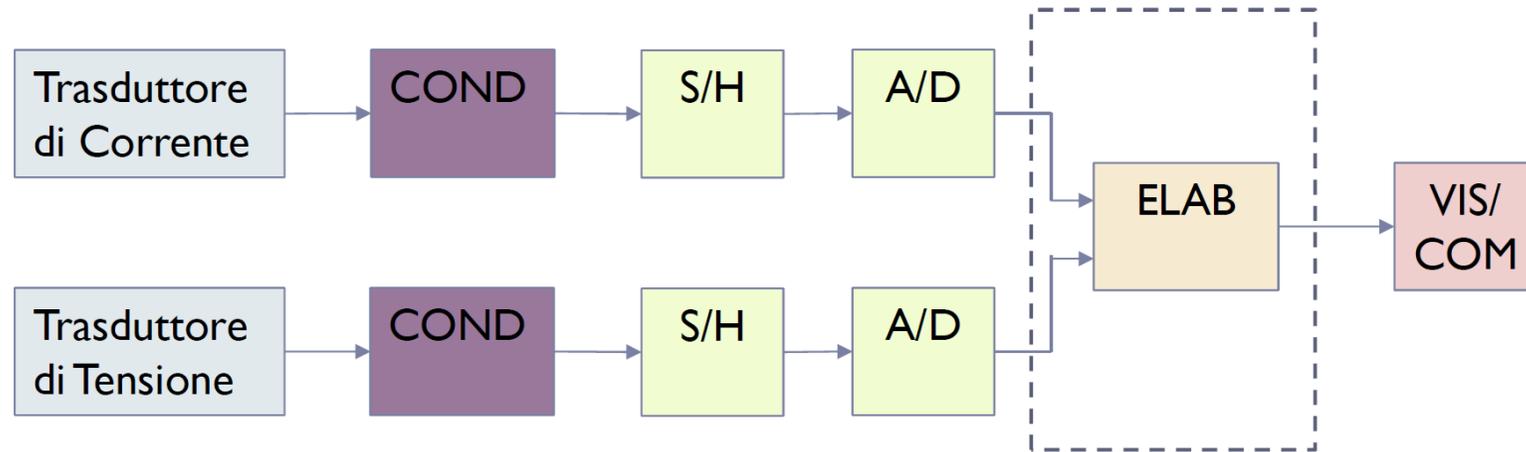
Sezione di Campionamento/Conversione



- ▶ **Sample and Hold (S/H)**
 - ▶ Mantiene costante il valore della forma d'onda finchè il convertitore A/D non ha concluso la conversione
- ▶ **Convertitore analogico/digitale**
 - ▶ Converte un valore analogico (una tensione) costante in una stringa di bit

Schema a blocchi di un wattmetro numerico

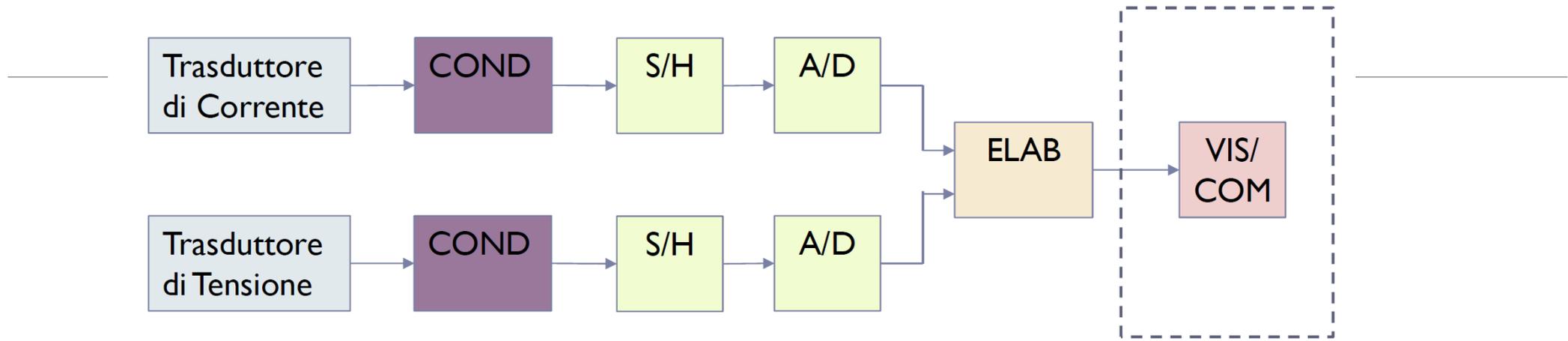
Sezione di Elaborazione



- ▶ Preleva i campioni delle forme d'onda dai convertitori A/D
- ▶ Riporta i valori di corrente e tensione nei range di partenza compiendo le operazioni inverse di trasduttori e condizionamento (Es. $[0, 2.8] V \Rightarrow 230 V_{RMS}$)
- ▶ Effettua le opportune operazioni matematiche per il calcolo di Potenza, valori efficaci, ecc.

Schema a blocchi di un wattmetro numerico

Sezione di Visualizzazione/Comunicazione



- ▶ **Presenta il dato di misura al mondo esterno tramite:**
 - ▶ Visualizzazione su un display
 - ▶ Spedizione tramite interfaccia di comunicazione (Es. RS-232, Ethernet, USB, ecc.)

Misura di valori efficaci e potenze

- ▶ Valore efficace di tensione e corrente

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

- ▶ Potenza attiva

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt$$

- ▶ Potenza apparente

$$S = V_{RMS} I_{RMS}$$

- ▶ Fattore di potenza

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

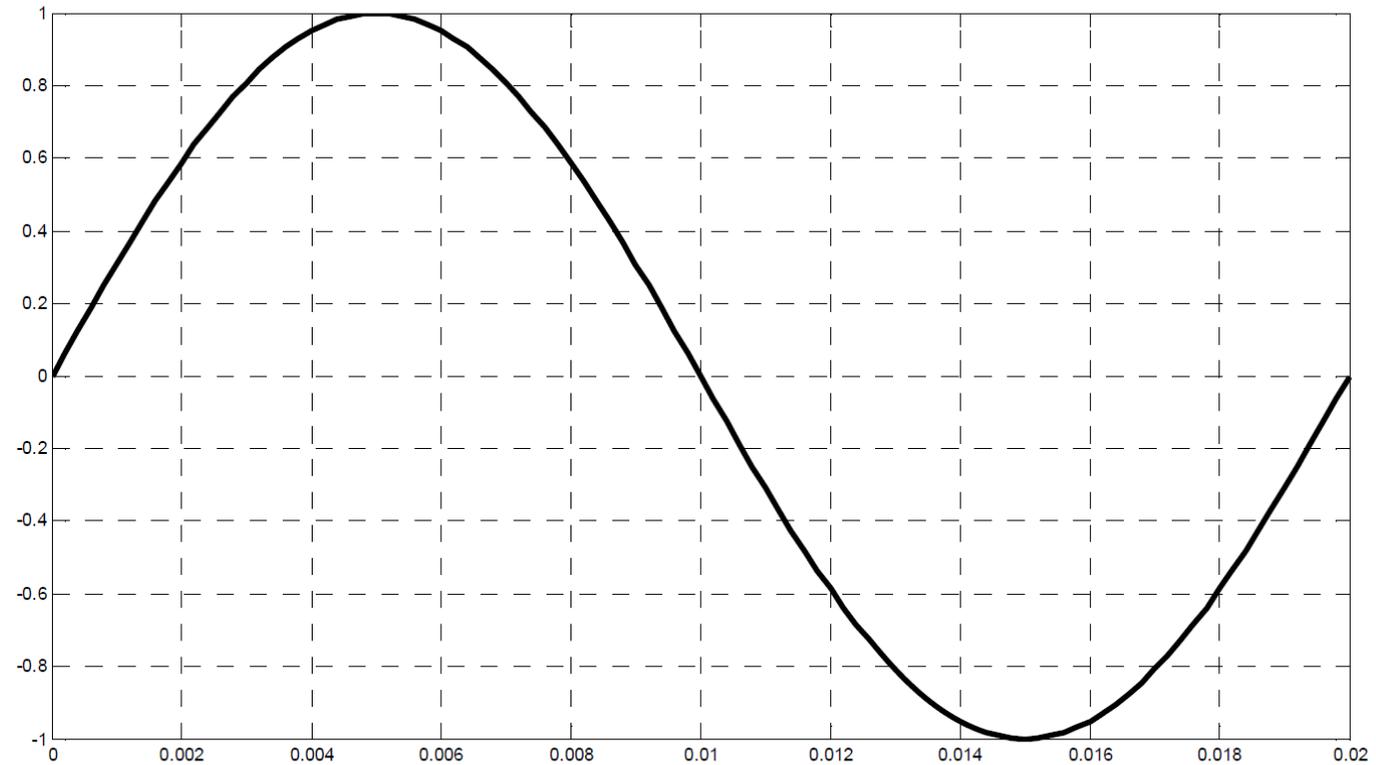
Discretizzazione delle formule

- ▶ Le forme d'onda vengono campionate e quantizzate
- ▶ Dunque ogni forma d'onda viene sostituita da una sequenza di numeri
- ▶ L'integrale non può essere eseguito...

- ▶ Bisogna introdurre delle **APPROSSIMAZIONI!!!**
- ▶ Ipotesi:
 - ▶ Passo di campionamento sufficientemente piccolo
- ▶ Approssimazioni:
 - ▶ L'integrale viene sostituito da una sommatoria

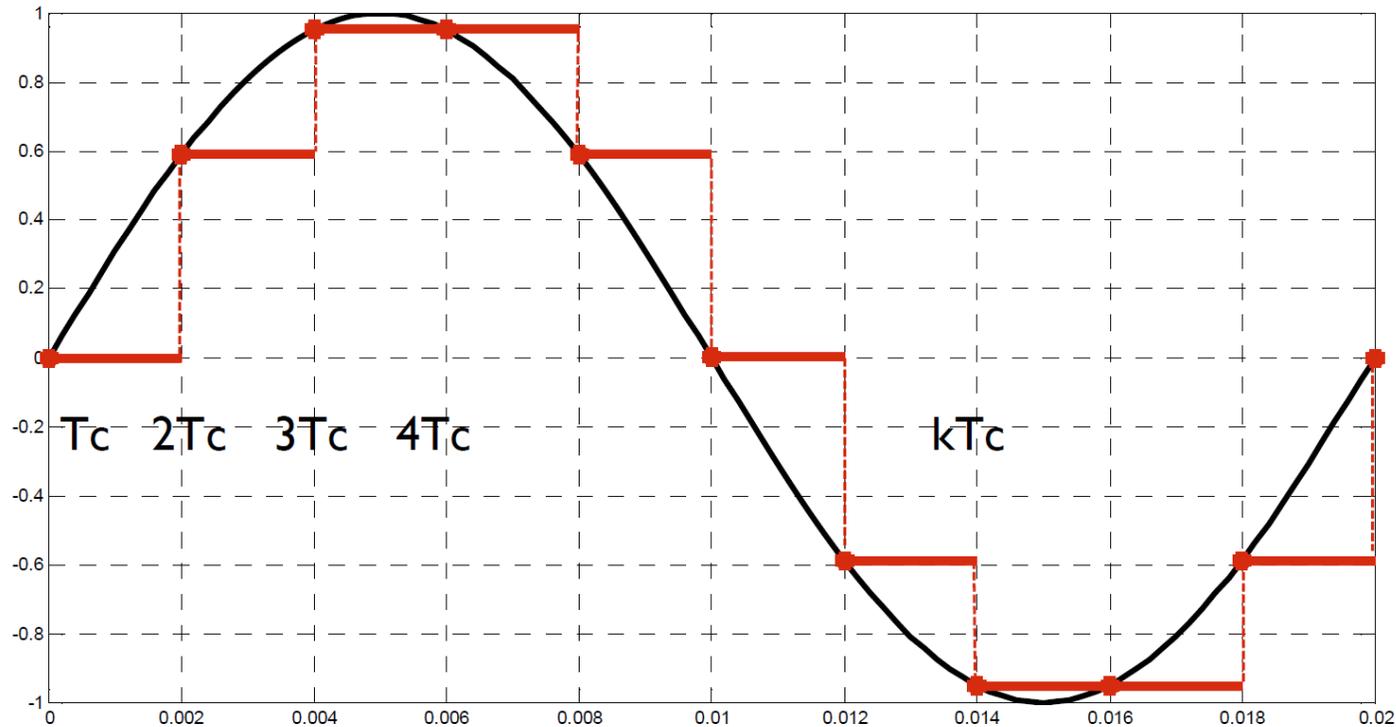
Campionamento

► Segnale sinusoidale



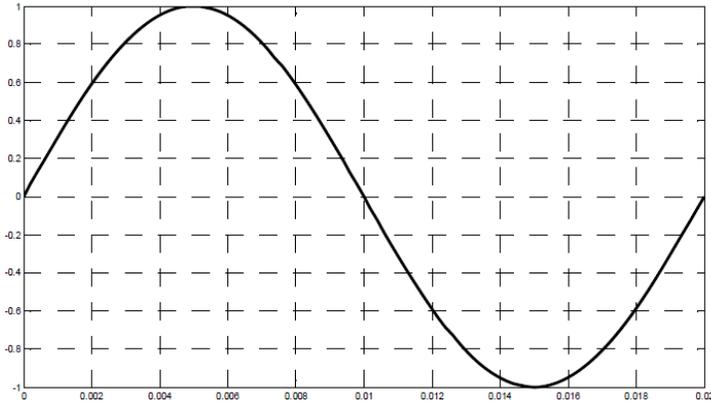
Campionamento

- ▶ Sostituito con un segnale costante a tratti



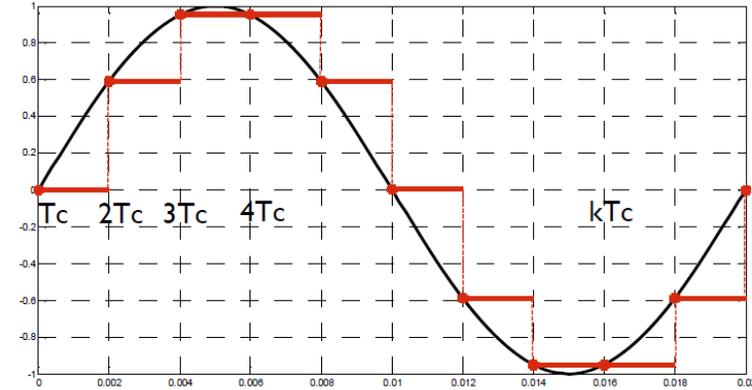
- ▶ T_c è il passo di campionamento, kT_c sono gli istanti di campionamento

Campionamento



► Segnale sinusoidale

$$v(t), \forall t \in [0, +\infty[$$



► Segnale costante a tratti

$$v(kT_c), \forall k = 0, 1, \dots, +\infty$$

Approssimazione dell'integrale

- ▶ Se consideriamo il periodo T come l'unione di N intervalli di durata un passo di campionamento:

$$T = [0, T_c [\cup [T_c, 2T_c [\cup \dots \cup [(N-1)T_c, NT_c [$$

- ▶ L'integrale definito

$$\int_0^T v(t) dt$$

- ▶ Può essere suddiviso nella somma di N integrali

$$\int_0^{T_c} v(t) dt + \int_{T_c}^{2T_c} v(t) dt + \dots + \int_{(N-1)T_c}^{NT_c} v(t) dt$$

Approssimazione dell'integrale

- ▶ Sostituendo quindi a $v(t)$ la sua versione costante a tratti, sotto l'operatore di integrale ci sarà una costante:

$$\int_0^{T_c} v(t) dt = v(0) * T_c,$$
$$\int_{T_c}^{2T_c} v(t) dt = v(T_c) * T_c, \dots,$$
$$\int_{(N-1)T_c}^{NT_c} v(t) dt = v((N-1)T_c) * T_c$$

- ▶ Cioè ogni integrale sarà pari al prodotto del valore del segnale nell'istante di campionamento e del passo di campionamento

Discretizzazione delle formule per il calcolo di valori efficaci e potenze

► Valore efficace

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \Rightarrow \sqrt{\frac{1}{NT_c} \int_0^{NT_c} v^2(kT_c) dt} =$$
$$\sqrt{\frac{1}{NT_c} \sum_0^{(N-1)T_c} v^2(kT_c) * T_c} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_0^{N-1} v_k^2}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_0^{N-1} i_k^2}$$

Discretizzazione delle formule per il calcolo di valori efficaci e potenze

► Potenza attiva

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \frac{1}{NT_c} \int_0^{NT_c} v(kT_c)i(kT_c) dt = \frac{1}{NT_c} \sum_0^{(N-1)T_c} v(kT_c)i(kT_c) * T_c = \frac{1}{N} \sum_0^{N-1} v_k i_k$$

► Potenza apparente

$$S = V_{RMS} I_{RMS}$$

► Fattore di potenza

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Formule semplici ma...

- ▶ Nell'approssimazione dell'integrale con la sommatoria scompare qualsiasi dipendenza dal tempo
- ▶ Questo accade quando il passo di campionamento è costante
- ▶ Se il passo di campionamento non è costante (ogni intervallo ha durata diversa) le espressioni sono più complicate
- ▶ QUINDI
- ▶ **IL PASSO DI CAMPIONAMENTO DEVE ESSERE COSTANTE!!!**

Elaborazione digitale dei segnali

- ▶ L'esecuzione di operazioni matematiche con i campioni, convertiti in digitale, di forme d'onda reali viene chiamata
- ▶ **ELABORAZIONE DIGITALE DEI SEGNALI**
- ▶ O anche
- ▶ **DIGITAL SIGNAL PROCESSING (DSP)**

- ▶ Per eseguire operazioni di DSP abbiamo bisogno di un processore digitale, ad esempio un microprocessore (PC)

- ▶ **OPPURE....**

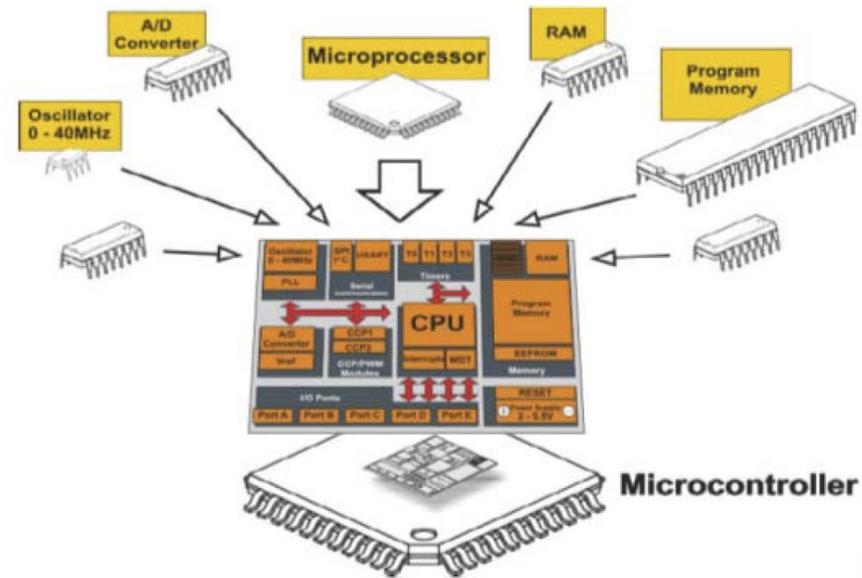
Microcontrollori

Microcontrollore:

- Microprocessore
- Linee I/O
- Memoria Flash
- Convertitore A/D
- Timer
- USART
- SPI
- PWM
- ...

Microprocessore:

- Unità di calcolo
- Unità di controllo
- Memoria istruzioni e calcolo



Specifiche di progetto del wattmetro

- ▶ Misura della potenza assorbita da un gruppo di carichi in un appartamento collegati alla rete elettrica a 50 Hz
- ▶ Tensione della rete elettrica pari a $230 V_{\text{RMS}}$
- ▶ Potenza apparente massima dei carichi pari a 2.3 kVA
- ▶ Corrente massima pari a $2300/230 = 10 A_{\text{RMS}}$

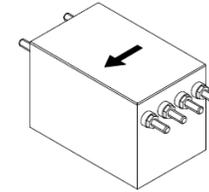
Current Transducer CT 10-T

For very accurate measurements of currents : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

$$I_{PN} = 10 \text{ A}$$



Preliminary



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current	10	A
I_p	Primary current, measuring range	0 .. ± 15	A
V_{OUT}	Analog output voltage	5	V
K_N	Conversion ratio	10 A / 5 V	
R_L	Load resistance	> 500	Ω
C_L	Capacitance loading	≤ 5	nF
t_c	Output short-circuit duration ¹⁾	∞	s
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	± 15	V
I_C	Current consumption	$90 + V_{OUT}/R_L$	mA
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	6	kV

Features

- Closed loop (compensated) current transducer
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0
- Patent pending.

Advanced features

- $f = 500 \text{ kHz}$
- $X_G = \pm 0.1\%$ (- 25°C .. + 70°C).

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall accuracy @ I_{PN}	- 25°C .. + 70°C	± 0.1	%
V_O	Offset voltage @ $I_p = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ - 25°C .. + 70°C	Typ	Max
				± 0.4 mV ± 0.6 mV
f	Frequency bandwidth (- 3 dB) @ 10 % of I_{PN}		DC .. 500	kHz

Advantages

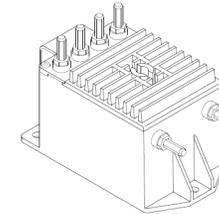
- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses

Voltage Transducer CV 3-1000

For the electronic measurement of voltage: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.



$V_{PN} = 700 \text{ V}$



Electrical data

V_{PN}	Primary nominal rms voltage	700	V
V_{PM}	Primary voltage, measuring range	0 .. ± 1000	V
V_S	(Analog) secondary voltage @ V_{Pmax}	10	V
K_N	Conversion ratio	1000 V : 10 V	
R_L	Load resistance	≥ 1	k Ω
C_L	Capacitive loading	≤ 5	nF
U_C	Supply voltage ($\pm 5 \%$)	± 15	V
I_C	Current consumption	$32 + V_S / R_L$	mA

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall accuracy @ V_{Pmax}	$T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ - 40 .. + 85 $^\circ\text{C}$	Max ± 0.2 ± 0.6	% %
V_O	Offset voltage @ $V_p = 0$	$T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ - 40 .. + 85 $^\circ\text{C}$	± 5 ± 13	mV mV
t_r	Step response time ¹⁾ to 90 % of V_{PN}		0.3	μs
dv/dt	dv/dt accurately followed		800	V/ μs
BW	Frequency bandwidth (- 1 dB) @ 50 % of V_{PN}		DC .. 500	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 40 .. + 85	$^\circ\text{C}$
-------	-------------------------------	--------------	------------------

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- Single or three phase inverter
- Propulsion and braking chopper
- Propulsion converter
- Auxiliary converter

Range di uscita dei trasduttori

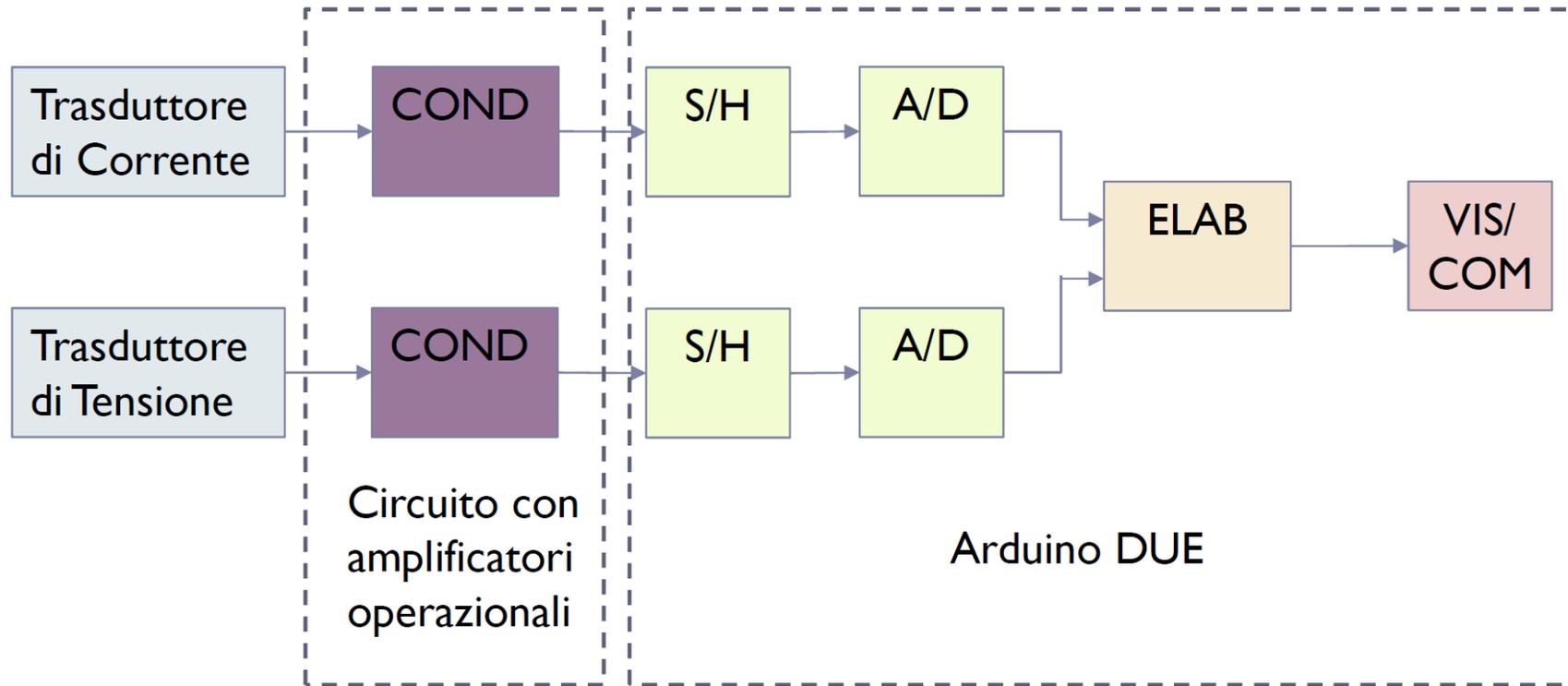
L'uscita del trasduttore di tensione è una tensione nel range $-10V \div 10V$

Tuttavia, il range di ingresso è $-1000 V \div 1000V$. A noi serve una tensione al massimo di $500 V$ (considerando eventuali sovratensioni)

Dunque, supponiamo che l'uscita del trasduttore di tensione sia una tensione nel range $-5 V \div 5V$

L'uscita del trasduttore di corrente è una tensione nel range $-7.5V \div 7.5V$

Schema a blocchi del wattmetro



E' solo un esempio.

Tutto il ragionamento è valido anche se il sistema di acquisizione ed elaborazione cambia

Passi da seguire

1. Progetto del condizionamento
2. Progetto del firmware
3. Implementazione del firmware
4. Test funzionale del wattmetro
5. Caratterizzazione del wattmetro

Progetto e realizzazione del condizionamento

- ▶ Bisogna progettare e realizzare un circuito elettronico che adatta l'uscita dei trasduttori all'ingresso di Arduino DUE, eseguendo un filtraggio antialiasing
- ▶ Le tensioni dei trasduttori sono nel range $[-5,5]$ e $[-7.5,7.5]$ V
- ▶ L'ingresso di Arduino DUE è nel range $[0, 3.3]$ V
- ▶ Dunque
 1. **Bisogna attenuare (un'ampiezza di $10 V_{PP}$ e una di $15 V_{PP}$ devono diventare un'ampiezza di $3.3 V_{PP}$)**
 2. **Bisogna traslare (il valore medio non deve essere $0 V$ ma $1.65 V$)**
 3. **Il filtro antialiasing dovrà essere del primo ordine con frequenza di taglio pari alla metà della frequenza di campionamento**

Progetto del Firmware

▶ Arduino DUE deve:

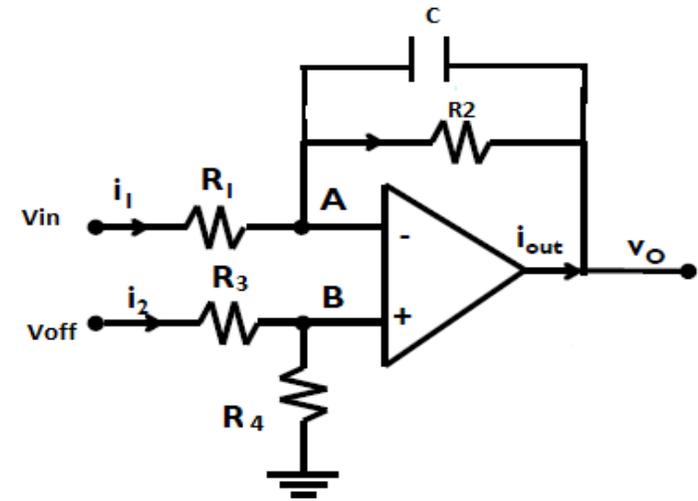
1. Campionare due tensioni analogiche con passo di campionamento costante
2. Sottrarre il valore medio
3. Dividere ciascun campione per i guadagni dei trasduttori e del condizionamento
4. Effettuare il calcolo, per ogni periodo, di
 1. Valore efficace della tensione
 2. Valore efficace della corrente
 3. Potenza attiva
 4. Potenza apparente
 5. Fattore di potenza
5. Spedire, tramite porta seriale, ad un PC i dati di misura

Progetto del circuito di condizionamento

Amplificatore differenziale con filtro antialiasing

Per il dimensionamento bisogna considerare le seguenti ipotesi semplificative:

- Nessuna corrente fluisce in ingresso all'operazionale (impedenza d'ingresso infinita)
- Quando configurato con una retroazione negativa, l'uscita è tale da rendere uguale i potenziali sui terminali d'ingresso (corto circuito virtuale).
- Ogni segnale d'ingresso è ammissibile senza nessun limite su ampiezza o frequenza (banda infinita, tensione d'uscita illimitata).

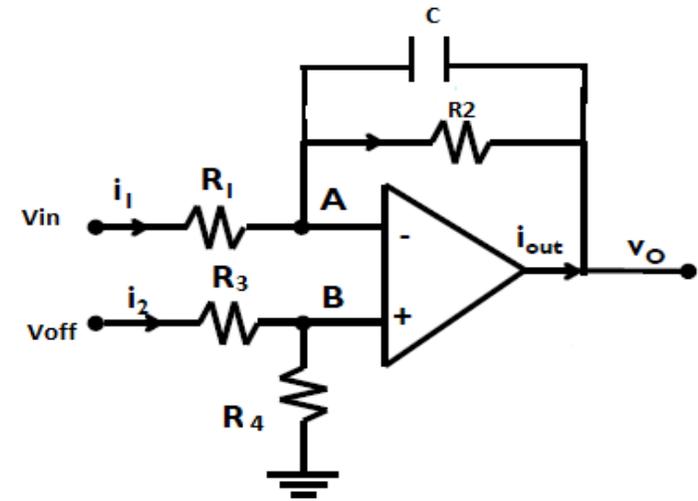


Relazione ingresso-uscita

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_{off} - \left(\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{sR_2C + 1}\right) \cdot V_{in}$$

Per il dimensionamento del circuito bisogna considerare:

1. Principio di sovrapposizione degli effetti
2. Valori commerciali di resistenze e capacità



1,0 ohm	10 ohm	100 ohm	1.000 ohm	10.000 ohm	100.000 ohm	1,0 megaohm
1,2 ohm	12 ohm	120 ohm	1.200 ohm	12.000 ohm	120.000 ohm	1,2 megaohm
1,5 ohm	15 ohm	150 ohm	1.500 ohm	15.000 ohm	150.000 ohm	1,5 megaohm
1,8 ohm	18 ohm	180 ohm	1.800 ohm	18.000 ohm	180.000 ohm	1,8 megaohm
2,2 ohm	22 ohm	220 ohm	2.200 ohm	22.000 ohm	220.000 ohm	2,2 megaohm
2,7 ohm	27 ohm	270 ohm	2.700 ohm	27.000 ohm	270.000 ohm	2,7 megaohm
3,3 ohm	33 ohm	330 ohm	3.300 ohm	33.000 ohm	330.000 ohm	3,3 megaohm
3,9 ohm	39 ohm	390 ohm	3.900 ohm	39.000 ohm	390.000 ohm	3,9 megaohm
4,7 ohm	47 ohm	470 ohm	4.700 ohm	47.000 ohm	470.000 ohm	4,7 megaohm
5,6 ohm	56 ohm	560 ohm	5.600 ohm	56.000 ohm	560.000 ohm	5,6 megaohm
6,8 ohm	68 ohm	680 ohm	6.800 ohm	68.000 ohm	680.000 ohm	6,8 megaohm
8,2 ohm	82 ohm	820 ohm	8.200 ohm	82.000 ohm	820.000 ohm	8,2 megaohm

Caso 1

$$1) V_{off}=0 \rightarrow V_{out} = - \left(\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{sR_2C+1} \right) \cdot V_{in}$$

$$\text{In DC} \rightarrow V_{out} = - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \cdot V_{in}$$

Deve risultare $V_{out} = 0 \text{ V}$ quando $V_{in} = -5 \text{ V}$ e $V_{out} = 3.3 \text{ V}$ quando $V_{in} = 5 \text{ V}$

$\frac{3.3}{10} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$ si ottengono i seguenti valori:

$R_1=10\text{k}\Omega$, $R_2=3.3\text{k}\Omega$

Per il circuito di corrente risulta

$$\frac{3.3}{15} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \rightarrow R_1=15 \text{ k}\Omega, R_2=3.3 \text{ k}\Omega$$

Caso 2

$$V_{in}=0 \rightarrow V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot V_{Off} \text{ in alternata}$$

Supponiamo che la frequenza di campionamento sia pari a 2 kHz.

$$\text{Per rispettare la condizione di antialiasing : } f_t = \frac{f_c}{2} = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Si ricava così $C = 48\text{nF}$ che, non essendo un valore commerciale, viene ottenuto con il parallelo

$$C = C' || C'' = 47\text{nF} || 1\text{nF}$$

Sapendo che poi che $V_{out} = 1.65\text{ V}$ con $V_{off}=3.3\text{ V}$, è possibile ricavare

$$R_3 \text{ ed } R_4 \rightarrow 3.3\text{V}/2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot 3.3\text{V}$$

$$R_3=8.2\text{ k}\Omega \text{ e } R_4=R_4'+R_4''=4.7\text{k}\Omega+270\Omega$$

Per il circuito di corrente risulta $R_4=R_4'+R_4''=5.6\text{ k}\Omega + 100\ \Omega$

Misurazione dei guadagni

Il circuito così progettato realizza la relazione

$$V_{out} = k1 \cdot V_{off} - k2 \cdot V_{in}$$

Il microcontrollore acquisirà quindi V_{out} nel range di ingresso corretto [0, 3.3 V].

Nel firmware, a partire dai campioni di V_{out} bisognerà ricavare V_{in} e I_{in} per poter calcolare le grandezze di interesse.

Il firmware dovrà implementare la formula inversa che lega V_{out} a V_{in} ed utilizzare i valori dei guadagni corretti, che, naturalmente, saranno diversi dai valori di progetto.

Per tale motivo, i due guadagni vanno misurati opportunamente ed i loro valori numerici inseriti nel firmware.

ESAMI DI STATO

1[^] SESSIONE 2020

PREPARAZIONE ALLE PROVE SETTORE INFORMAZIONE

PROF. MARIO LUISO