

Controlli automatici

Tecnologie elettroniche per il controllo

Prof. Paolo Rocco (paolo.rocco@polimi.it)

Politecnico di Milano

Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria





Introduzione

- Lo studio dei sistemi di controllo non si esaurisce con il progetto del controllore analogico o digitale
- Vi sono una serie di questioni **tecnologiche** la cui conoscenza costituisce un valido complemento alla padronanza delle metodologie dei controlli automatici
- La realizzazione pratica di un sistema di controllo non può prescindere dall'utilizzo di tali tecnologie, in particolare se si utilizza componentistica commerciale (off-the-shelf) e non dedicata a esperimenti didattici di laboratorio
- Studieremo alcuni elementi di **tecnologie elettroniche per il controllo**, con particolare riferimento ai problemi di trasmissione e condizionamento dei segnali, collegamenti di massa, conversione A/D e D/A.

- *Le presenti slide costituiscono una rielaborazione del materiale didattico predisposto dal Prof. Gianantonio Magnani del Politecnico di Milano per i corsi di Tecnologie dei Sistemi di Controllo*
- *Diverse immagini riportate nelle presenti slide sono tratte dal testo: "Tecnologie dei sistemi di controllo, 2a ed.", G. Magnani, G. Ferretti, P. Rocco, McGraw-Hill Italia, 2007*

Ingressi e uscite



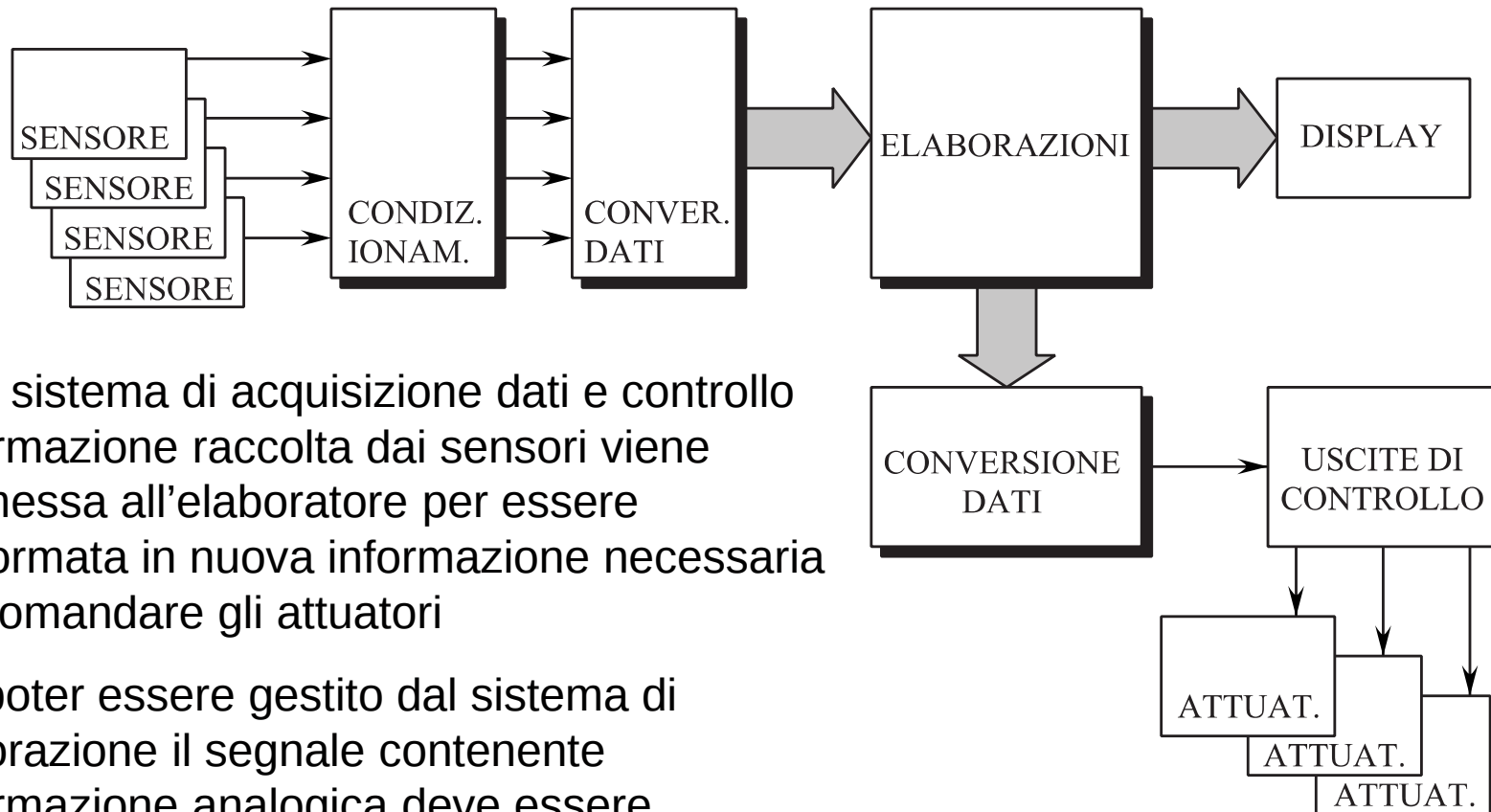
In un sistema di controllo i segnali provenienti dai sensori vengono classificati in due categorie:

- Ingressi analogici ([Analog Inputs](#))
 - rappresentano grandezze fisiche variabili con continuità nel tempo
- Ingressi digitali ([Digital Inputs](#))
 - rappresentano lo stato di componenti di un impianto, come un interruttore (aperto/chiuso), il superamento di un limite, il raggiungimento di un fine corsa, ecc.
 - sono anche detti segnali logici, booleani, binari

Anche i segnali di uscita vengono classificati nello stesso modo:

- Uscite analogiche ([Analog Outputs](#))
- Uscite digitali ([Digital Outputs](#))

Sistema di acquisizione dati e controllo



- In un sistema di acquisizione dati e controllo l'informazione raccolta dai sensori viene trasmessa all'elaboratore per essere trasformata in nuova informazione necessaria per comandare gli attuatori
- Per poter essere gestito dal sistema di elaborazione il segnale contenente l'informazione analogica deve essere convertito in digitale
- Prima ancora però il segnale deve essere sottoposto a **condizionamento** per poter essere correttamente convertito

Problematiche



Gli aspetti di cui tenere conto in un sistema di acquisizione dati e controllo sono molteplici. Di seguito affronteremo i seguenti:

- componenti in un circuito di condizionamento
 - collegamenti di massa e accoppiamenti
 - amplificatori per il condizionamento e l'isolamento
 - collegamenti single-ended e differenziali

- funzioni del circuito di condizionamento
 - adattamento di impedenza
 - conversione e messa in scala
 - filtraggio

- conversioni
 - conversione A/D
 - conversione D/A

Collegamenti di massa



Si chiama **massa di segnale** (signal ground) un nodo di riferimento rispetto al quale vengono misurate le tensioni negli altri nodi di un circuito.

Le masse sono normalmente **collegate a terra** (earth ground) per ragioni di sicurezza e per non lasciarne fluttuare il potenziale, ancorandolo a quello di terra.



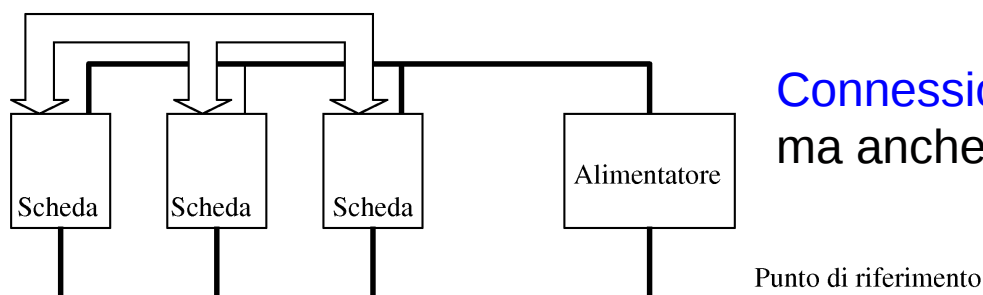
In un sistema di acquisizione relativo a un processo industriale si distinguono:

- massa del campo (sensori e attuatori)
- massa dei circuiti di acquisizione (schede contenute in un armadio o rack)

Entrambe le masse sono connesse localmente a terra. La terra tuttavia non è una superficie perfettamente equipotenziale. Si ha quindi un collegamento tra le masse attraverso le terre (anello di massa o **ground loop**) con possibile circolazione di corrente (problema rilevante per impianti di grosse dimensioni).

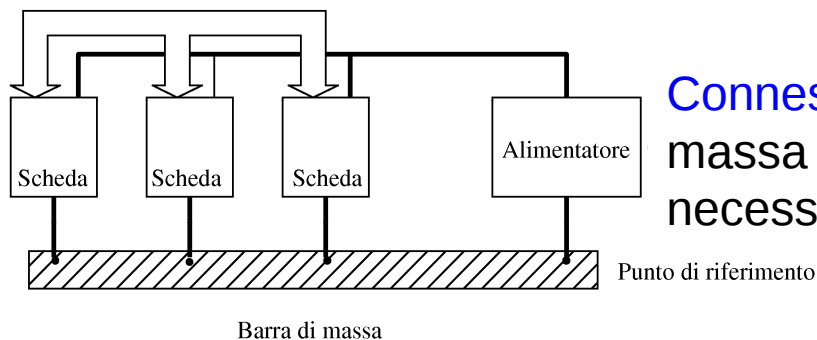
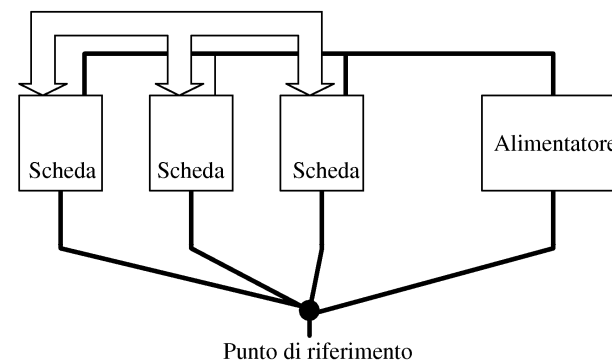
Collegamenti di massa

Per il collegamento delle masse di segnale al nodo di terra esistono tre metodi:



Connessione serie: è la più semplice ma anche la più rumorosa

Connessione parallelo: richiede più fili e può generare accoppiamenti per alte frequenze



Connessione multipunto: si usano barre di massa cui si collegano fili di lunghezza ridotta: necessaria per alte frequenze (> 10 MHz)

Accoppiamenti e interferenze



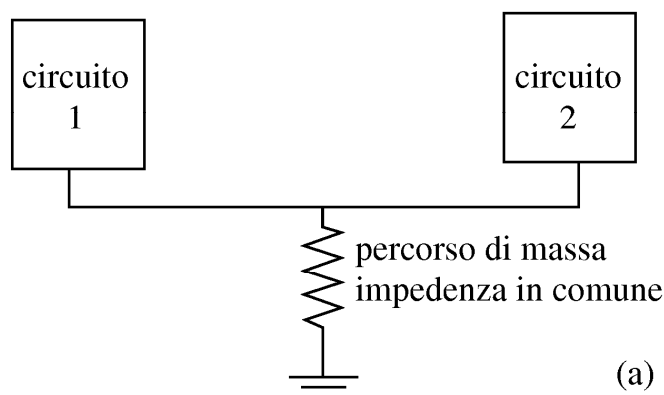
Con **accoppiamento** tra due circuiti si intende la generazione di segnali elettrici indesiderati in un circuito da parte dell'altro.

Distinguiamo tre tipologie di accoppiamento:

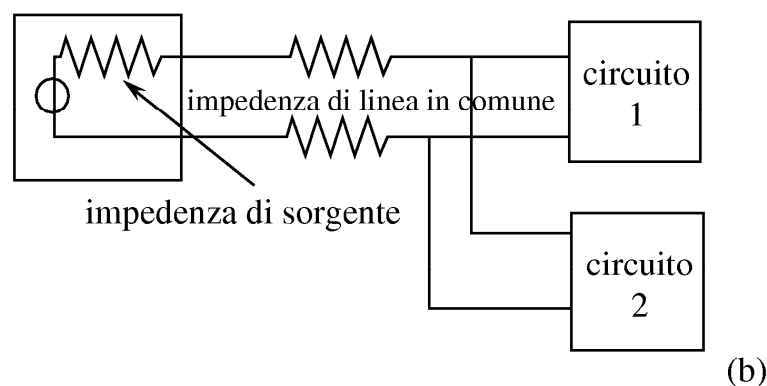
- accoppiamento **condotto** (percorsi comuni di massa e di linee di collegamento)
- accoppiamento **capacitivo** (capacità parassite tra i cavi dei circuiti)
- accoppiamento **induttivo** (flusso magnetico prodotto da una corrente in un circuito che si concatena all'altro)

Accoppiamento condotto

L'**accoppiamento condotto** si manifesta quando correnti di due circuiti fluiscono attraverso un'impedenza comune:



I due circuiti hanno in comune un tratto di percorso verso massa: la differenza di potenziale sul circuito 1 dipende dalla corrente verso massa del 2 e viceversa



I due circuiti hanno in comune il percorso verso l'alimentazione: la corrente assorbita da un circuito modifica la tensione di alimentazione dell'altro

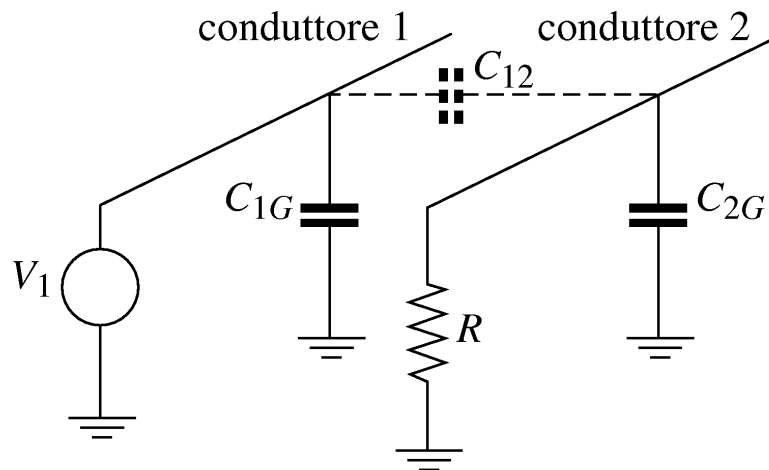
N.B. L'**impedenza** è la relazione dinamica tra la corrente che attraversa un circuito e la tensione ai suoi capi

- Resistore: $Z = R$
- Condensatore: $Z = 1/(sC)$
- Induttore: $Z = sL$

Accoppiamento capacitivo



L'**accoppiamento capacitivo** è dovuto a capacità parassite distribuite lungo i conduttori:



- C_{12} : capacità parassita tra i due conduttori
- C_{1G} , C_{2G} : capacità parassite verso massa

$$V_2 = \frac{R}{Z_{12} + R} V_1 \cong \frac{R}{Z_{12}} V_1 = sC_{12} R V_1$$

$$Z_{12} = \frac{1}{sC_{12}}, \quad |Z_{12}| \gg R$$

per la presenza delle capacità verso massa,
in realtà il legame non è derivativo ideale

Accoppiamento capacitivo



$$V_2 = sC_{12}RV_1$$

Il rumore in tensione è quindi proporzionale a:

- ampiezza del segnale sorgente di disturbo
- frequenza di tale segnale
- impedenza verso massa del circuito soggetto al disturbo (da mantenere piccola!)
- capacità parassita

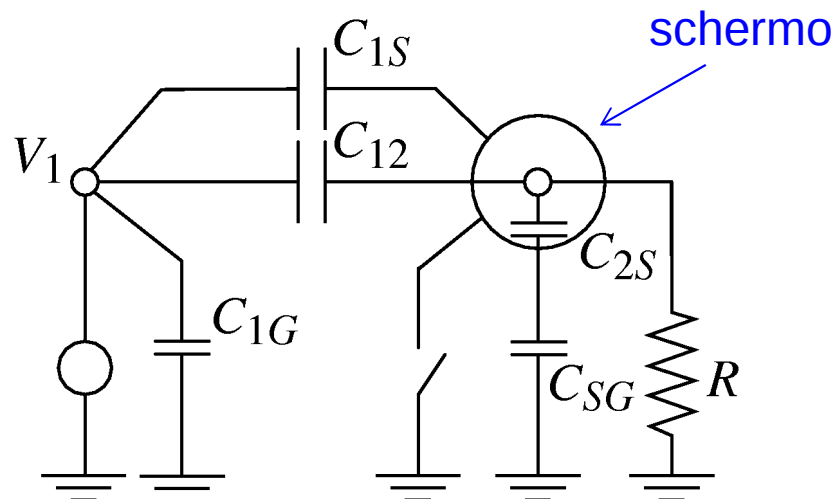
Esempio:

$$C_{12} = 50 \text{ pF}, V_1 = 10 \text{ V (ampiezza)}, f = 100 \text{ KHz}, R = 50 \Omega \quad \longrightarrow \quad V_2 = 15.7 \text{ mV}$$

Come **ridurre il rumore** per accoppiamento capacitivo?

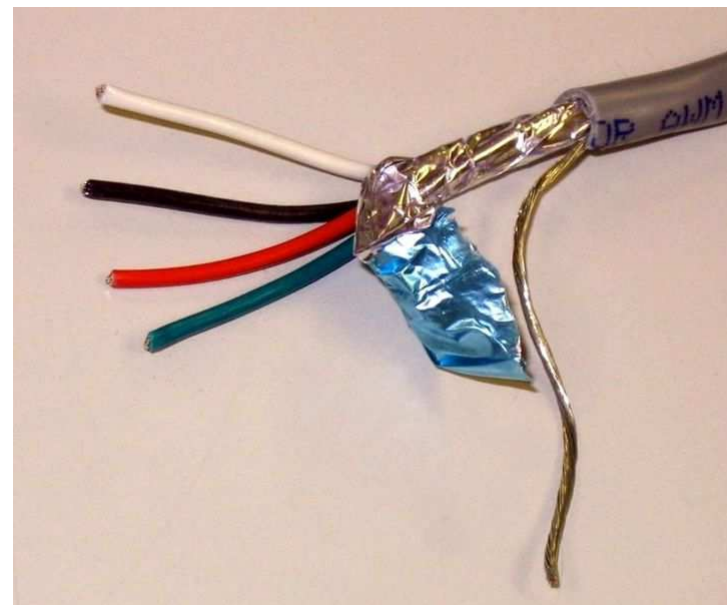
- aumentando la distanza tra i conduttori
- orientando diversamente i conduttori
- circondando il conduttore con uno **schermo** (lamina sottile)

Accoppiamento capacitivo: schermo



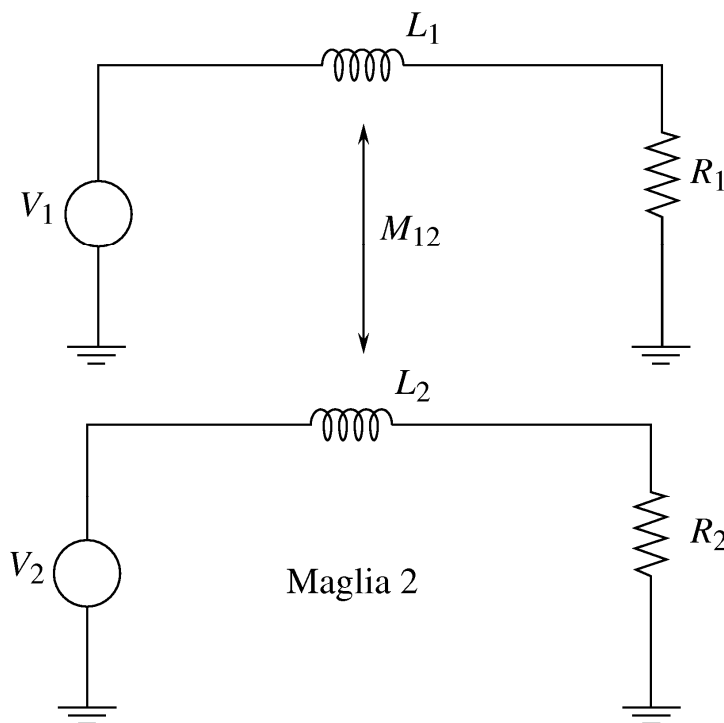
- C_{1S} : capacità parassita tra il conduttore 1 e lo schermo
- C_{2S} : capacità parassita tra il conduttore 2 e lo schermo
- C_{SG} : capacità parassita dello schermo verso massa

- Lo schermo è in grado di ridurre radicalmente la capacità parassita (principio della gabbia di Faraday)
- Va collegato a massa da una estremità



Accoppiamento induttivo

L'**accoppiamento induttivo** è dovuto alle correnti indotte tra due conduttori per effetti elettromagnetici:



- la corrente I_1 che circola nel primo circuito produce un campo magnetico proporzionale alla corrente
- il secondo circuito concatena un flusso $\Phi_{12} = M_{12}I_1$ (M_{12} mutua induttanza)
- se il flusso concatenato è variabile si induce una forza elettromotrice indesiderata $V_2 = -M_{12}dI_1/dt$

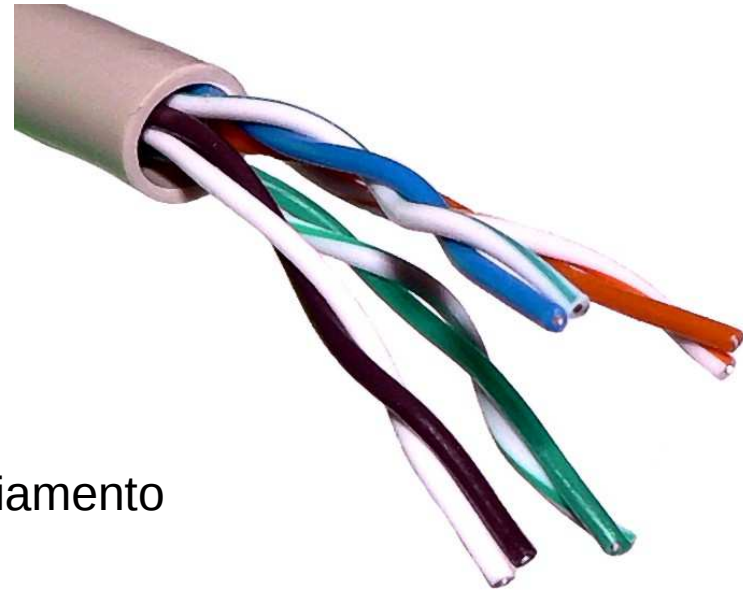
Sorgenti notevoli di disturbi di questo tipo sono le unità di alimentazione di potenza che modulano la tensione con tecniche switching o PWM, cioè collegando e staccando l'alimentazione ad alta frequenza.

Accoppiamento induttivo

L'accoppiamento induttivo può essere ridotto nei seguenti modi:

- allontanando i circuiti
- disponendo i circuiti in modo da minimizzare l'area della maglia costituita dal secondo circuito perpendicolare alle linee di campo generato dal primo
- utilizzando cavi intrecciati (**twistati**)

Nel cavo twistato l'area della maglia si riduce rispetto a un doppino piatto. Se la corrente è la stessa nei due fili il campo netto per ogni periodo della treccia è nullo.



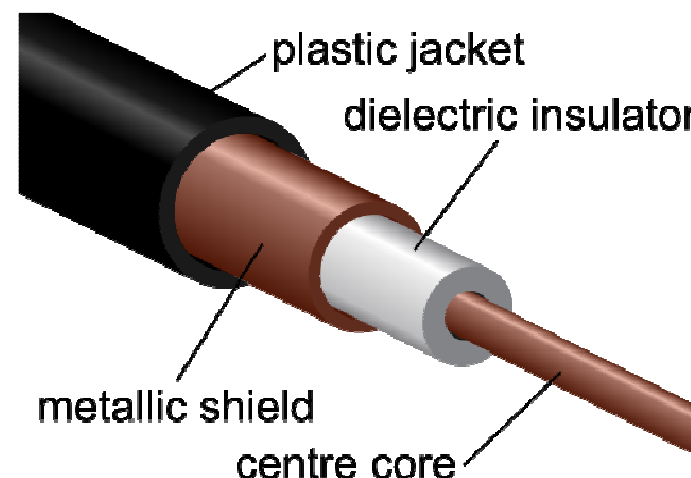
Lo schermo invece non ha effetto sull'accoppiamento induttivo.

Tipi di cavi

In base alle considerazioni precedenti si comprende che i cavi maggiormente utilizzati nelle applicazioni di controllo siano:

- cavi twistati
- cavi schermati
- cavi twistati e schermati

Un'altra tipologia di cavi di interesse sono i **cavi coassiali**, composti da un conduttore di rame interno circondato da uno strato tubolare isolante a sua volta circondato da uno schermo conduttore (calza).



I cavi coassiali danno prestazioni migliori del doppino twistato e schermato a frequenze elevate (> 100 KHz) e quindi sono poco usati nelle applicazioni di controllo.

Amplificatori per il condizionamento



- I convertitori A/D richiedono in ingresso segnali con fondo scala di alto livello (qualche Volt).
- I segnali analogici sono normalmente di basso livello (millivolt).
- Per il corretto funzionamento dei convertitori occorre **amplificare i segnali**.

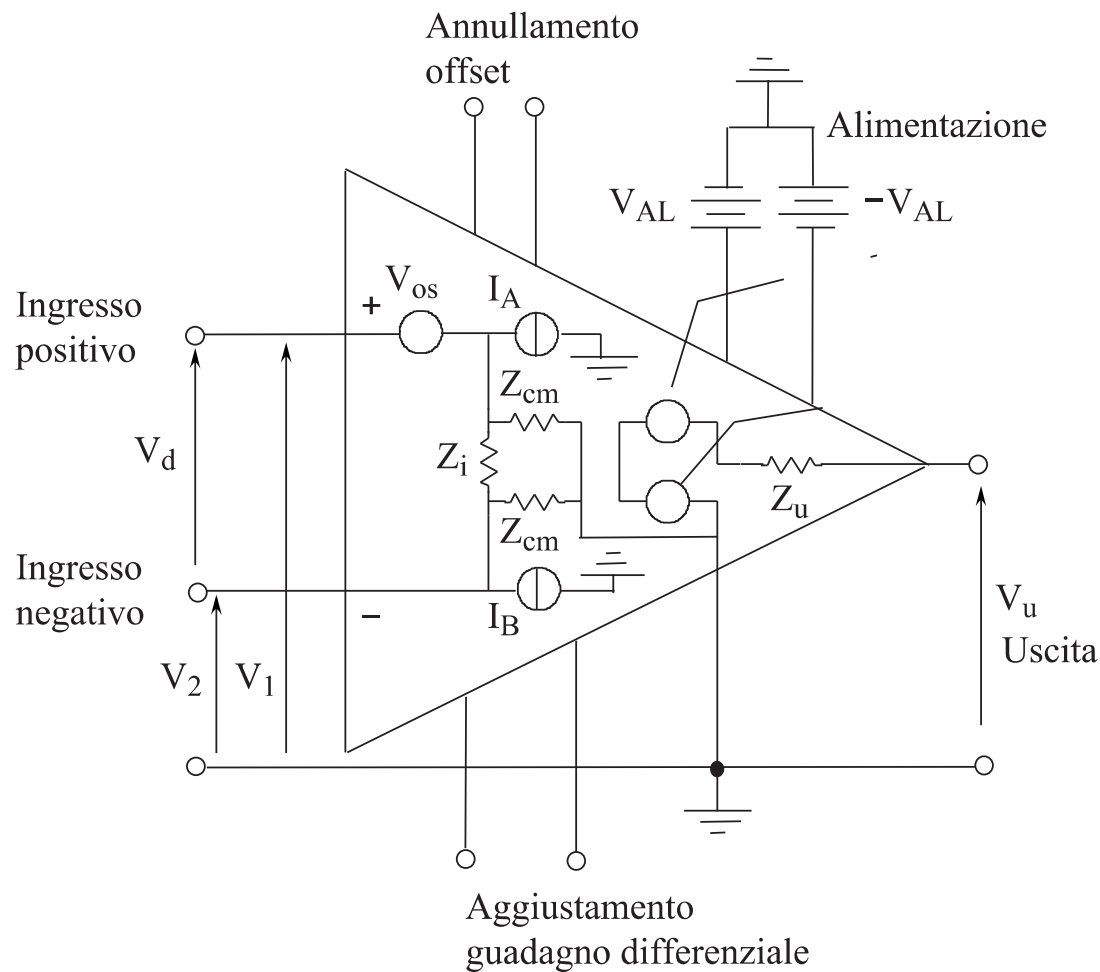
Nei sistemi di controllo si usano comunemente tre tipi di amplificatori:

- amplificatori **operazionali**
- amplificatori da strumentazione (**instrumentation** amplifiers)
- amplificatori d'isolamento (**isolation** amplifiers)

Amplificatore operazionale



Un **amplificatore operazionale** reale può essere schematizzato come in figura:



- V_1, V_2 : tensioni applicate agli ingressi
- V_d : tensione differenziale
- V_u : tensione di uscita
- V_{os} : tensione di offset
- $V_{AL}, -V_{AL}$: tensioni di alimentazione
- Z_i, Z_{cm}, Z_u : impedenze di ingresso, di modo comune, di uscita
- I_A, I_B : correnti di polarizzazione

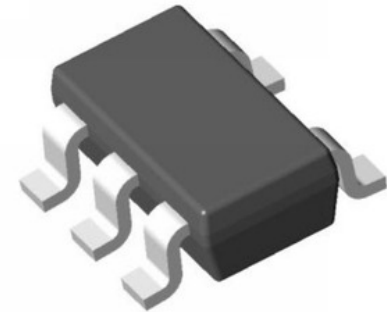
Amplificatore operazionale



Definiti:

- G_d : guadagno differenziale
- G_{cm} : guadagno di modo comune

si può scrivere:



$$V_o = G_d(V_1 - V_2) + G_{cm} \frac{V_1 + V_2}{2} + V_{os}$$

tensione differenziale tensione di modo comune tensione di offset

- G_d è molto elevato ($10^4 \div 10^5$)
- G_{cm} è invece piccolo (< 1)

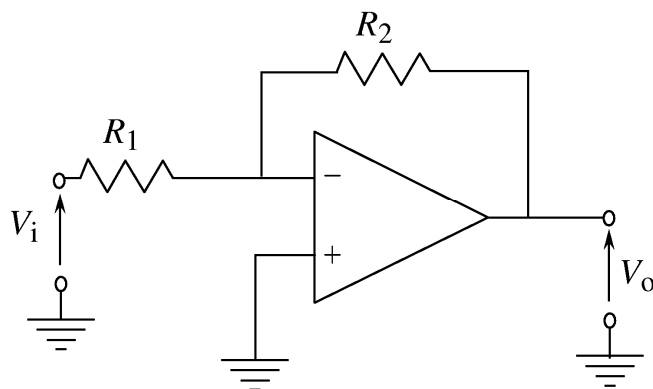
Il rapporto è: $CMRR = \frac{G_d}{G_{cm}} = 60 \div 120 \text{ dB}$

Common Mode Reject Ratio

- L'impedenza di ingresso è molto elevata ($10^5 \div 10^{11} \Omega$)
- L'impedenza di uscita è bassa (50Ω)

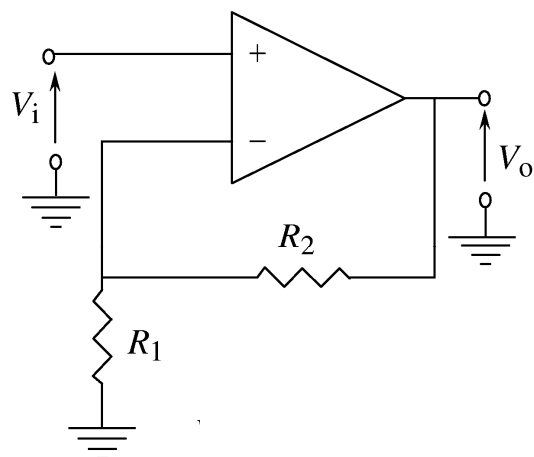
Amplificatore operazionale

L'alto valore del guadagno differenziale fa sì che anche piccoli segnali in ingresso potrebbero portare l'uscita in saturazione. Gli amplificatori operazionali vengono quindi sempre usati in **configurazione retroazionata**.



Amplificatore **invertente**:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$



Amplificatore **non invertente**:

$$V_o = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

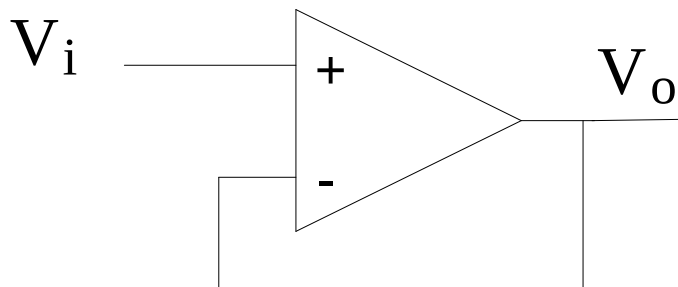
Ipotesi:

- impedenza di ingresso infinita $\Rightarrow$ corrente in ingresso nulla
- guadagno differenziale infinito $\Rightarrow$ d.d.p. in ingresso nulla

Amplificatore operazionale



Un amplificatore in configurazione non invertente in cui $R_2 = 0$ e $R_1 \rightarrow \infty$ funge da **inseguitore** o **buffer**.



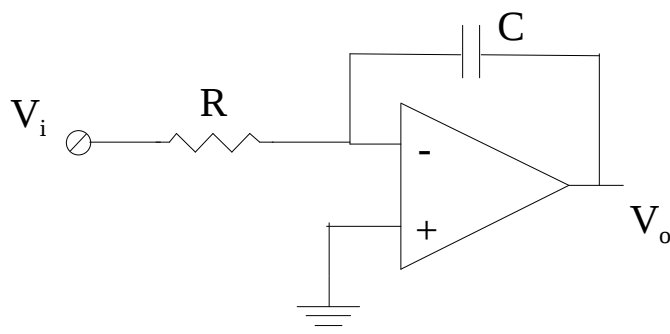
È utile come **adattatore di impedenza**:

- elevata impedenza di ingresso consente di rilevare una tensione assorbendo una corrente molto piccola
- bassa impedenza di uscita consente di pilotare il carico in modo indipendente dalla corrente assorbita da questo

Amplificatore operazionale

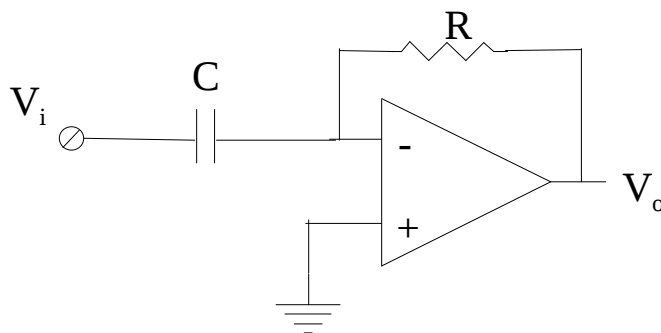


L'amplificatore in configurazione invertente dà luogo a un legame **proporzionale** tra tensioni ingresso e uscita. Sostituendo alle resistenze delle capacità, si ottengono legami che costituiscono gli altri elementi di regolatori PID analogici.



Integratore:

$$V_o = -\frac{1}{sCR} V_i$$

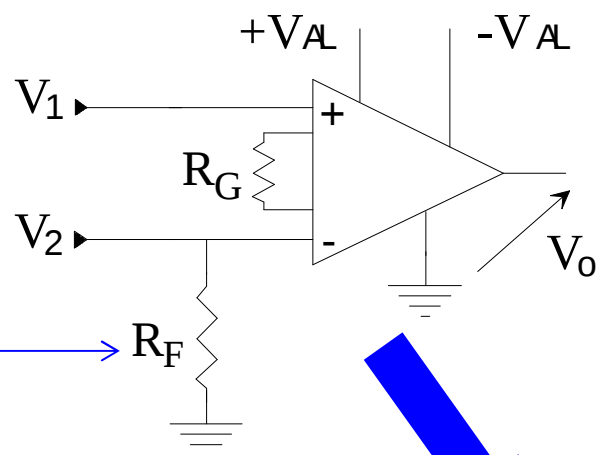


Derivatore:

$$V_o = -sCR V_i$$

Amplificatore da strumentazione

L'amplificatore da strumentazione ([Instrumentation Amplifier](#): IA) è usato per amplificare una tensione presente ai morsetti di ingresso per un fattore prefissabile dall'utente (normalmente tra 1 e 1000).

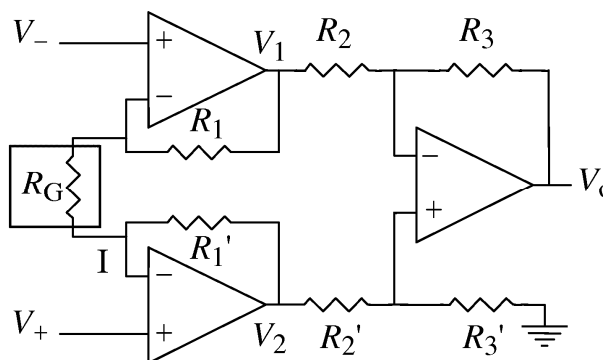


▪ R_G : resistore esterno con cui si imposta il guadagno

▪ Proprietà:

- altissima impedenza di ingresso
- offset e deriva in temperatura bassi
- elevata linearità
- guadagno molto stabile
- bassa impedenza di uscita
- elevata reiezione dei segnali di modo comune

resistenza "di fuga"
verso massa

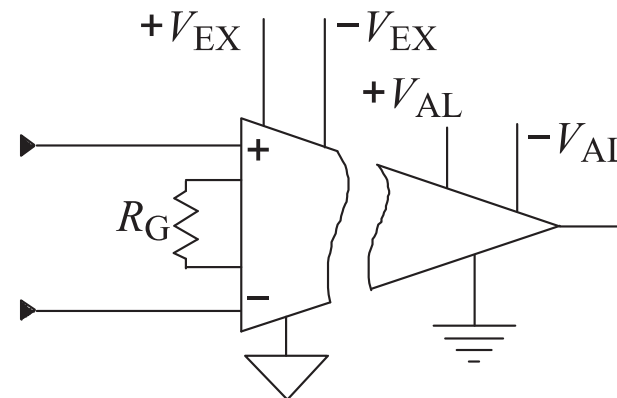


(realizzazione interna
dell'IA)

Amplificatore d'isolamento



L'amplificatore d'isolamento (**ISOAMP**) è un amplificatore da strumentazione con circuito di ingresso isolato galvanicamente dall'alimentazione e dal circuito di uscita.



Isolamento galvanico: garantisce che l'impedenza tra due circuiti sia superiore a $100 \text{ M}\Omega$ per le correnti continue: è impedita la circolazione delle correnti continue e quelle di frequenza relativamente bassa (multipli della frequenza di rete, 50 Hz)

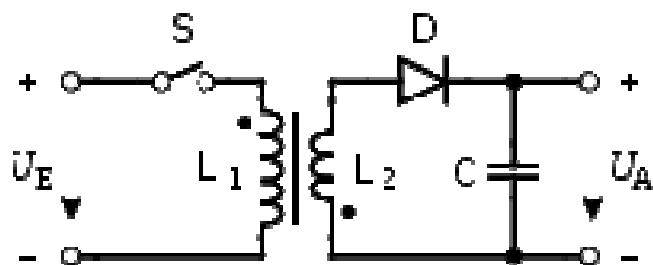
Scopi dell'isolamento galvanico:

- **funzionali**
 - acquisizione di segnali di piccola intensità sovrapposti ad elevate tensioni di modo comune
 - riduzione degli effetti di disturbi su percorsi e anelli di massa
- **di sicurezza**
 - protezione dei circuiti e delle persone a fronte di differenze di potenziale elevate (per guasti, contatti accidentali con alte tensioni, scariche elettriche)

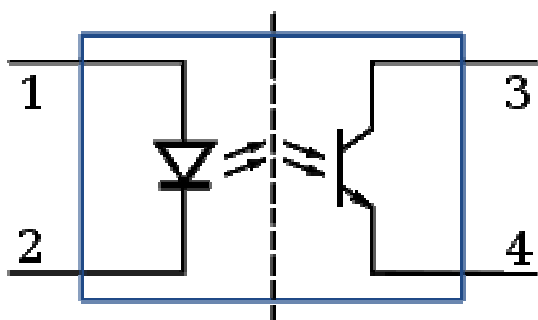
Amplificatore d'isolamento

Tipologie di amplificatori di isolamento:

- a trasformatore
- a effetto ottico



L'amplificatore d'isolamento **a trasformatore** realizza il trasferimento di energia senza connessioni elettriche, ma mediante l'induzione elettromagnetica.



L'amplificatore d'isolamento a effetto ottico è realizzato mediante **fotoaccoppiatori** (accoppiamento di un LED con un elemento fotosensibile). Il LED emette una radiazione luminosa proporzionale alla corrente che lo percorre, il fototransistor è percorso da una corrente proporzionale alla radiazione che ne illumina la base.

Collegamenti single-ended e differenziali



Un dispositivo come un sensore può trasmettere la propria informazione in due modalità:

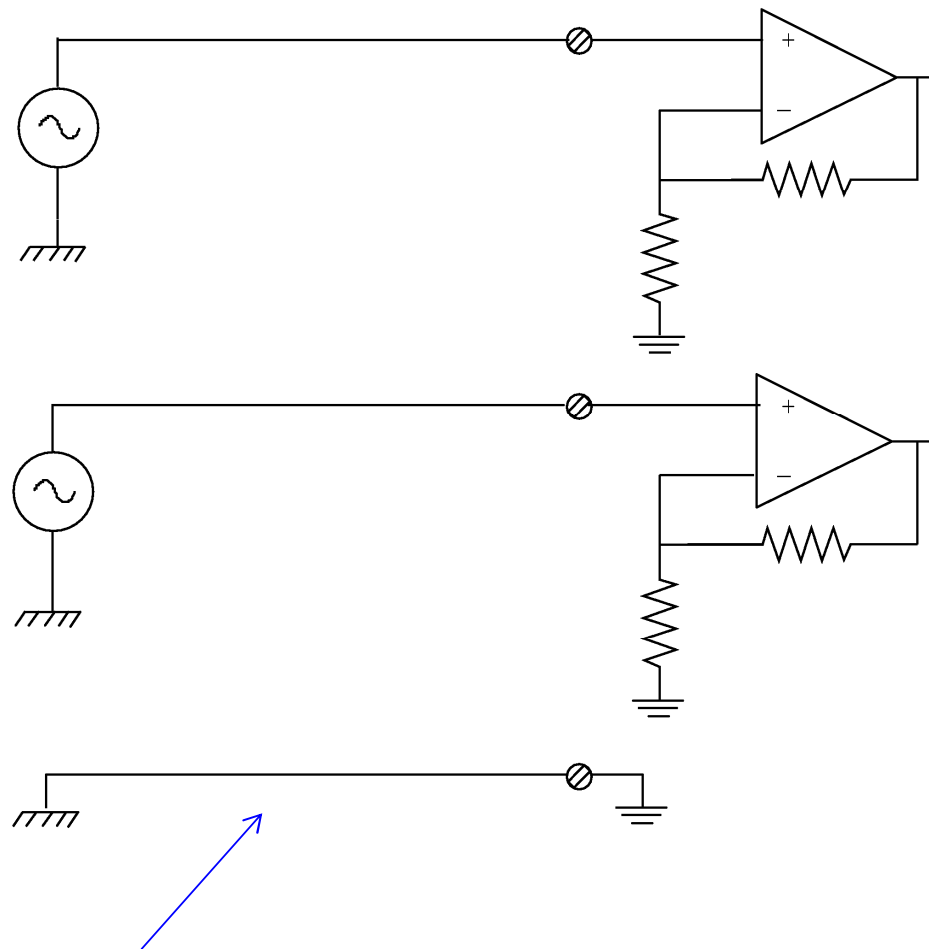
- **single-ended**

- solo il terminale “alto” del trasduttore è collegato ai circuiti di amplificazione e conversione
- i terminali “bassi” sono tutti collegati alla massa di campo, a sua volta collegata alla massa del sistema di acquisizione
- per n segnali da trasmettere occorrono quindi $n + 1$ fili

- **differenziale**

- sia il terminale alto sia quello basso del trasduttore sono connessi direttamente agli ingressi dei circuiti di amplificazione e conversione
- per n segnali da trasmettere occorrono quindi $2n$ fili
- si tratta quindi di una soluzione più costosa

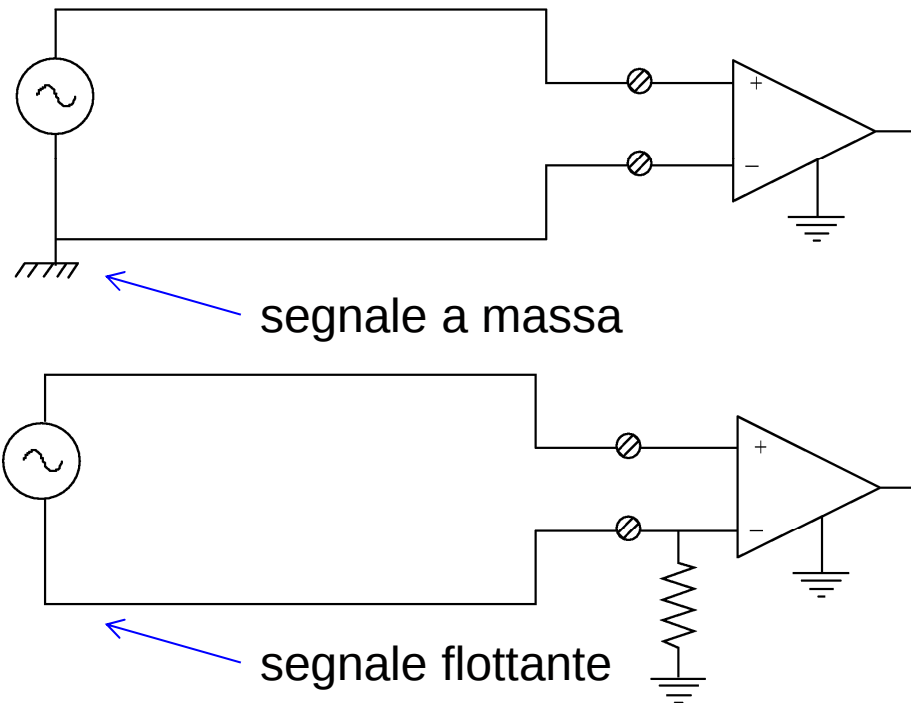
Collegamenti single-ended



anello di massa

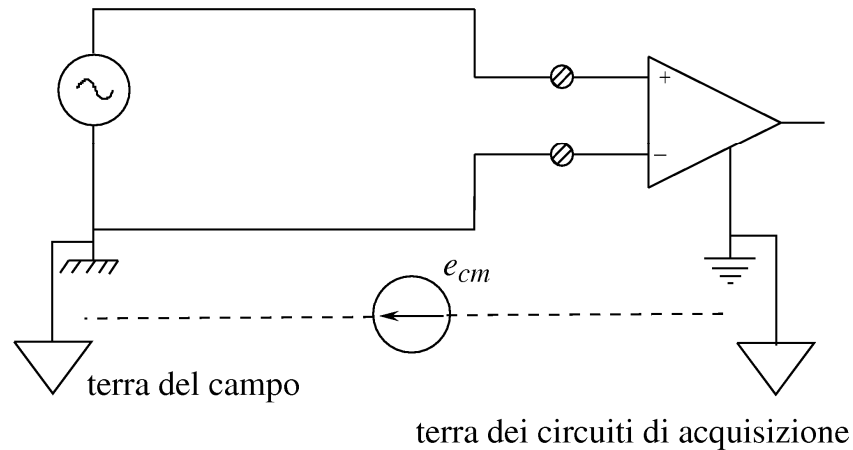
- Ritorno comune per tutti i segnali acquisiti
- Funzionamento fortemente dipendente dalla d.d.p. tra le masse
- Risente di accoppiamenti condotti sul ritorno comune
- Soluzione adeguata solo se la d.d.p. tra le masse è sufficientemente piccola rispetto al segnale da acquisire in modo da non determinare apprezzabile errore di misura

Collegamenti differenziali

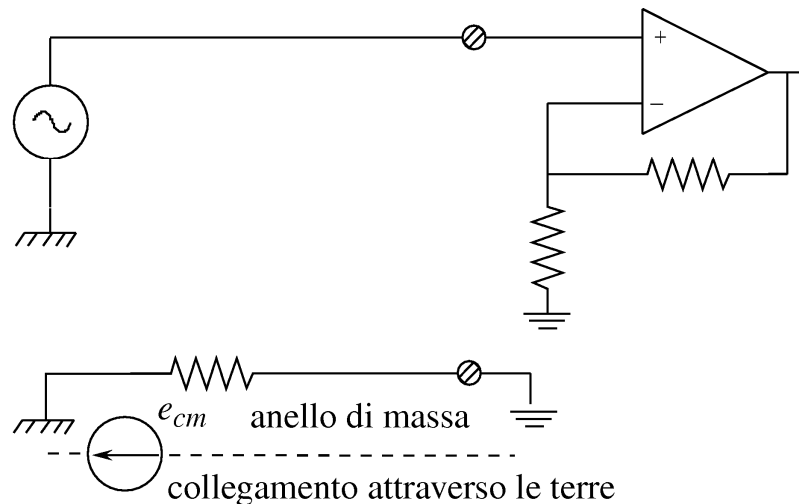


- Ciascun segnale viene trasmesso con due fili
- L'anello di massa viene eliminato
- Il segnale può essere a massa o flottante
- È necessario prevedere un percorso verso massa delle correnti di polarizzazione dell'amplificatore
- Se questo percorso non è praticabile si può ricorrere agli amplificatori di isolamento

Collegamenti differenziali e d.d.p delle masse

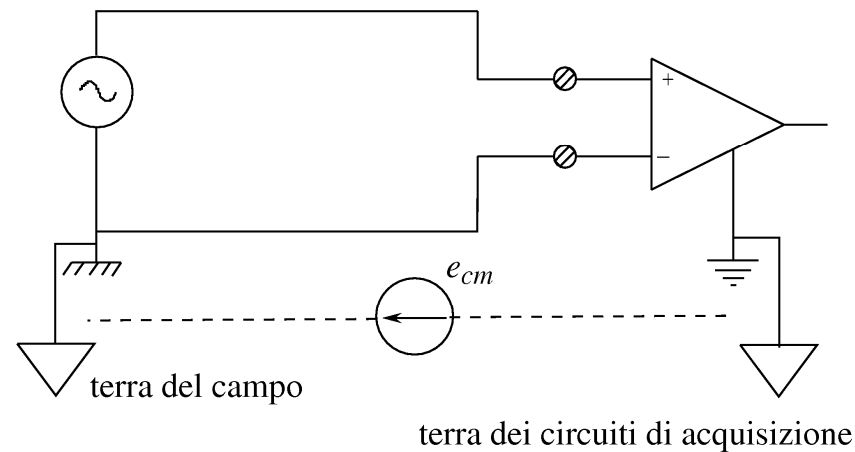


La differenza di potenziale tra le masse del campo e dei circuiti di acquisizione appare nei collegamenti differenziali come una **tensione di modo comune**



Nei collegamenti single-ended appare in serie al segnale

Collegamenti differenziali e d.d.p delle masse



Esempio di calcolo dell'errore di misura:

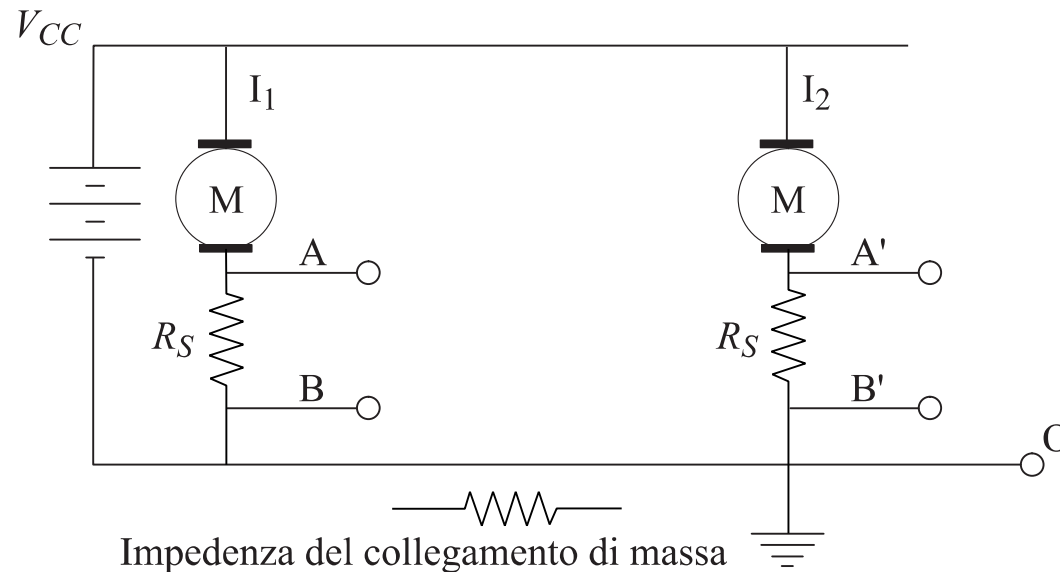
- $V_s = 0.02 \text{ V}$
- $e_{cm} = 4 \text{ V}$
- $\text{CMR} = 80 \text{ dB}$

$$V_u = G_d \left(0.02 + \frac{4}{10^4} \right)$$



errore del 2% (per ridurlo: scegliere amplificatore con CMR maggiore)

Collegamenti single-ended e differenziali: esempio



Si vogliono acquisire le misure delle correnti assorbite dai due motori rilevando le tensioni ai capi di due resistori.

- Misure differenziali: V_{AB} , $V_{A'B'}$
- Misure single ended: V_{AO} , $V_{A'O}$

La tensione V_{AO} dipende, oltre che dalla corrente I_1 , anche dalla d.d.p. causata dalla corrente I_2 sul collegamento di massa

Segnali standard

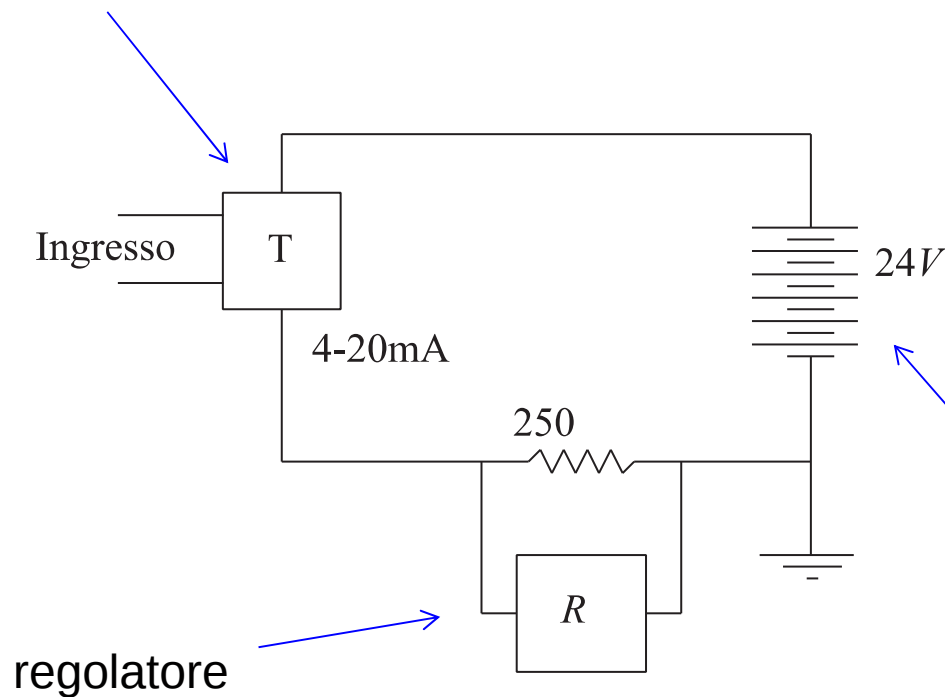


Trasmissione in corrente: le uscite dei trasmettitori sono segnali in corrente nel campo $4 \div 20 \text{ mA}$

zero vivo:

- distingue l'interruzione del circuito dal segnale nullo
- consente di alimentare il trasmettitore

trasmettitore



Il trasmettitore opera come un generatore di corrente e può trasmettere a grandi distanze (indicativamente $300 \div 1500 \text{ m}$)

alimentazione

regolatore

Segnali standard



Trasmissione in tensione: le uscite dei trasmettitori sono segnali in tensione nel campo $0 \div 5 \text{ V}$, $0 \div 10 \text{ V}$, $-10 \div 10 \text{ V}$

- Utilizzate in applicazioni di laboratorio e nelle macchine automatiche
- Le distanze di trasmissione si riducono: con segnali da $\pm 1 \text{ V}$ a $\pm 10 \text{ V}$ si hanno $15 \div 90 \text{ m}$, con segnali da $\pm 0.01 \text{ V}$ a $\pm 1 \text{ V}$ si hanno $1.5 \div 30 \text{ m}$

Oggi è in atto la tendenza verso la **trasmissione digitale** dei segnali (fieldbus, Ethernet)

Il condizionamento



Le più comuni **funzioni di un circuito di condizionamento** sono le seguenti:

- adattamento d'impedenza
- conversione corrente tensione (trasmissione in corrente $4 \div 20$ mA)
- amplificazione o attenuazione (“messa in scala”)
- isolamento galvanico
- filtraggio antialiasing (passivo / attivo)

L'elettronica di condizionamento può essere **collocata**:

- all'uscita del sensore
- all'ingresso del sistema di acquisizione (sulle schede di condizionamento)

Adattamento di impedenza

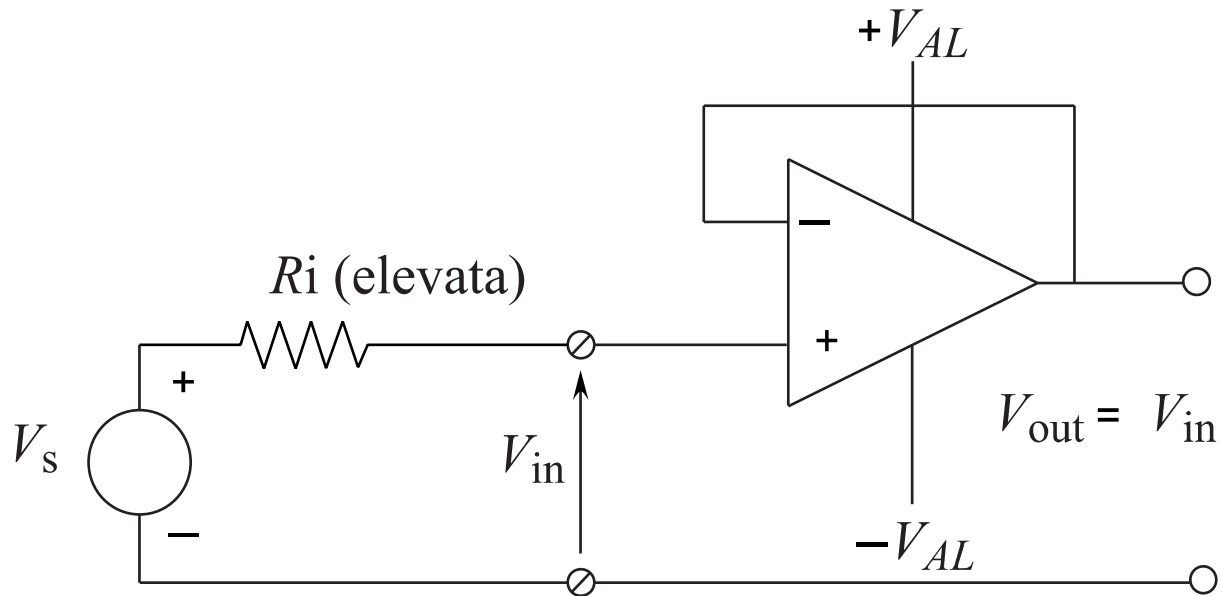


- Un trasduttore è generalmente modellabile come un generatore reale di tensione
- Se il circuito cui si interfaccia il trasduttore assorbe corrente, la misura è affetta da un errore, pari alla caduta di tensione sulla resistenza interna del generatore
- È quindi importante che il circuito di acquisizione presenti impedenza di ingresso elevata
- È anche importante che il primo stadio del circuito di acquisizione presenti impedenza di uscita bassa, in modo da fornire il segnale acquisito ai circuiti a valle indipendentemente dalla corrente che essi assorbono
- Queste funzionalità sono definite **adattamento di impedenza** e sono tipicamente realizzate con un amplificatore operazionale in configurazione da **inseguitore** (buffer)

Adattamento di impedenza



L'adattamento di impedenza si realizza con il seguente circuito:

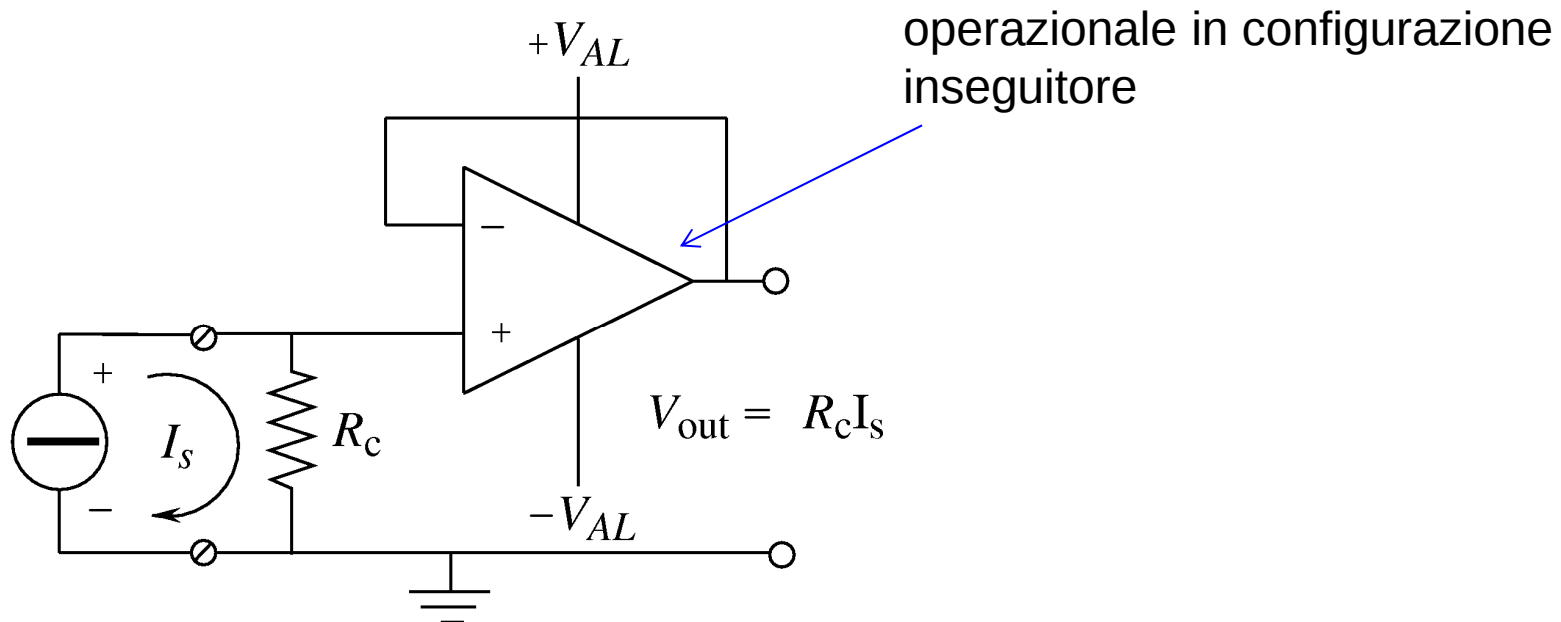


- Impedenza di ingresso $> 100 \text{ M}\Omega$
- Impedenza di uscita $\ll 100 \Omega$

Conversione di corrente in tensione



Per convertire una corrente in tensione generalmente le si fa percorrere un resistore di resistenza opportunamente scelta e si rileva la caduta di tensione ai capi del resistore



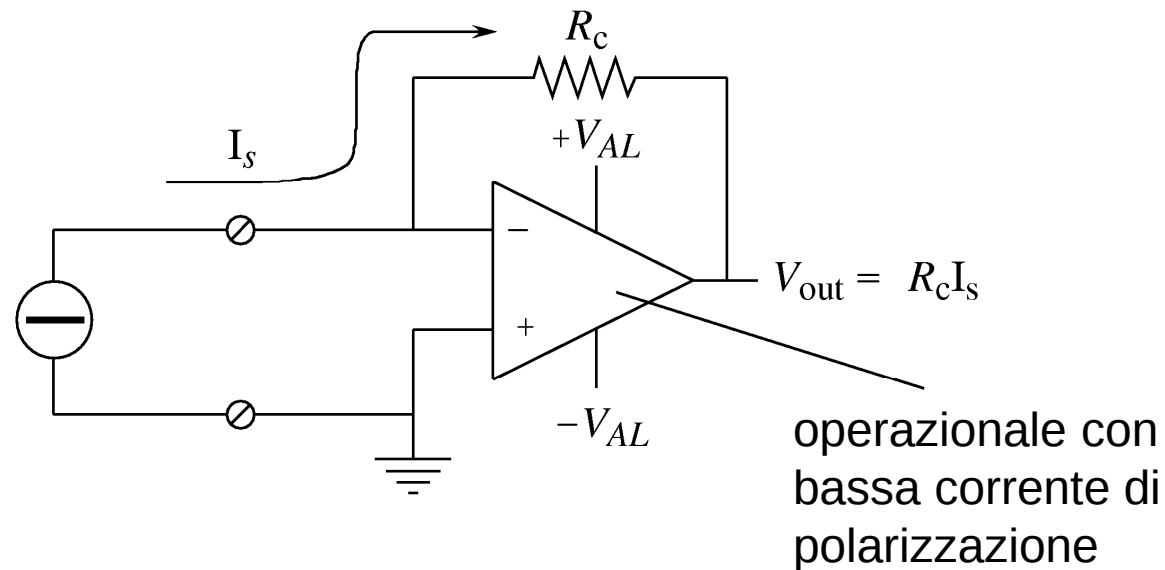
Questo circuito è adeguato per correnti di “alto livello” ($4 \div 20$ mA) per cui, con $R_c = 250 \Omega$, si ottiene $1 \div 5$ V.

Conversione di corrente in tensione



Per correnti di “basso livello” occorrerebbe un resistore R_c di resistenza troppo elevata (alcuni $M\Omega$).

È preferibile in questo caso il seguente circuito:

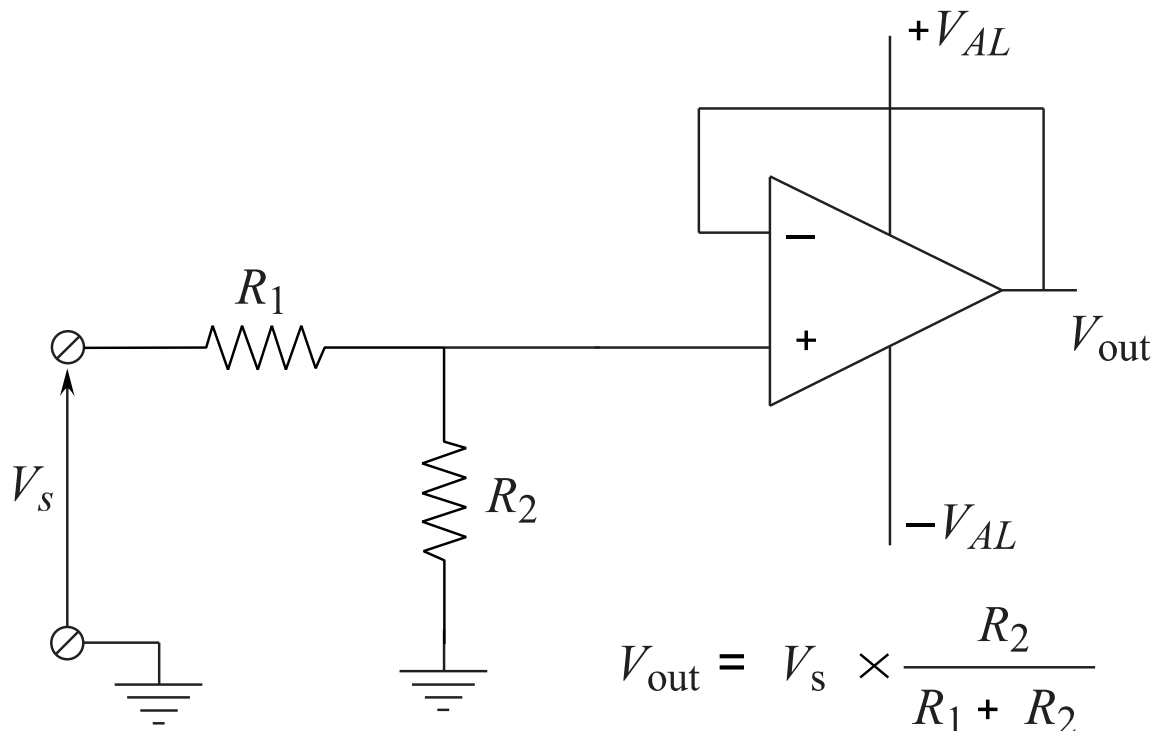


Messa in scala di segnali analogici



Per acquisire tensioni superiori a quelle accettate dal convertitore A/D è necessario ridurle (metterle in scala).

Per questo si può utilizzare un partitore di tensione:



Filtraggio

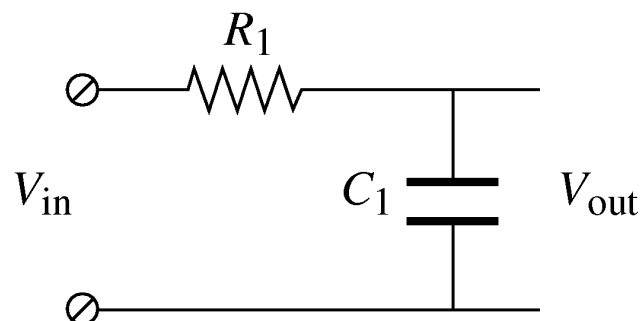


I filtri analogici attenuano le componenti del segnale a pulsazioni superiori a quella di Nyquist, per evitare il fenomeno dell'aliasing ([filtri antialiasing](#)).

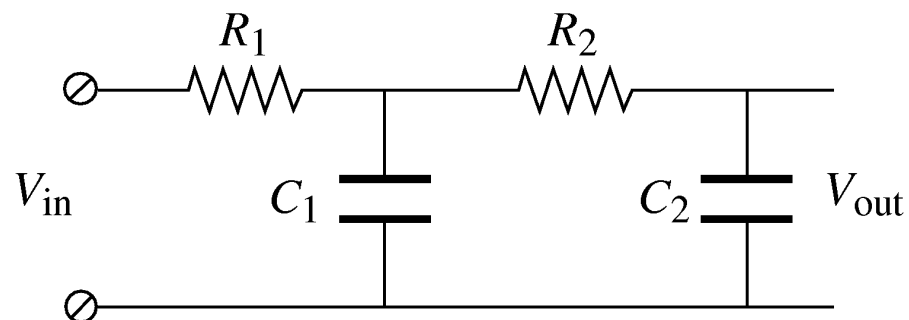
Il filtraggio può essere realizzato in due modalità:

- Filtraggio [passivo](#): si utilizzano resistori e condensatori (più raramente induttori). Non richiede alimentazione esterna.
- Filtraggio [attivo](#): si utilizzano, oltre a resistori e condensatori, elementi attivi quali amplificatori operazionali. I filtri attivi hanno caratteristiche migliori di quelli passivi, ma necessitano di alimentazione, sono più costosi e occupano più spazio.

Filtri passivi – single ended



Filtro del primo ordine



Filtro del secondo ordine

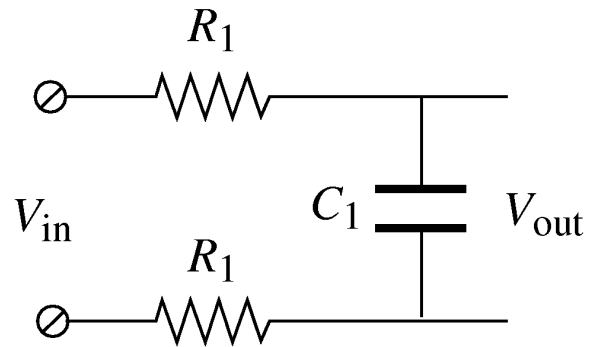
$$R_1 = R_2 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$C_1 = C_2 = 2.7 \text{ }\mu\text{F}$$

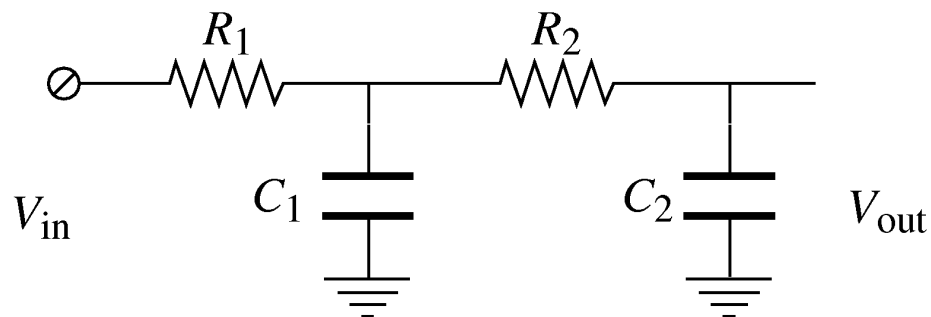


attenuazione:
6 dB a 1 Hz
52 dB a 60 Hz

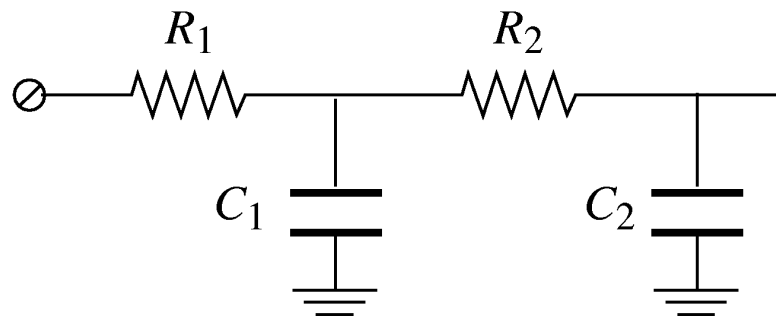
Filtri passivi – differenziali



Filtro del primo ordine



Filtro del secondo ordine



In genere:

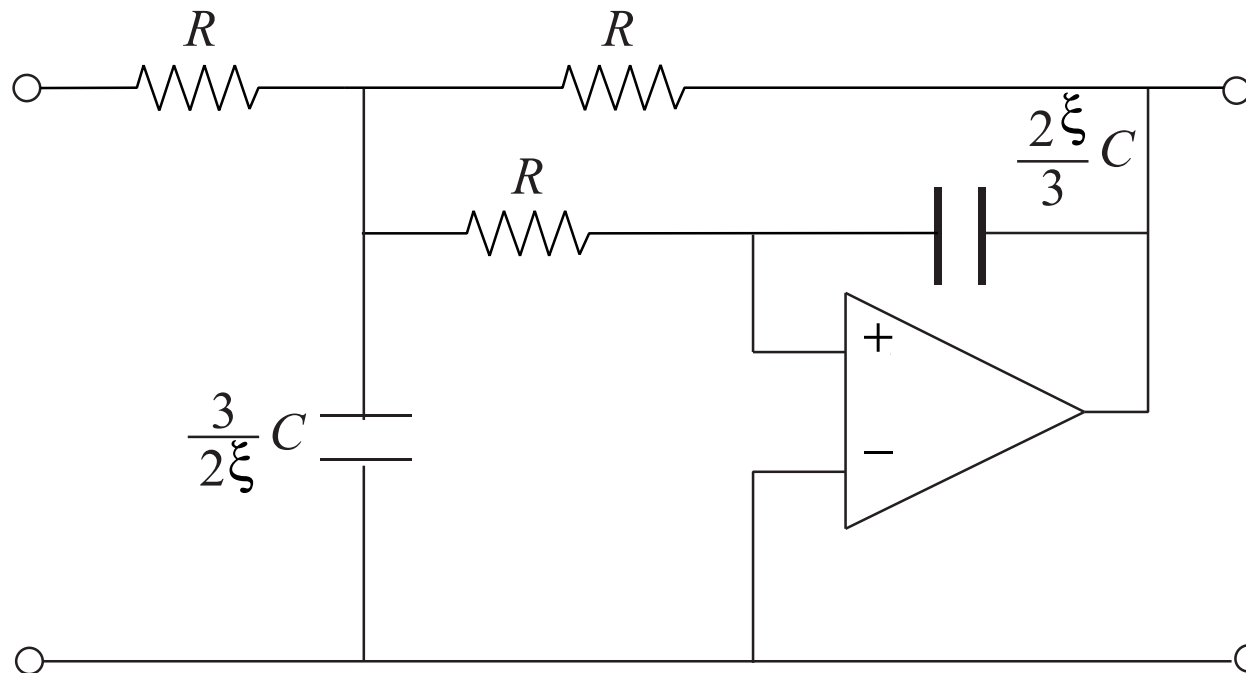
$$R_1 = R_2 = R, \quad 10 \text{ K}\Omega < R < 1 \text{ M}\Omega$$

$$C_1 = C_2 = C, \quad 1 \text{ pF} < C < 1 \text{ }\mu\text{F}$$

Filtri attivi



Esempio di filtro attivo del secondo ordine:



$$G_f(s) = \frac{\omega_f^2}{s^2 + 2\xi\omega_f s + \omega_f^2}, \quad \omega_f = \frac{1}{RC}$$

Conversione A/D



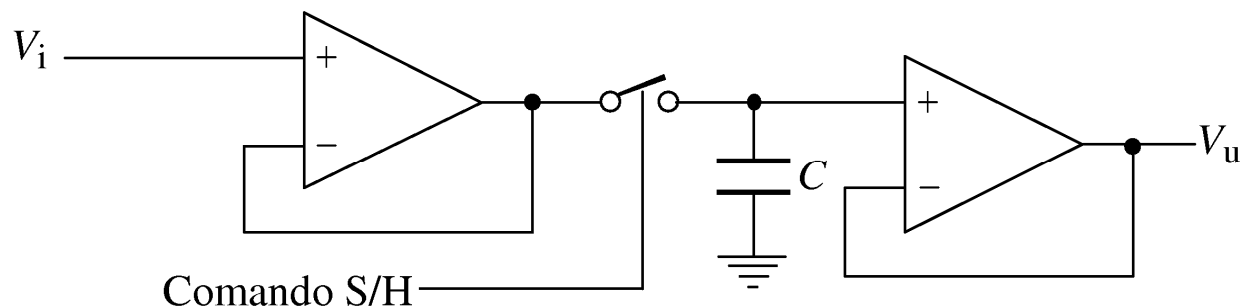
- Gli aspetti funzionali della conversione analogico/digitale sono già noti dalla teoria del controllo digitale.
- Di seguito vedremo alcuni aspetti operativi:
 - il circuito di sample and hold (tecnologia e utilizzo)
 - la scelta della risoluzione (numero di bit) del convertitore ADC (Analog to Digital Converter)
 - la tecnologia del convertitore ADC

Circuiti di sample and hold



Alcuni convertitori ADC necessitano che il segnale in ingresso rimanga costante nel corso della conversione.

A questo scopo si utilizzano circuiti di **sample-and-hold** (SH), che assumono il valore del segnale di ingresso all'istante di campionamento e lo conservano per il tempo necessario alla conversione.

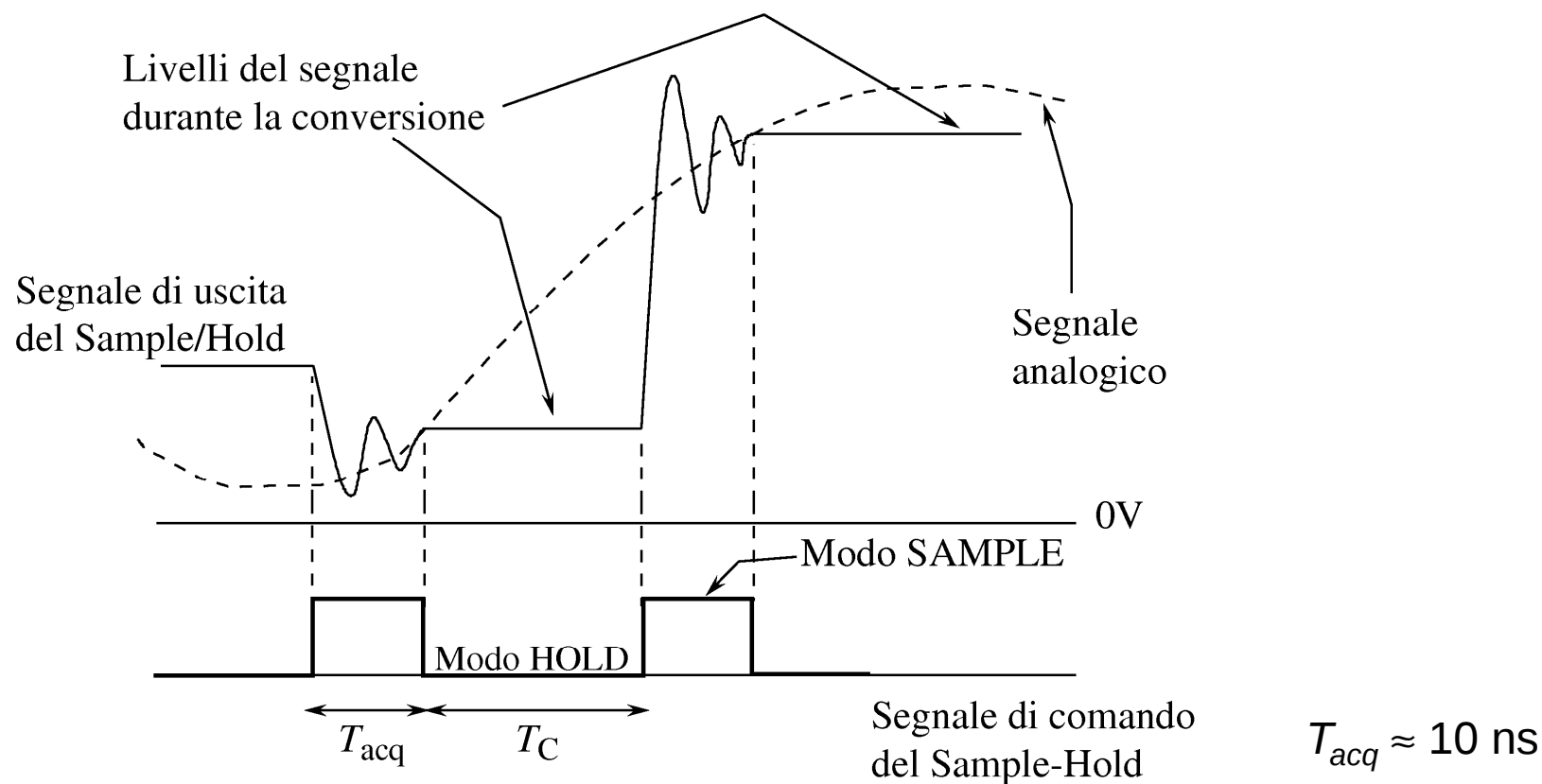


Quando l'interruttore si chiude, il condensatore si carica alla tensione V_i . Quando si apre, il condensatore mantiene la carica a lungo, a seguito dell'alta impedenza dell'operazionale

Circuiti di sample and hold

Il circuito di sample-and-hold opera in due fasi:

- modo **sample** (interruttore chiuso)
- modo **hold** (interruttore aperto)



Circuiti di sample and hold



La necessità di usare il circuito di sample-and-hold dipende da:

- tempo Δt_a impiegato dal convertitore a operare la conversione
- velocità di variazione del segnale
- accuratezza desiderata

Esempio:

$$V(t) = A \sin \omega t$$

segnale da convertire

$$\Delta V = \Delta t_a \frac{d}{dt} (A \sin \omega t) \Big|_{t=0} = \Delta t_a A \omega$$

massima variazione in un intervallo Δt_a

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{2A} = \frac{\Delta t_a \omega}{2} = \pi \Delta t_a f$$

errore di conversione massimo
(in rapporto ad ampiezza picco-picco)

$$\varepsilon = \frac{1}{2^n} \Rightarrow \pi \Delta t_a f = \frac{1}{2^n}$$

↑
errore di quantizzazione

Circuiti di sample and hold



A partire dalla relazione trovata:

$$\pi \Delta t_a f = \frac{1}{2^n}$$

consideriamo due casi in cui vengono dati o la frequenza del segnale o il tempo di acquisizione:

Caso 1:

$$n = 10, f = 1 \text{ KHz}$$



$$\Delta t_a = 311 \text{ ns} \quad (\text{molto piccolo!})$$

Caso 2:

$$n = 8, \Delta t_a = 150 \mu\text{s}$$



$$f = 8.29 \text{ Hz} \quad (\text{molto piccola!})$$

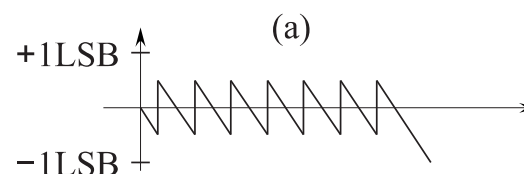
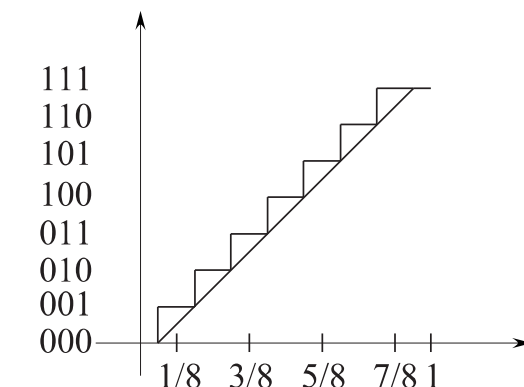
In tutti questi casi è opportuna la presenza di un circuito di sample and hold

Convertitori ADC

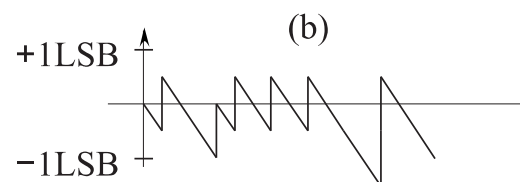
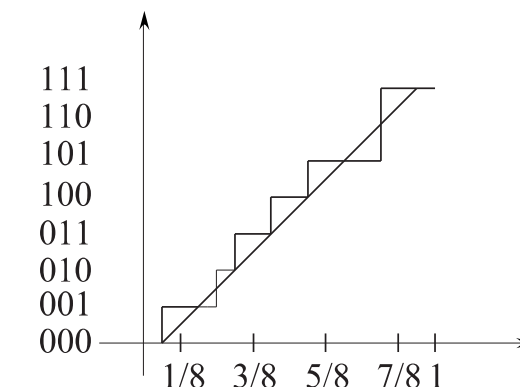
- Un convertitore analogico digitale (ADC) a n bit riceve in ingresso un segnale analogico e lo codifica in un **codice binario** a n bit.
- Ogni codice costituisce la frazione binaria che rappresenta il rapporto tra l'ampiezza del segnale di ingresso V_x e l'intera scala V_{fs} , arrotondato all'intero più vicino.
- Due ampiezze V_{x1} e V_{x2} tali per cui $|V_{x1} - V_{x2}| < \frac{V_{fs}}{2^n}$ danno luogo alla stessa uscita.

$\frac{V_{fs}}{2^n}$: errore di quantizzazione

$\frac{100}{2^n}$: risoluzione percentuale



ADC ideale



ADC reale

Convertitori ADC



Come scegliere il numero di bit del convertitore?

Definiti:

- V_{fs} : ampiezza del campo di misura
- R : risoluzione desiderata (rispetto al fondo scala)
- n : numero di bit dell'ADC

$$\frac{1}{2^n} < R$$



$$2^n \Big|_{dB} > \frac{1}{R} \Big|_{dB}$$

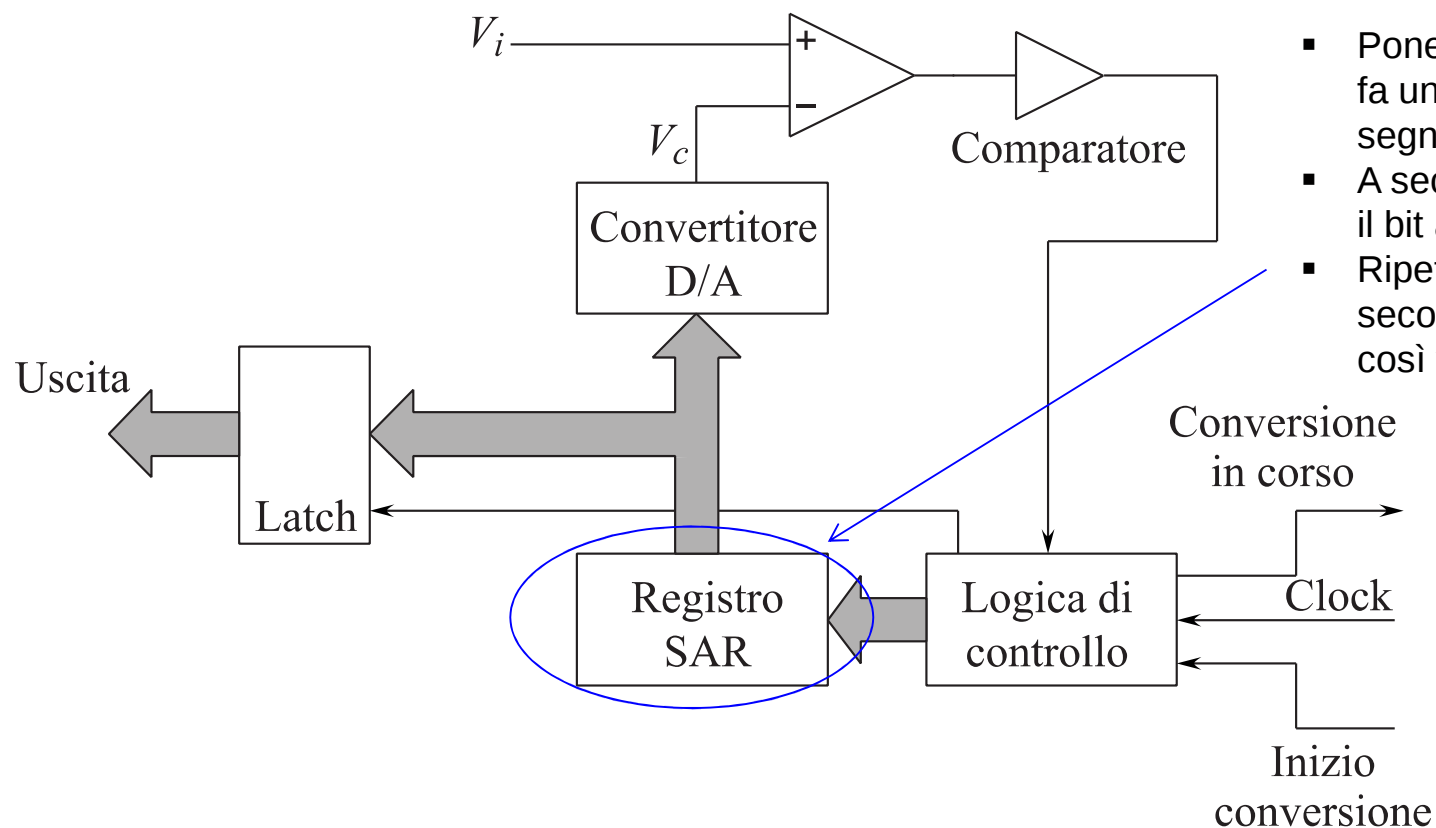


“range dinamico” del sensore

Se il range dinamico è 80 dB, occorrono 14 bit, essendo $2^{14} \approx 84$ dB

Convertitori ADC

Convertitore ad **approssimazioni successive**:



- Pone a 1 il bit più significativo e fa una prima comparazione (tra segnale e metà fondo scala)
- A seconda del risultato mantiene il bit a 1 o lo porta a 0
- Ripete il procedimento con il secondo bit più significativo e così via n volte

Altri convertitori sono a integrazione, flash, sigma-delta.

Uscite analogiche



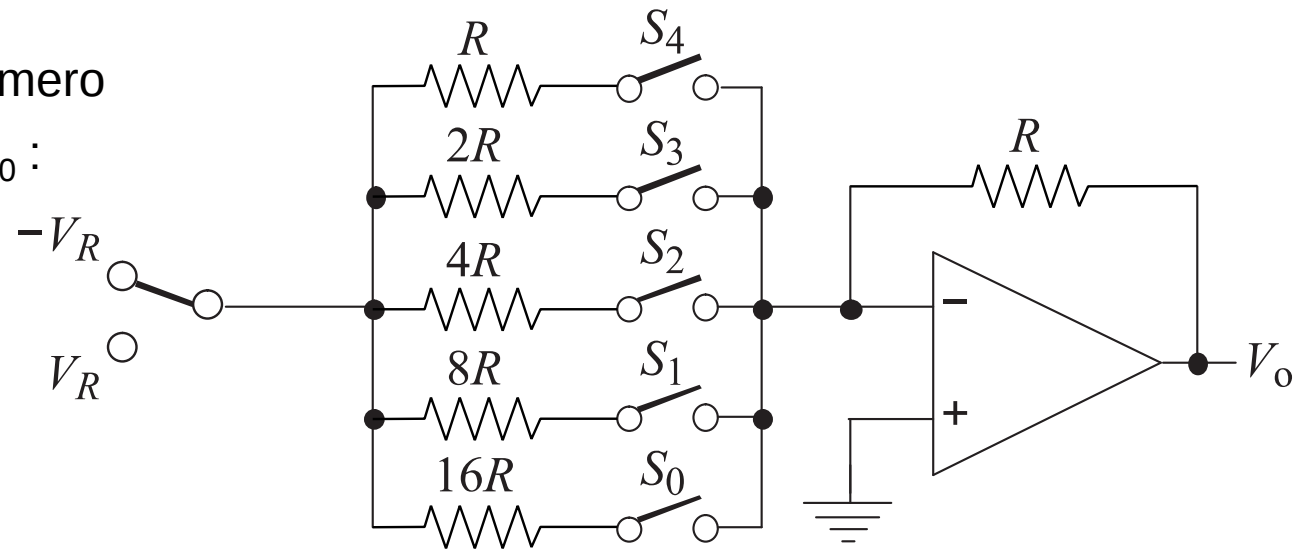
- Le uscite analogiche pilotano attuatori e altri dispositivi (indicatori, registratori)
- Tipicamente forniscono tensioni di alto livello ($\pm 1\text{ V}$, $\pm 10\text{ V}$) o segnali in corrente ($4 \div 20\text{ mA}$)
- Sono realizzate con convertitori DAC (Digital to Analog Converter) e circuiti di condizionamento

Convertitori DAC



Convertitore DAC a **resistenze pesate**:

Conversione del numero
binario $\pm S_4 S_3 S_2 S_1 S_0$:



$$\begin{aligned} V_0 &= \pm V_R \left(S_4 + \frac{S_3}{2} + \frac{S_2}{4} + \frac{S_1}{8} + \frac{S_0}{16} \right) = \\ &= \pm \frac{V_R}{16} (2^4 S_4 + 2^3 S_3 + 2^2 S_2 + 2 S_1 + S_0) \end{aligned}$$

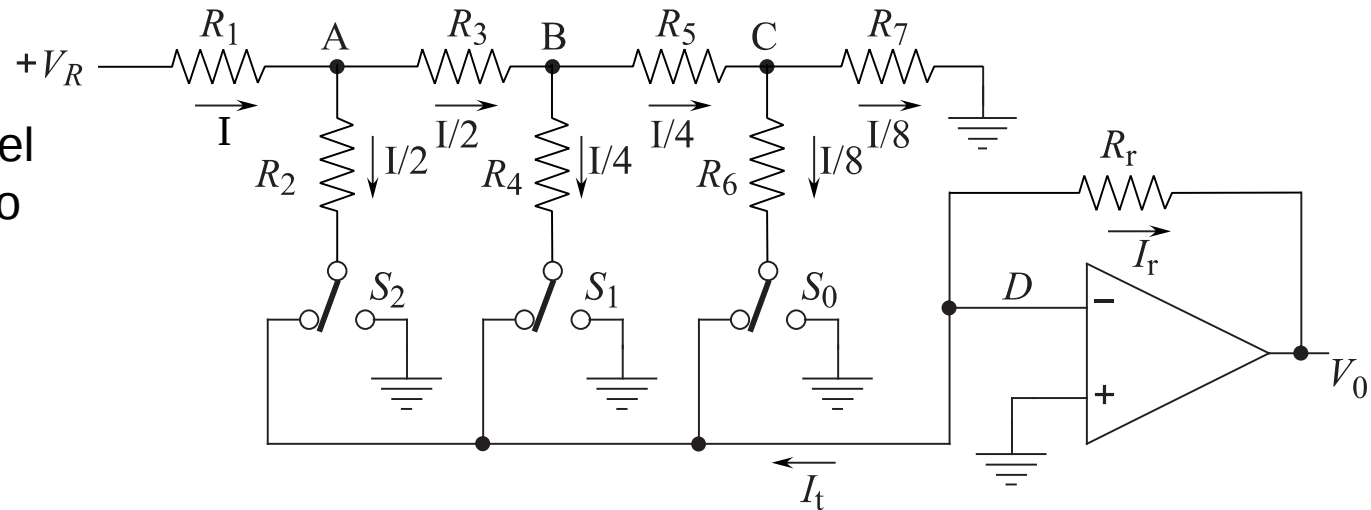
All'aumentare del numero di bit aumenta la dispersione dei valori delle resistenze, fino a diventare impraticabile.

Convertitori DAC



Convertitore DAC con rete a scala invertita:

Conversione del
numero binario
 $S_2S_1S_0$:



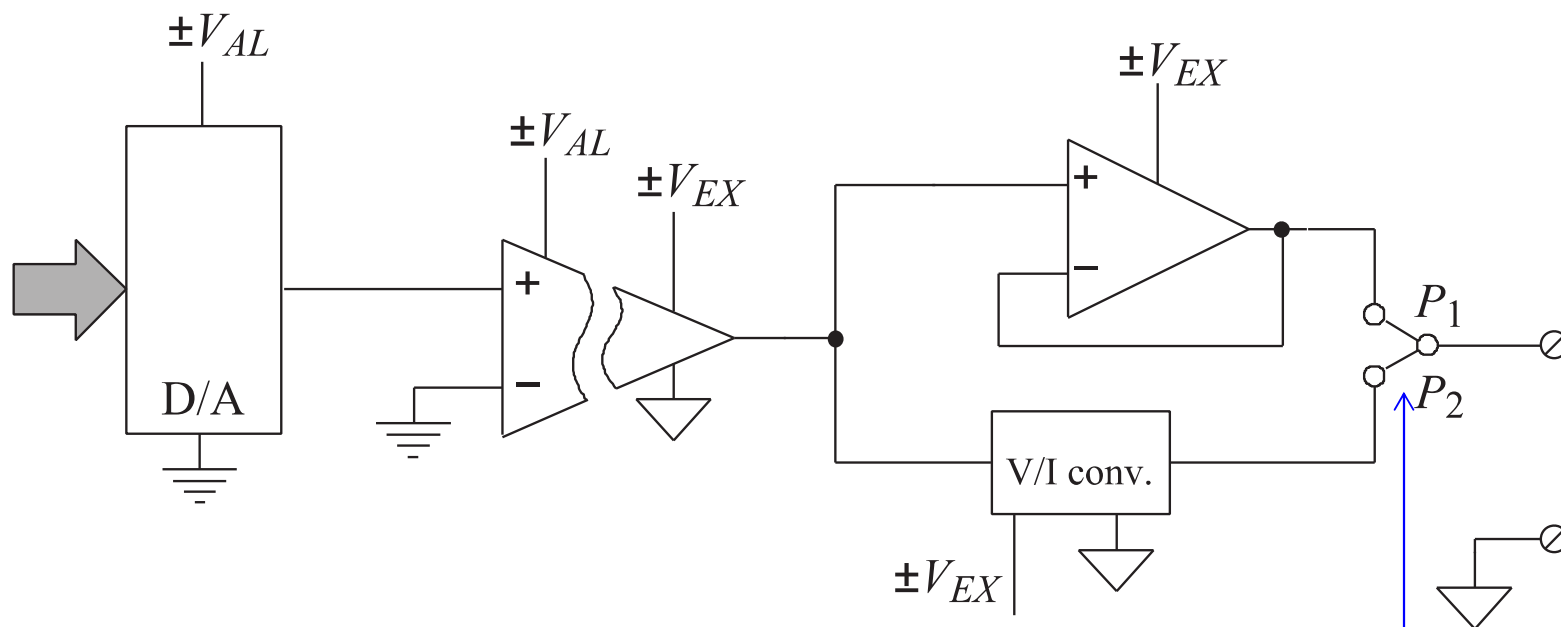
$$V_0 = R_r I_r = -\frac{V_R}{24} \frac{R_r}{R} (2^2 S_2 + 2S_1 + S_0) \quad \begin{aligned} R_1 &= R_2 = R_4 = R_6 = R_7 = 2R \\ R_3 &= R_5 = R \end{aligned}$$

Condizionamento di uscite analogiche



Come gli ingressi, anche le uscite analogiche devono spesso essere **isolate galvanicamente**.

Un esempio in cui si utilizza un amplificatore di isolamento è il seguente:



In base alla posizione di questo switch, l'uscita del circuito è in tensione o in corrente

Ingressi e uscite digitali

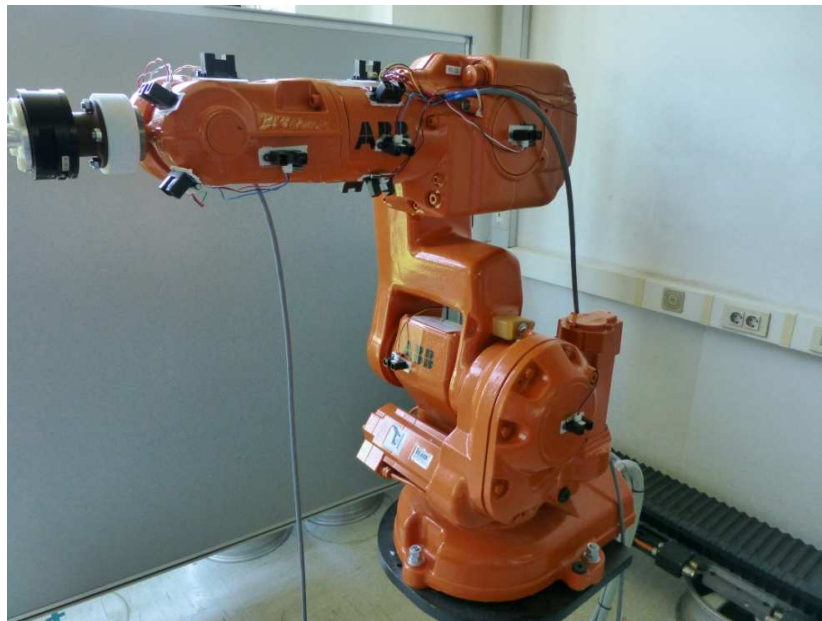


- Un ingresso digitale è un segnale il cui contenuto informativo è esprimibile con un solo bit (segnale **logico** o **booleano**).
- Tipicamente gli ingressi digitali provengono da un contatto (interruttore), meccanico o elettronico
- Il contatto può essere “pulito”, cioè non sottoposto a tensione, o alimentato
- I segnali digitali si distinguono in segnali “di stato” e “da contare”
- Il condizionamento degli ingressi digitali prevede:
 - adattamento del livello di tensione
 - alimentazione dei contatti puliti
 - isolamento galvanico
- Anche per le uscite digitali è spesso necessario prevedere l'isolamento galvanico (con relay elettromeccanico o fotoaccoppiatore)

Esempio di acquisizione di un sensore

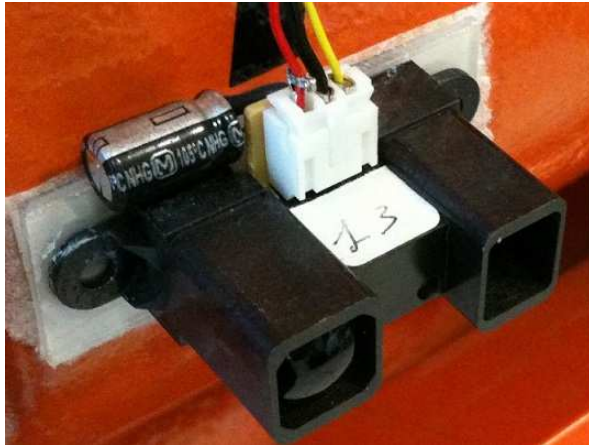


Per un'applicazione robotica in laboratorio si sono dovuti acquisire diversi **sensori di distanza a effetto LED**, per realizzare un dispositivo di misura distribuita da applicare a un braccio robotico



- Quali sono i componenti utilizzati?
- Quali sono le maggiori problematiche riscontrate?

Esempio di acquisizione di un sensore

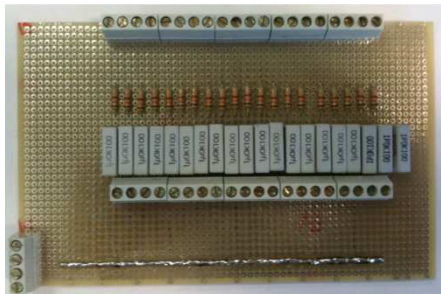


- Sensore di distanza LED modello SHARP GP2Y0A02YK
- Dispone di 3 pin:
 - segnale
 - alimentazione +
 - alimentazione – (ground)



- Normale alimentatore da banco
- Impostato su 5 V (come da indicazioni del datasheet del sensore)

Esempio di acquisizione di un sensore



- Scheda “millefori” con filtri analogici sui segnali dei sensori



- Cavo schermato
- Morsetti con alloggiamento schermato



- Scheda di I/O NI PCI-6071E
- input range: tra ± 0.05 V e ± 10 V
- output range: ± 10 V
- frequenza di campionamento massima: 1.25 MHz
- 64 canali a 12 bit per ingressi analogici
- 2 canali a 12 bit per uscite analogiche
- 8 canali digitali di ingresso/uscita

Esempio di acquisizione di un sensore

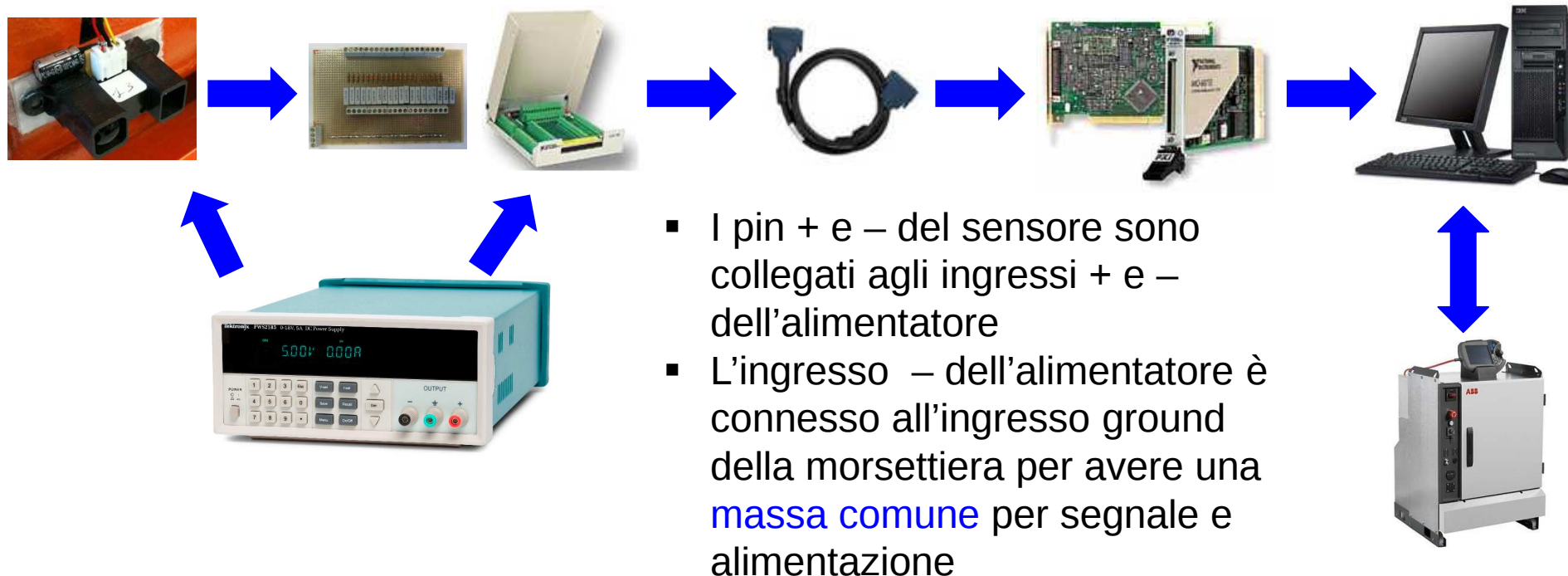


- PC desktop in cui è alloggiata la scheda di acquisizione
- Il PC opera con sistema operativo Linux con estensione real time (Xenomai)
- Per interfacciare la scheda al sistema operativo occorre utilizzare appositi driver (Analogy)



- Controllore robotico
- Si interfaccia al PC esterno mediante un collegamento Ethernet
- La connessione consente di operare in tempo reale a una frequenza di 250 Hz, elaborando sensori esterni e modificando di conseguenza i riferimenti di posizione del controllo del moto del robot

Esempio di acquisizione di un sensore



- Il pin di segnale del sensore è connesso a uno degli ingressi analogici della morsettiera
- Il segnale viene **filtrato in analogico** (filtro passivo RC) a 120 Hz per ripulirlo da rumore di alta frequenza. Si adotta anche un filtraggio sull'alimentazione.
- La frequenza di campionamento è di 250 Hz
- Il segnale viene quindi filtrato in digitale ed elaborato in un algoritmo di controllo