

Corso di

Misure per l'Automazione e la Produzione Industriale

(Studenti Ingegneria della Produzione Industriale III anno NO)

Sistemi Automatici di Misura



*Gruppo Misure Elettriche ed
Elettroniche*

Facoltà di Ingegneria, DAEIMI.

Università degli Studi di Cassino

Marco Laracca

m.laracca@unicas.it

INTRODUZIONE

- ✓ Negli ultimi anni si è avuta una grossa diffusione di dispositivi elettronici di notevoli prestazioni con cui ognuno interagisce nella vita di tutti i giorni.
- ✓ Nel mondo della strumentazione elettronica di misura esistono oggi strumenti capaci di effettuare misure anche complesse in tempi sempre minori, di accumulare quantità di informazioni sempre crescenti, e di trasmettere in qualsiasi posto del mondo e sempre più sicuramente e velocemente le informazioni immagazzinate ed elaborate.
- ✓ In questo ambito la presenza di un operatore umano (misure manali) rappresenta un notevole costo sia temporale che economico.
- ✓ Grossa ricerca nello sviluppo di sistemi in grado di sostituirsi all'operatore per svolgere compiti di misura complessi dal punto di vista esecutivo (algoritmi di misura complicati) e/o ripetitivi o maggiormente affidabili (metrologia legale)

I Sistemi Automatici di Misura

Definizione: Un sistema automatico di misura è un apparato che consente di eseguire una procedura di misura complessa senza l'intervento di un operatore umano.

Si parla quindi di **sistemi automatici di misura** quando la presenza di una unità di controllo consente di sollevare l'operatore da una o più delle attività a lui normalmente demandate.

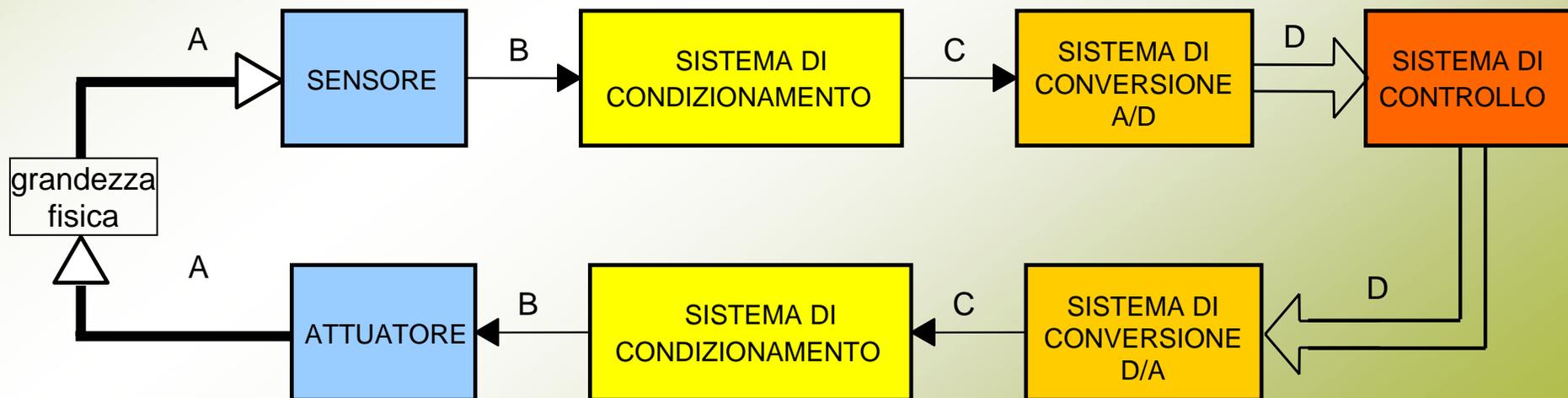
I sistemi automatici di misura trovano il loro impiego nelle più svariate applicazioni, contribuendo in maniera notevole sia alla semplificazione dei processi di misura sia all'incremento dell'affidabilità e della precisione del risultato di misura stesso.

SISTEMA AUTOMATICO PER LA MISURA DI UN'UNICA GRANDEZZA FISICA

SISTEMA A CATENA APERTA



SISTEMA A CATENA CHIUSA

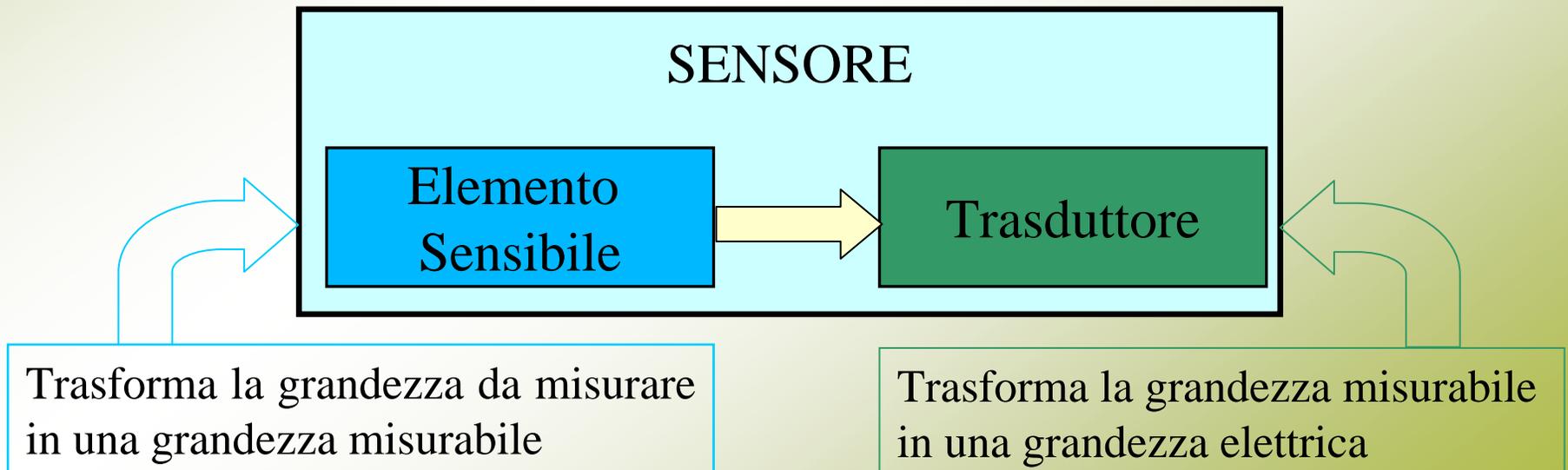


ARCHITETTURE DI SISTEMI AUTOMATICI DI MISURA.

Parti costituenti un generico sistema automatico di misura

SENSORE

Funzione: provvede a estrarre l'informazione d'interesse dalla grandezza fisica a cui è collegato ed a trasferirla, sotto forma di segnale (di definite caratteristiche), al sistema successivo;



Sensori e Trasduttori

Il sensore è il primo elemento della catena di misura.

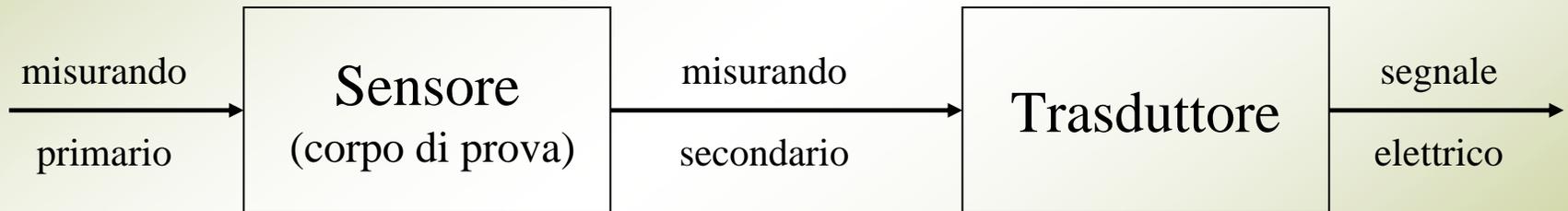
Ha il compito di convertire la grandezza fisica da misurare (**misurando**) in un'altra più facilmente trattabile.

Il trasduttore è un dispositivo sensibile che fornisce un segnale elettrico misurabile in risposta ad uno specifico misurando.

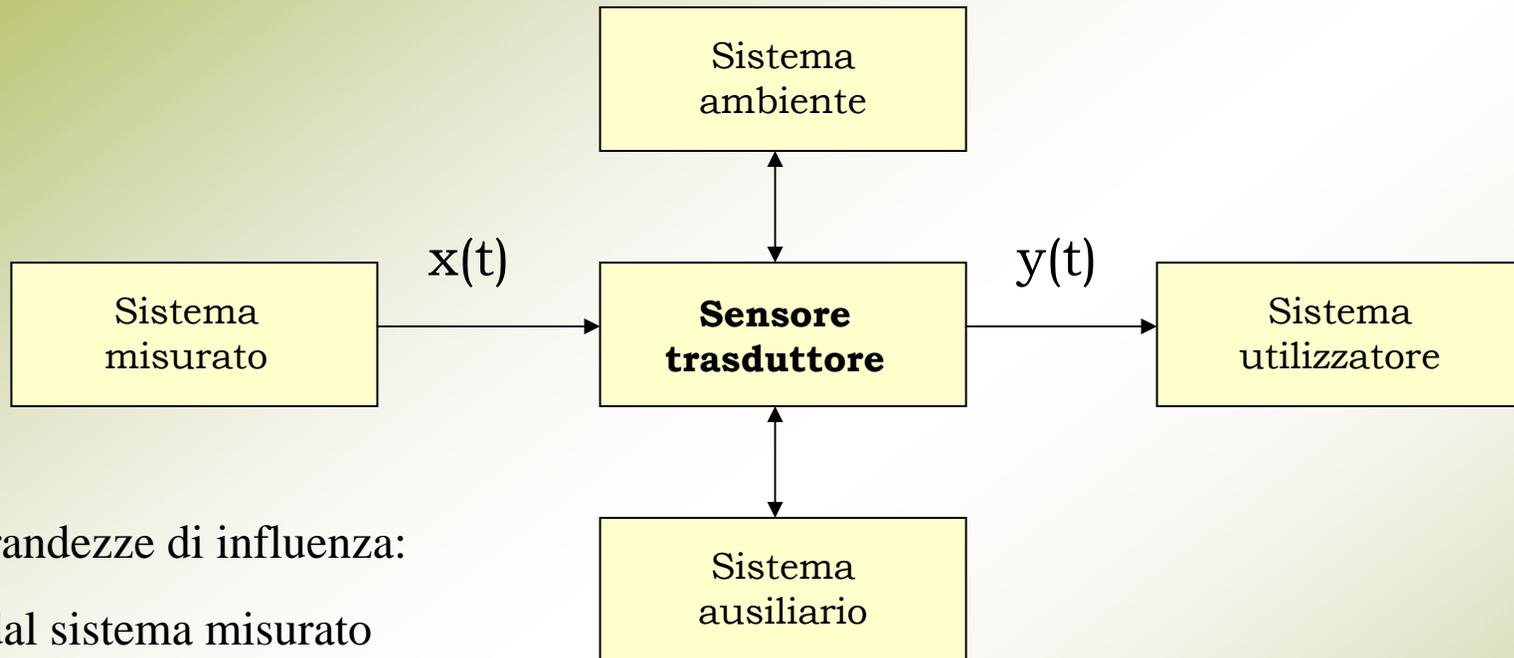
Un trasduttore è un sensore ma un sensore non è necessariamente un trasduttore

Sensori e Trasduttori

Se il sensore non è un trasduttore può essere chiamato *corpo di prova* e richiedere in cascata un trasduttore



Le interazioni nei sensori



Grandezze di influenza:

- dal sistema misurato
- dal sistema utilizzatore
- dal sistema ausiliario
- dall' ambiente

Il Tempo

Trasduttori attivi e passivi

Un trasduttore può essere attivo o passivo:

- **Attivo** se l'effetto fisico su cui è basato assicura la trasformazione in energia elettrica dell'energia propria del misurando (termica, meccanica, d'irraggiamento, ...).

Esempi: Termoelettrico (termocoppia), Piroelettrico (cristalli la cui polarizzazione dipende dalla temperatura), ...

- **Passivo** se l'effetto del misurando si traduce in una variazione d'impedenza dell'elemento sensibile.

Esempi: estensimetri, magnetici, ...

Classificazione dei trasduttori

- Attivi / passivi
- In base alla grandezza misurata: sensori di temperatura, umidità, illuminamento, velocità, ...
- In base alla grandezza che forniscono in uscita: trasduttori resistivi, induttivi, capacitivi, in tensione, in corrente, ...
- Analogici / digitali

Caratteristiche di un trasduttore

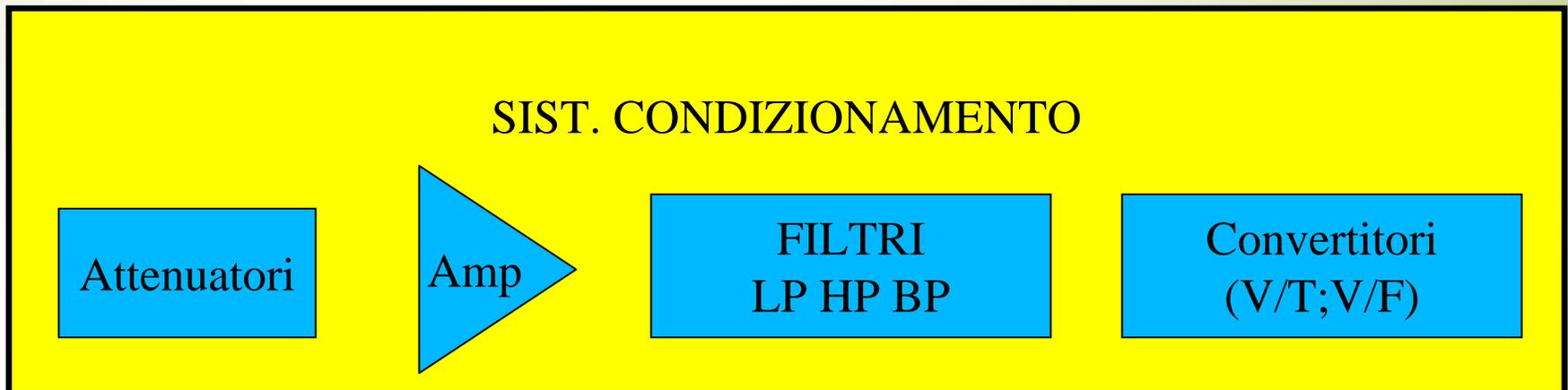
- **Di progetto** (specificano come il trasduttore è o dovrebbe essere)
- **Prestazioni** (caratteristiche metrologiche)
- **Affidabilità** (caratteristiche ambientali e d'uso che influenzano la vita utile del trasduttore).

ARCHITETTURE DI SISTEMI AUTOMATICI DI MISURA.

Parti costituenti un generico sistema automatico di misura



Funzione: provvede a modificare le caratteristiche dei segnali elettrici provenienti dal sensore in modo che siano ottimizzate per l'utilizzo nei sistemi successivi



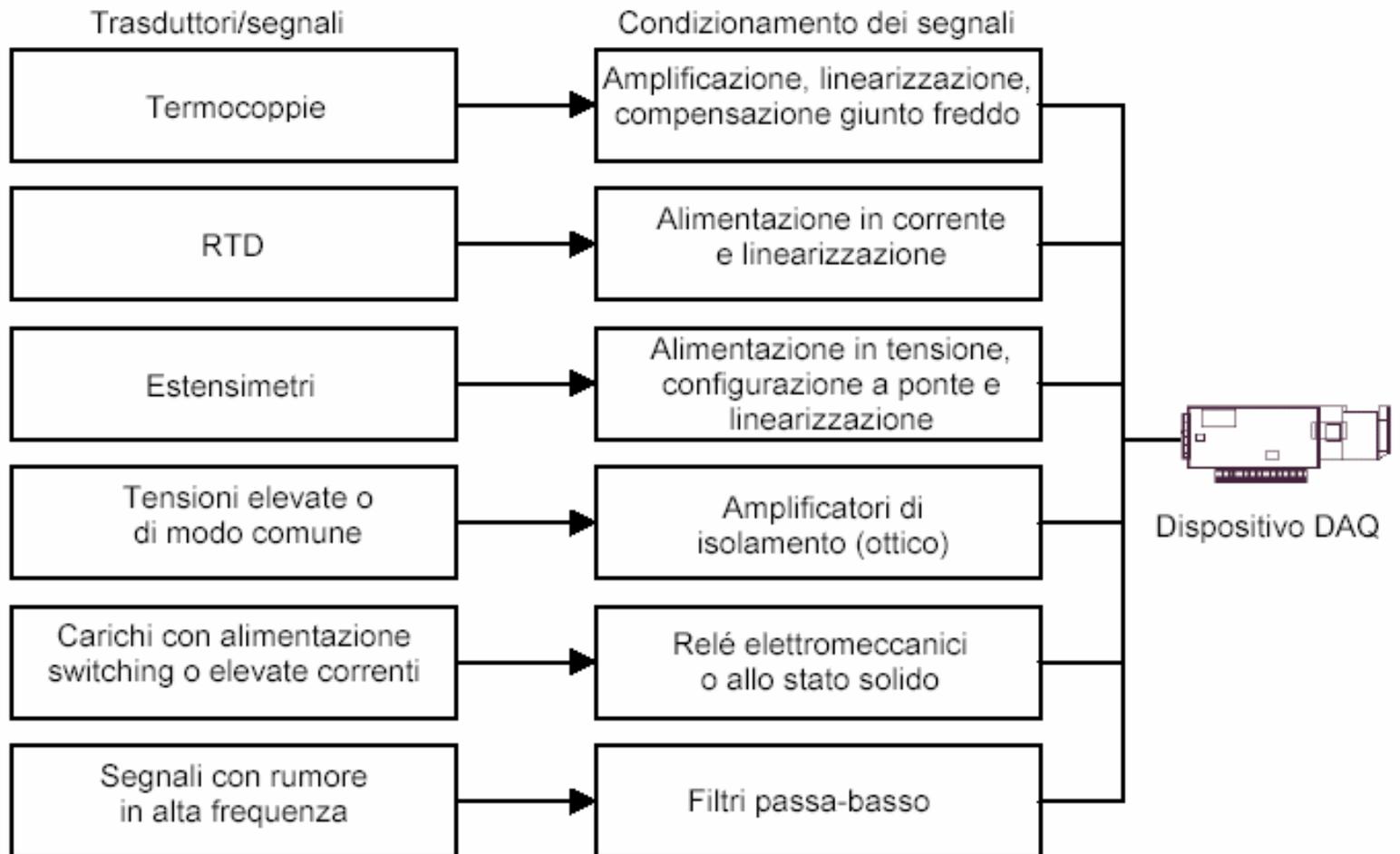
Circuiti di condizionamento

Un trasduttore è completato dal **circuito di condizionamento**.

Trasduttore passivo: il circuito di condizionamento è indispensabile per la generazione del segnale elettrico (*montaggio*).

Trasduttore attivo: il circuito di condizionamento ha il compito di adattare i parametri dell'energia elettrica, generata dal trasduttore, alle caratteristiche d'ingresso del sistema di misura (*condizionamento del segnale*).

Tipi di condizionamento

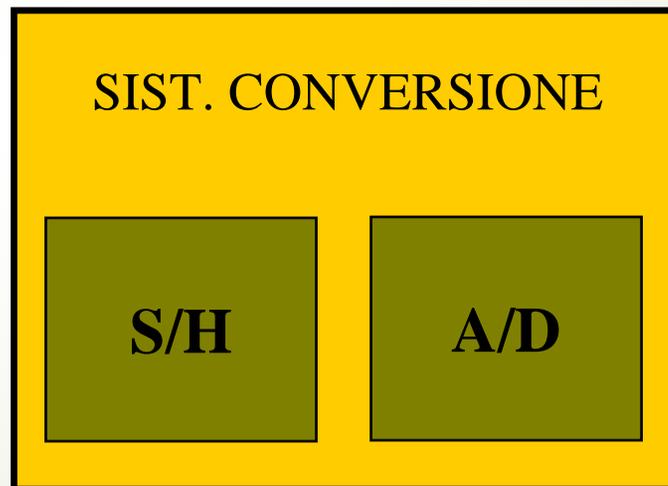


ARCHITETTURE DI SISTEMI AUTOMATICI DI MISURA.

Parti costituenti un generico sistema automatico di misura

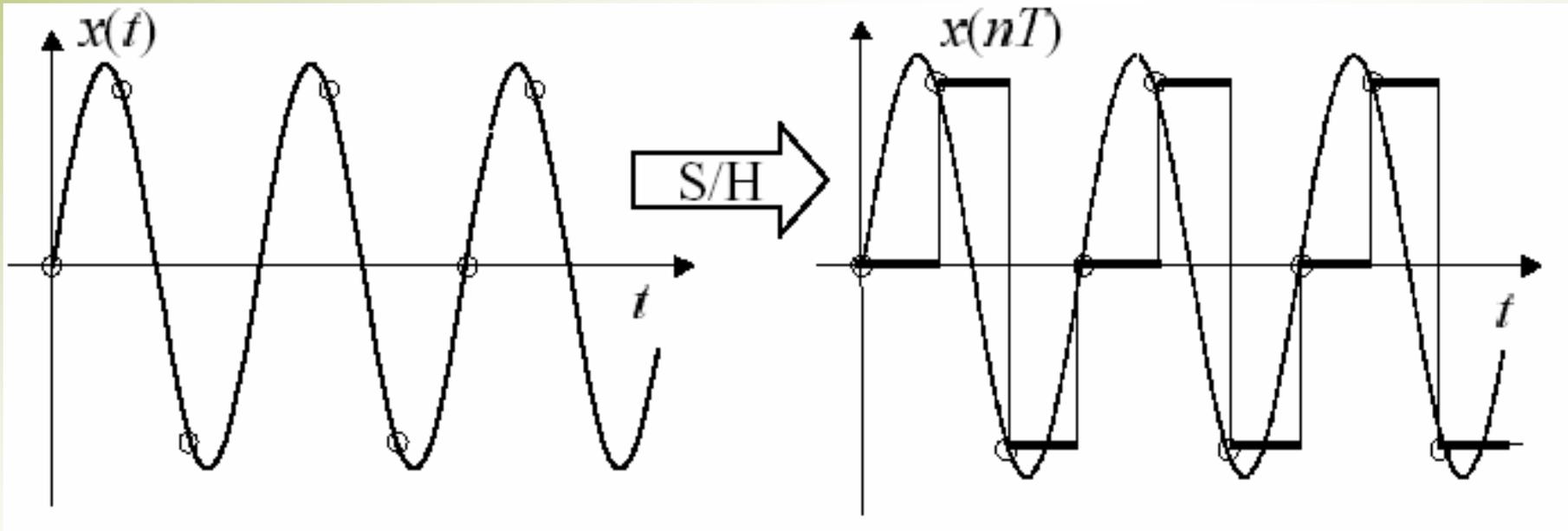


Funzione: provvede a trasformare la natura dell'informazione da analogica a numerica, in modo che possa essere opportunamente elaborata.



I Sample and Hold

S/H: trasforma il segnale tempo-continuo analogico di ingresso in un segnale tempo-continuo analogico “a tratti”



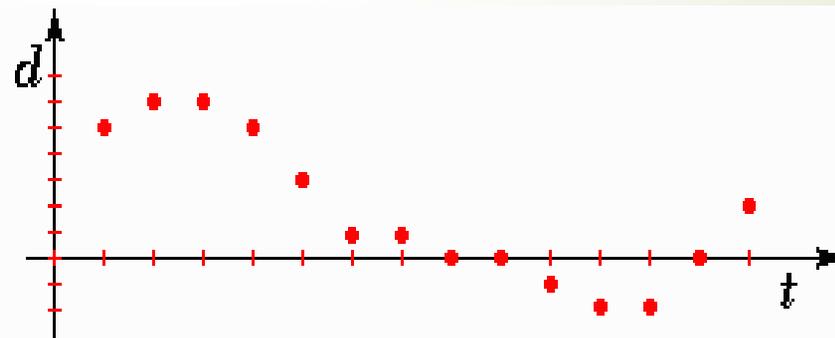
Motivazioni dell'impiego di un S/H: un circuito di conversione analogico-digitale “vede” un segnale costante durante l'intervallo di conversione $[nT, nT+T]$

La conversione A/D

Segnali analogici

Un segnale analogico può essere rappresentato mediante una funzione del tempo che gode delle seguenti caratteristiche:

- 1) la funzione è definita per ogni valore del tempo (è cioè continua nel dominio)
- 2) la funzione è continua.

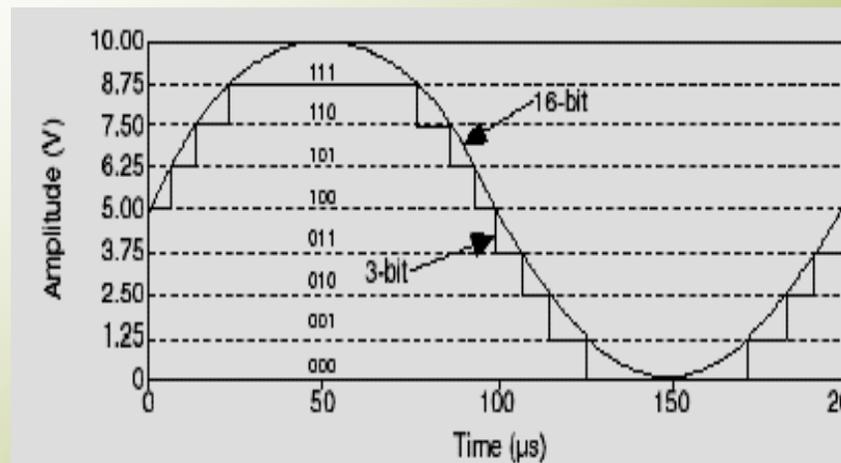


Segnali digitali

A differenza del segnale analogico quello digitale è rappresentato da una funzione "tempo discreta" e "quantizzata".

Tale funzione risulta pertanto:

- 1) definita solamente in un insieme numerabile di istanti "equispaziati"
- 2) dotata di un codominio costituito da un insieme discreto di valori.



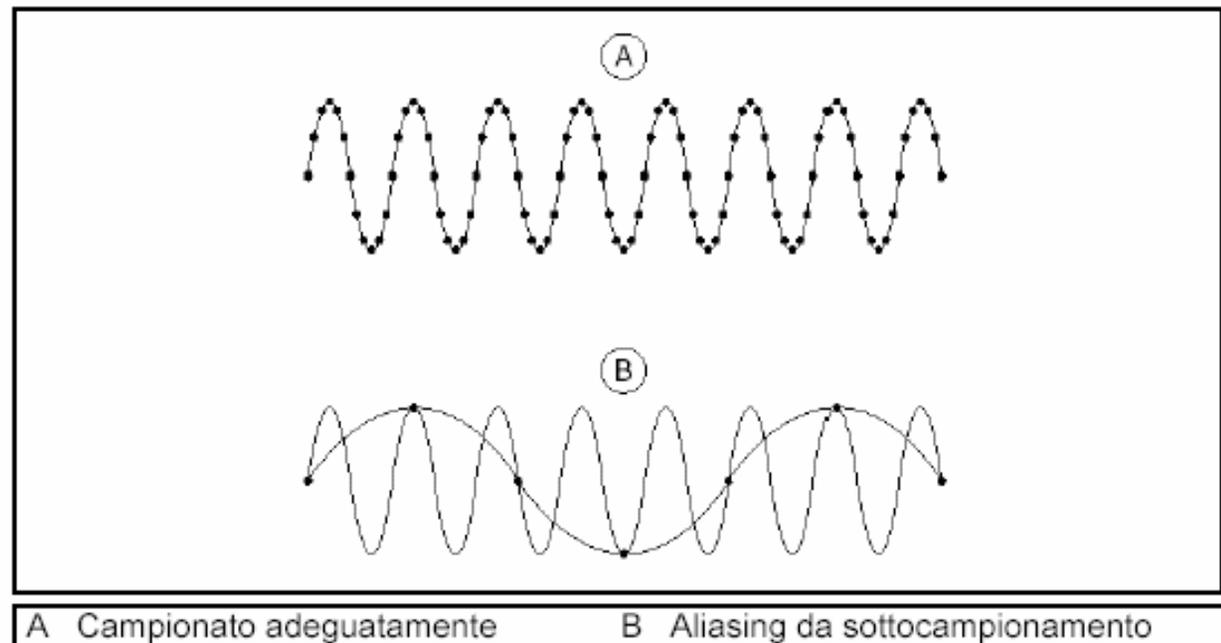
La conversione A/D

Uno dei parametri più importanti di un sistema di conversione A/D è la velocità a cui il dispositivo ADC campiona un segnale in arrivo.

La frequenza di campionamento determina ogni quanto ha luogo una conversione analogico-digitale (A/D). Un'elevata frequenza di campionamento acquisisce più punti in un dato intervallo di tempo e può fornire una rappresentazione migliore del segnale originale rispetto ad una bassa frequenza di campionamento.

Campionare troppo lentamente può causare una rappresentazione incompleta del segnale analogico.

L'effetto di un sottocampionamento è che il segnale appare come se avesse una frequenza differente da quella effettiva. Tale fenomeno prende il nome di **ALIASING**



La conversione A/D

Pregi del segnale digitale

I segnali digitali hanno una maggiore reiezione ai disturbi rispetto ai segnali analogici.

I segnali analogici sono costituiti da funzioni continue pertanto possono assumere infiniti valori: il rumore che inevitabilmente si sovrappone al segnale ha pertanto la possibilità di determinare una variazione del valore del segnale composto (segnale utile + rumore) qualunque sia la ampiezza e la potenza del rumore. I segnali digitali, invece, presentano solamente un numero finito di valori separati da una fascia "proibita". Se il rumore non ha ampiezza (e potenza) tale da determinare un superamento della fascia proibita che separa due valori contigui non si riscontra alcuna alterazione del valore.

I segnali digitali possono essere elaborati più facilmente dei segnali analogici

Per elaborare matematicamente i segnali analogici si deve ricorrere agli amplificatori operazionali mediante i quale è possibile realizzare (in modo a volte molto approssimato) semplici operazioni (somma, sottrazione, logaritmo ed esponenziale, integrale e derivata rispetto al tempo, ecc.). La realizzazione di funzioni più "elaborate" può richiedere una complessità circuitale eccessiva e tale da introdurre una incertezza non accettabile per gli scopi prefissati.

La conversione A/D

Pregi del segnale digitale

I segnali numerici possono essere elaborati mediante microprocessori

i quali possono permettere la esecuzione di operazioni ed elaborazioni senza richiedere appesantimenti dell'hardware circuitale. Anche in questo caso, però, le operazioni non sono esenti da incertezza: i troncamenti e le approssimazioni introdotte dalla codifica utilizzata dal microprocessore per il trattamento dei dati sono infatti fonte di incertezza, ma si può ricorrere a codifiche (intero, reale a singola o doppia precisione, ecc.) tali da ridurre le incertezze introdotte in modo da renderle compatibili con gli scopi prefissati.

I segnali digitali possono essere registrati in maniera più fedele e stabile dei segnali analogici

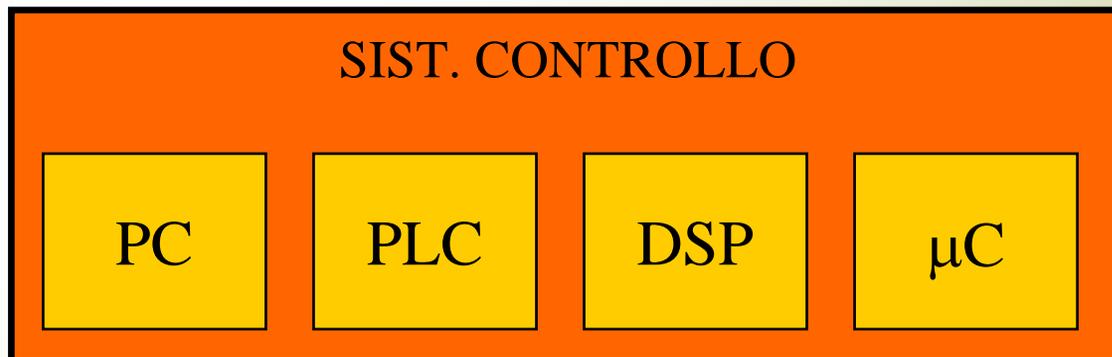
Per registrare un segnale analogico si può fare uso di nastri magnetici entro cui il segnale viene registrato: le prestazioni delle tecniche di registrazione meno sofisticate vengono penalizzate dal fenomeno della smagnetizzazione del nastro registrato. Ricorrendo all'uso di memorie RAM oppure di dispositivi di memoria di massa a supporto magnetico (hard e floppy-disk) è possibile invece registrare i segnali digitali con estrema facilità. In questo caso, poi, la codifica usata è quella binaria e la presenza di una ampia fascia di separazione fra il livello considerato 0 e quello considerato 1 permette di garantire una stabilità del dato nel tempo e la sua reiezione pressoché totale ai disturbi.

ARCHITETTURE DI SISTEMI AUTOMATICI DI MISURA

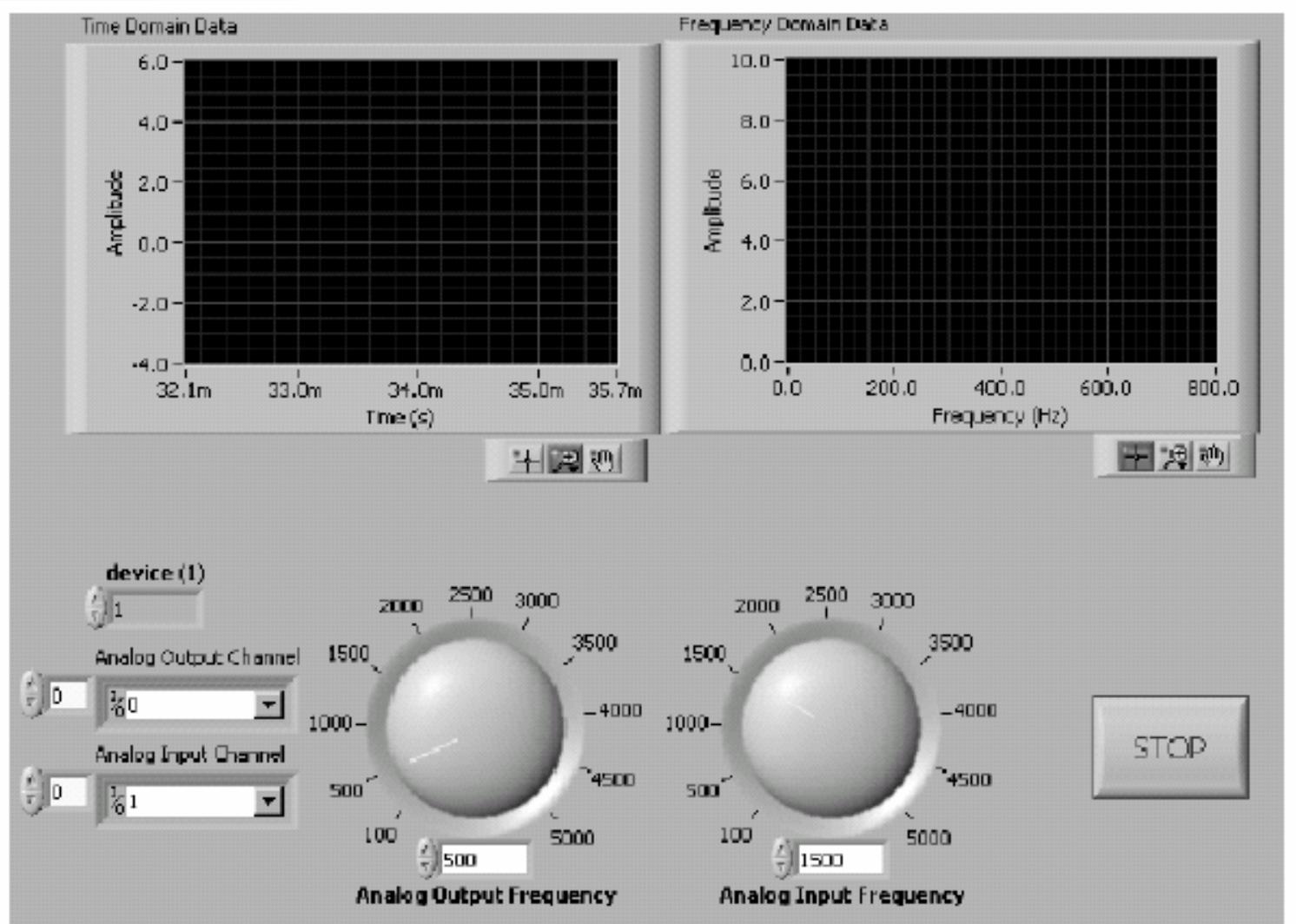
Parti costituenti un generico sistema automatico di misura



Funzione: provvede a memorizzare od elaborare l'informazione numerica ottenuta dal sistema precedente secondo una prefissata sequenza di operazioni registrata in un opportuno programma; tale sistema di controllo può essere, inoltre, a sua volta collegato con un sistema di attuatori.



I SISTEMI DI CONTROLLO



SISTEMA AUTOMATICO PER LA MISURA DI UN'UNICA GRANDEZZA FISICA

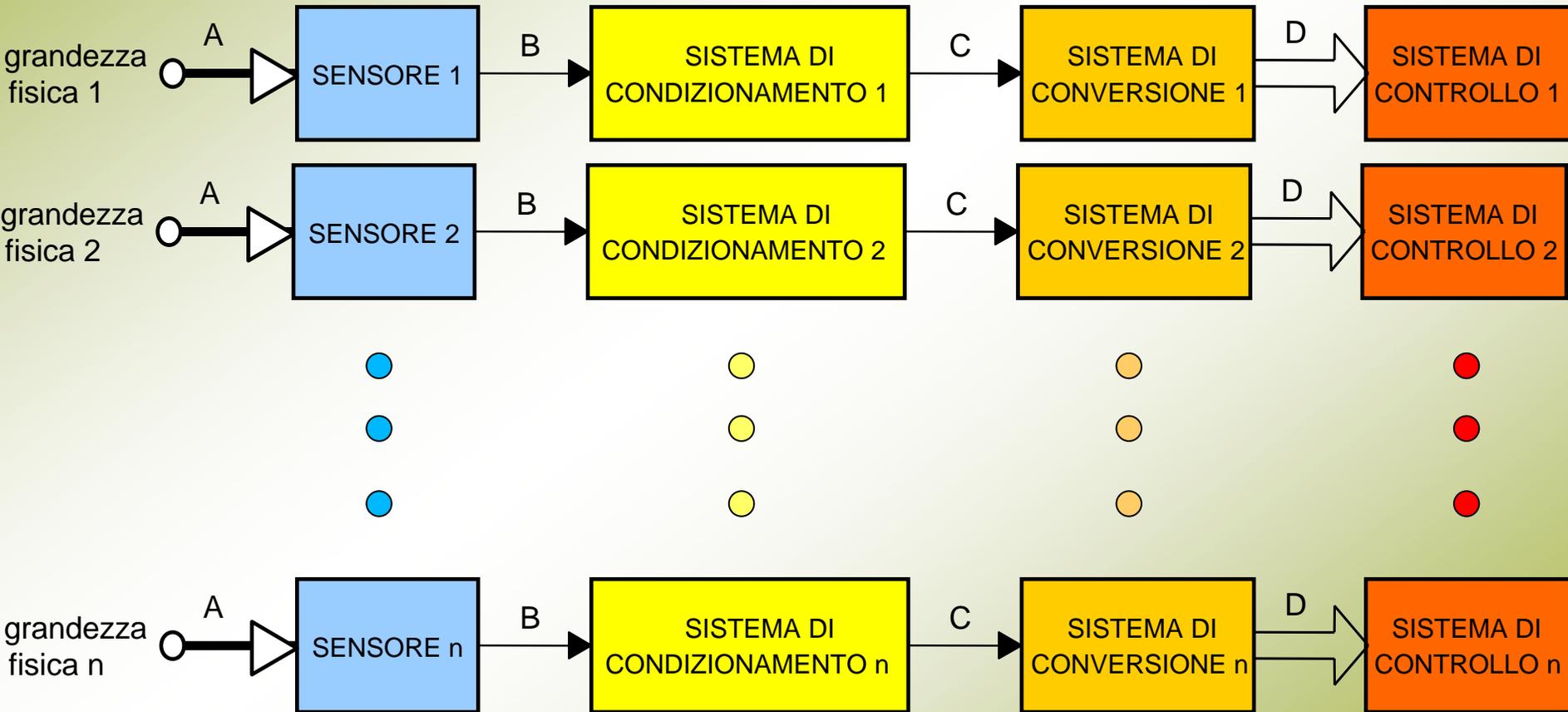


COLLEGAMENTI

- A. Il collegamento fra la grandezza fisica ed il sensore è di tipo generalmente connesso alla natura della grandezza fisica d'interesse e di lunghezza praticamente nulla: la grandezza fisica agisce direttamente sul sensore.
- B,C. sono generalmente di natura analogica. Per il collegamento B, il canale di trasmissione è generalmente di natura elettrica e consiste, materialmente, in conduttori stesi fra il sensore ed il sistema di condizionamento. In casi particolari, quali sistemi di misura impiegati in ambienti con particolari requisiti di sicurezza o in ambienti con stringenti requisiti di immunità ai disturbi di natura elettromagnetica (EMC), il collegamento B può essere realizzato con canali di trasmissione di natura ottica (fibre ottiche) o pneumatica, con l'interposizione di opportuni dispositivi (interfacce) atti a trasformare il segnale proveniente dal sensore rispettivamente in un fascio di luce modulata o in una variazione di pressione di un gas, e viceversa. Il collegamento C, invece, è generalmente di natura elettrica (cavi direttamente collegati fra il sistema di condizionamento ed il sistema di conversione) o di natura elettromagnetica (onde convogliate che sfruttano il supporto della rete di alimentazione elettrica, sistemi di trasmissione basati su linee telefoniche, collegamenti realizzati mediante trasmissione di segnali radio).
- D. è di tipo digitale. Generalmente tale collegamento non crea problemi riguardo le interferenze, mentre possono nascere problemi riguardanti l'attenuazione dei segnali.

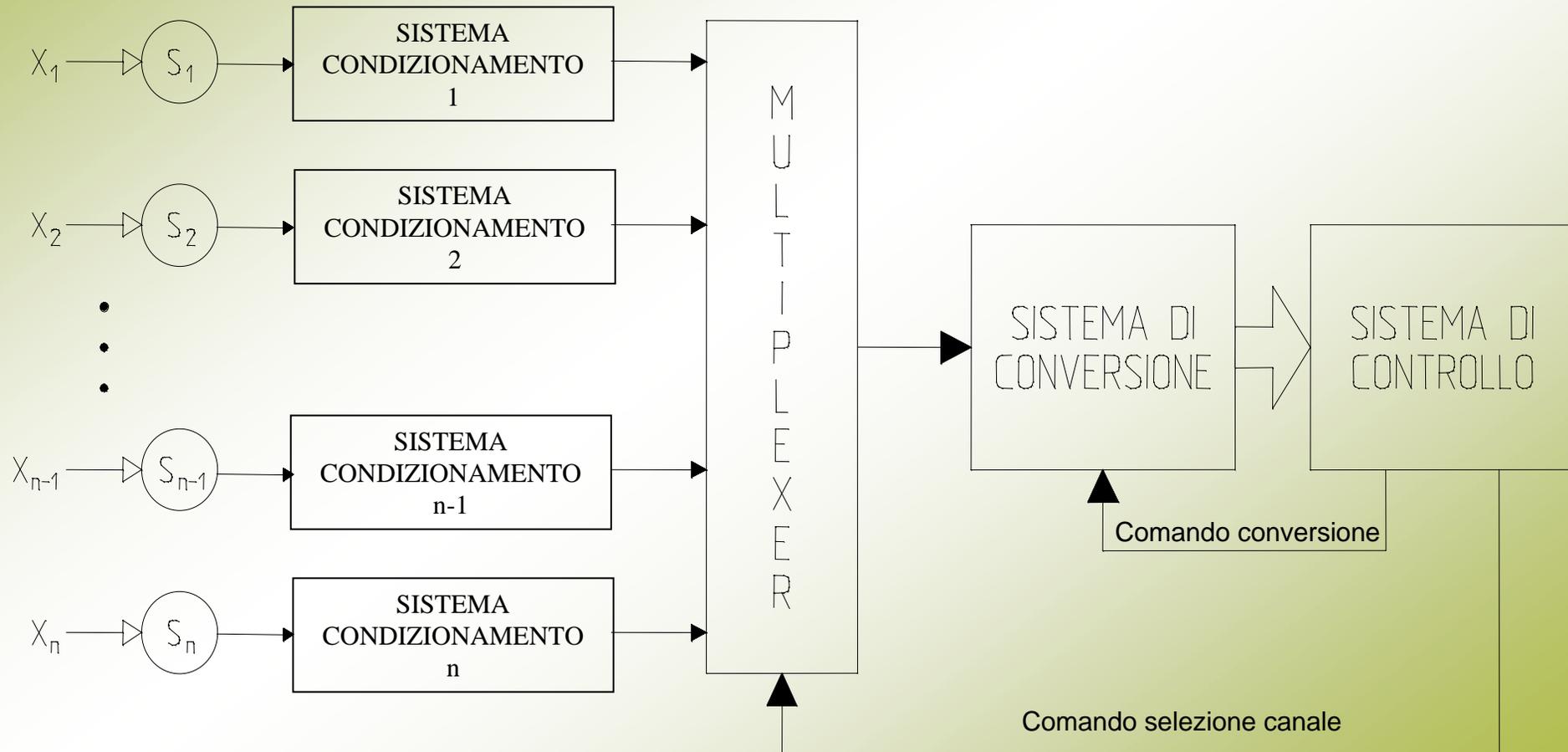
SISTEMA AUTOMATICO PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

Possibile idea è quella di duplicare tutto il sistema, ma ...



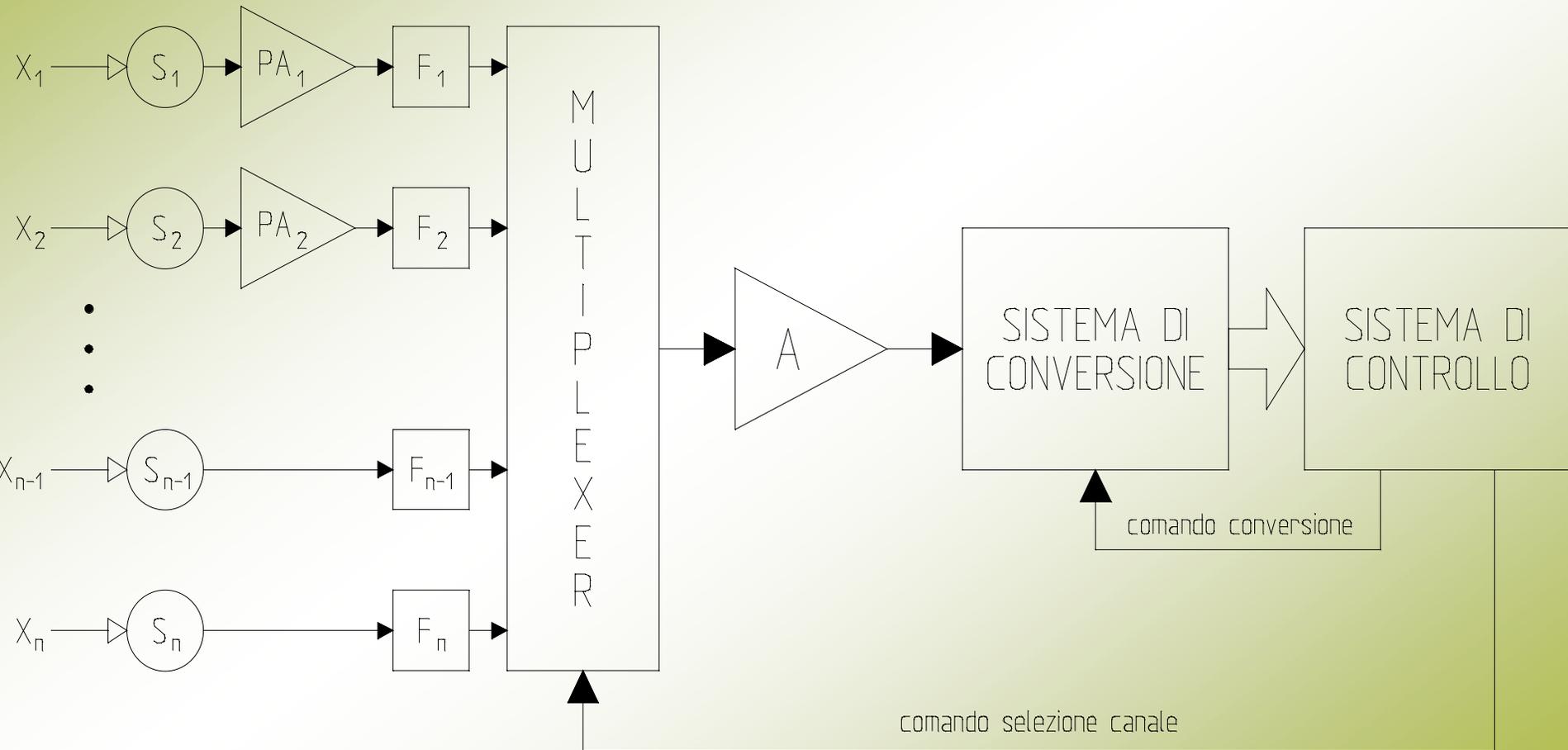
SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

Soluzione 1: Sistema ad N sistemi di condizionamento ed 1 sistema di conversione



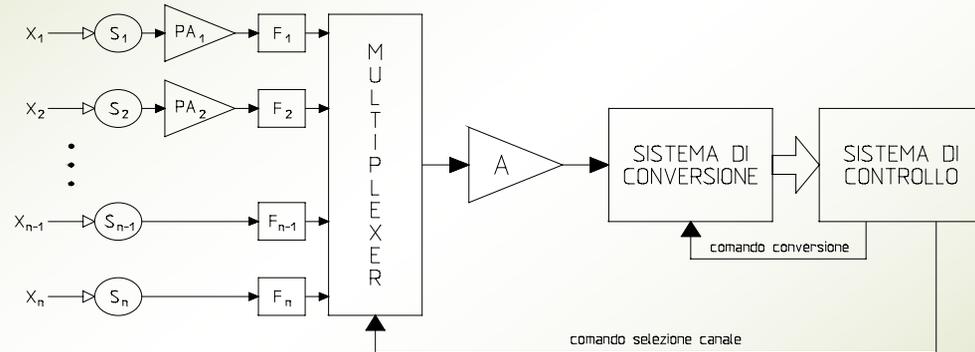
SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

Soluzione 2: Sistema ad N pre-amplificatori ed 1 sistema di conversione



SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

**Soluzione 2: Sistema ad N
pre-amplificatori ed 1
sistema di conversione**



VANTAGGI

Sistema di conversione unico

Ogni canale è adattato al
relativo sensore

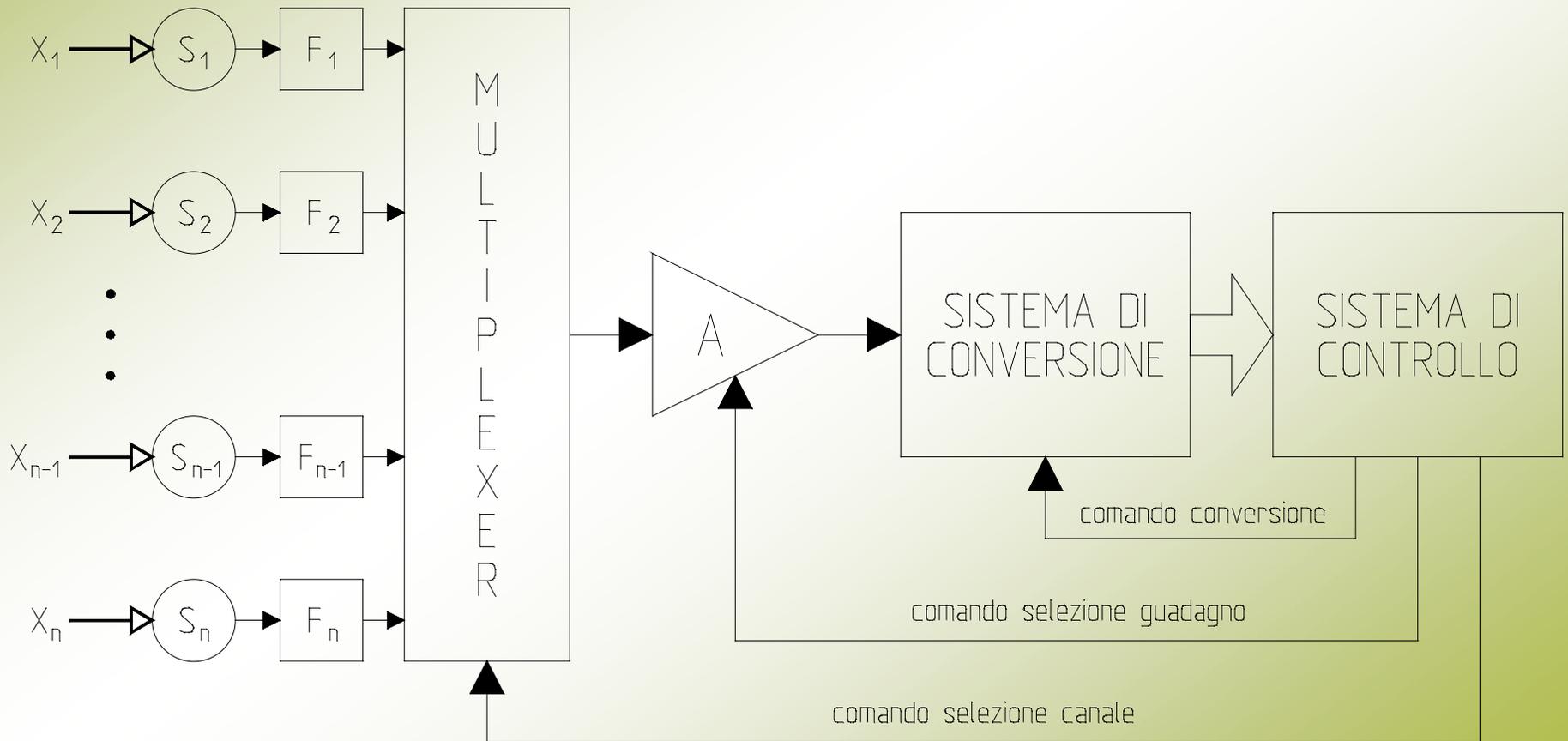
SVANTAGGI

N attenuatori – pre-amplificatori

Multiplexer: campionamento non
contemporaneo

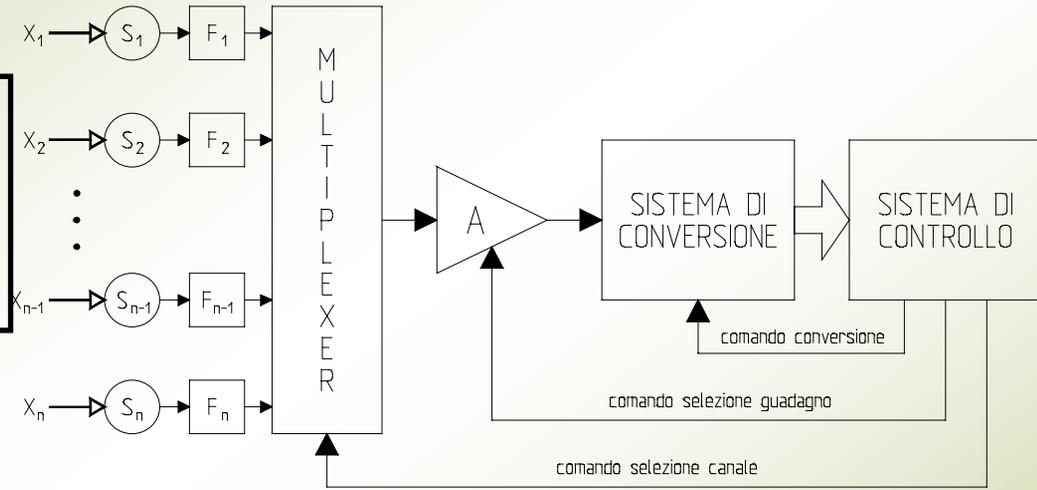
SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

Soluzione 3: Sistema ad 1 amplificatore controllato ed 1 sistema di conversione



SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

**Soluzione 3: Sistema ad 1
amplificatore controllato ed
1 sistema di conversione**



VANTAGGI

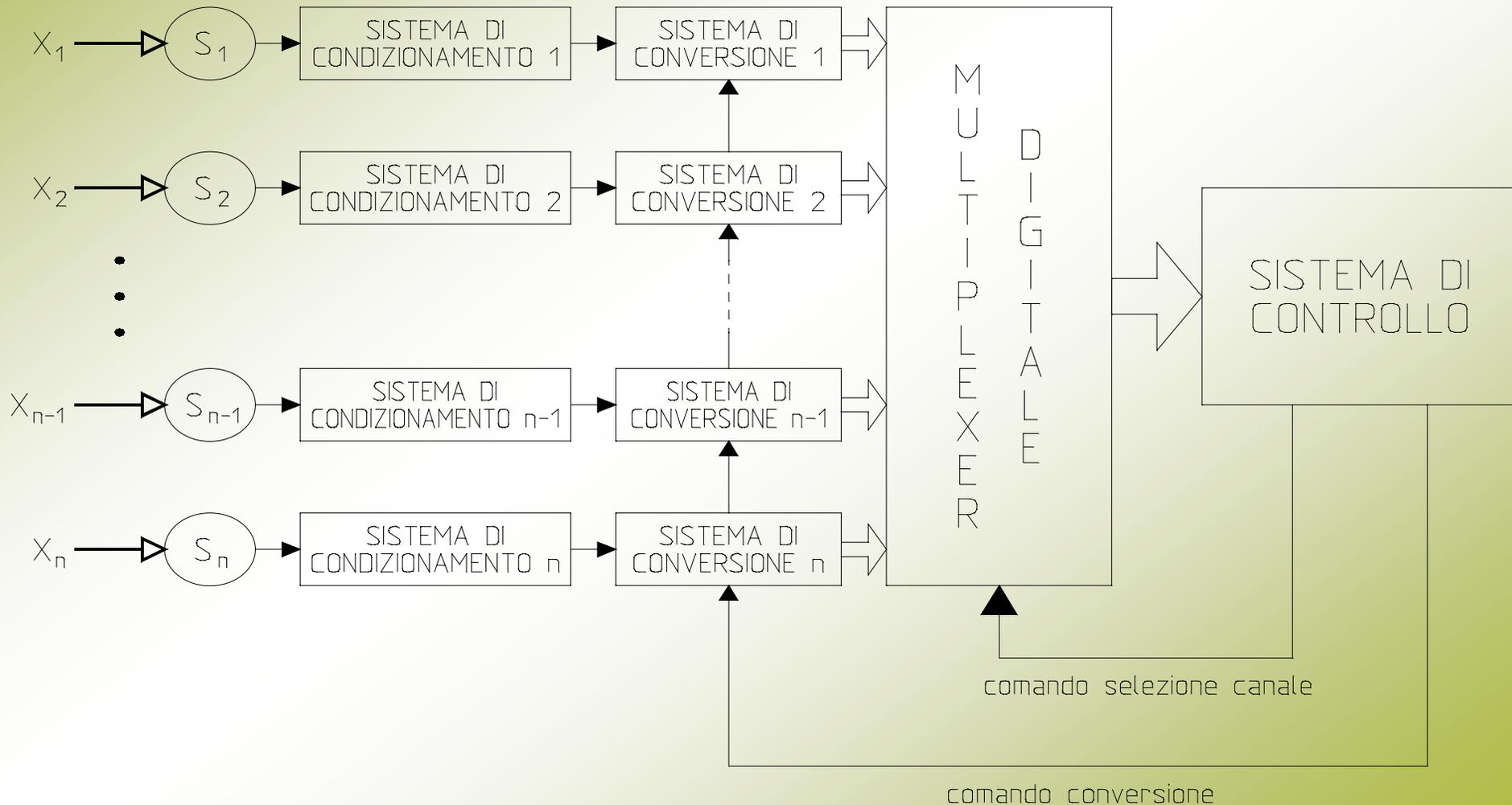
- ↑ Sistema di conversione unico
- ↑ Un unico amplificatore controllato

SVANTAGGI

- ↓ N attenuatori
- ↓ Multiplexer: campionamento non contemporaneo
- ↓ Maggiore costo del sistema di controllo (deve anche selezionare il guadagno)

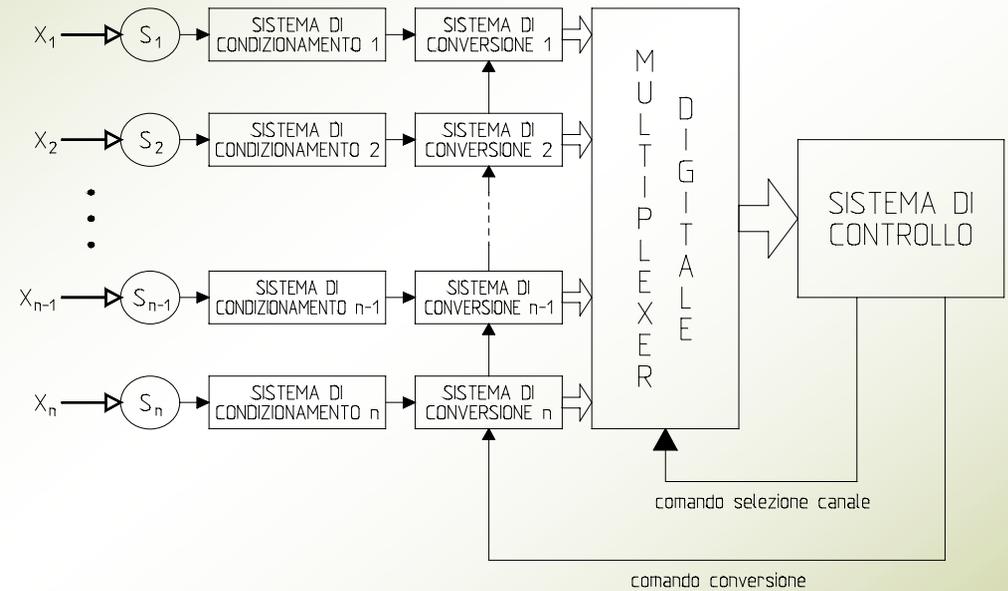
SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

Soluzione 4: Sistema ad N convertitori e multiplexer digitale



SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

**Soluzione 4: Sistema ad N
convertitori e multiplexer
digitale**



VANTAGGI

↑ Sistema di condizionamento e conversione adattato per ogni canale

↑ Campionamento sincronizzato

SVANTAGGI

↓ N attenuatori-amplificatori

↓ N convertitori

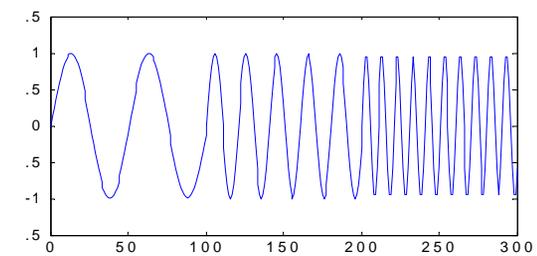
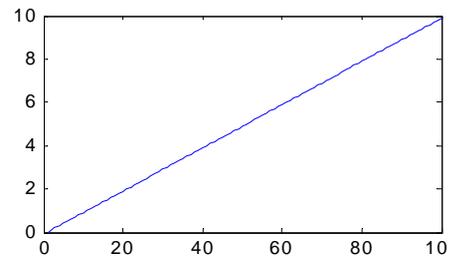
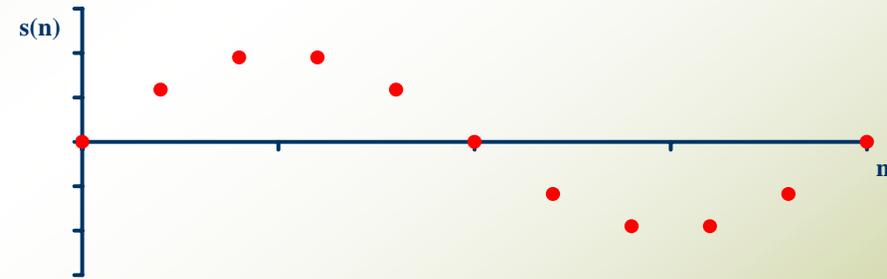
↓ Maggiore costo del sistema di controllo (Mux digitale)

SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

CONVERSIONE V/F

Nei sistemi precedenti, il sistema di conversione adotta tecniche di conversione analogico/numerica che presuppongono un campionamento del segnale proveniente dal sensore ed una sua successiva quantizzazione (discretizzazione nelle ampiezze) in livelli corrispondenti alla codifica numerica adottata.

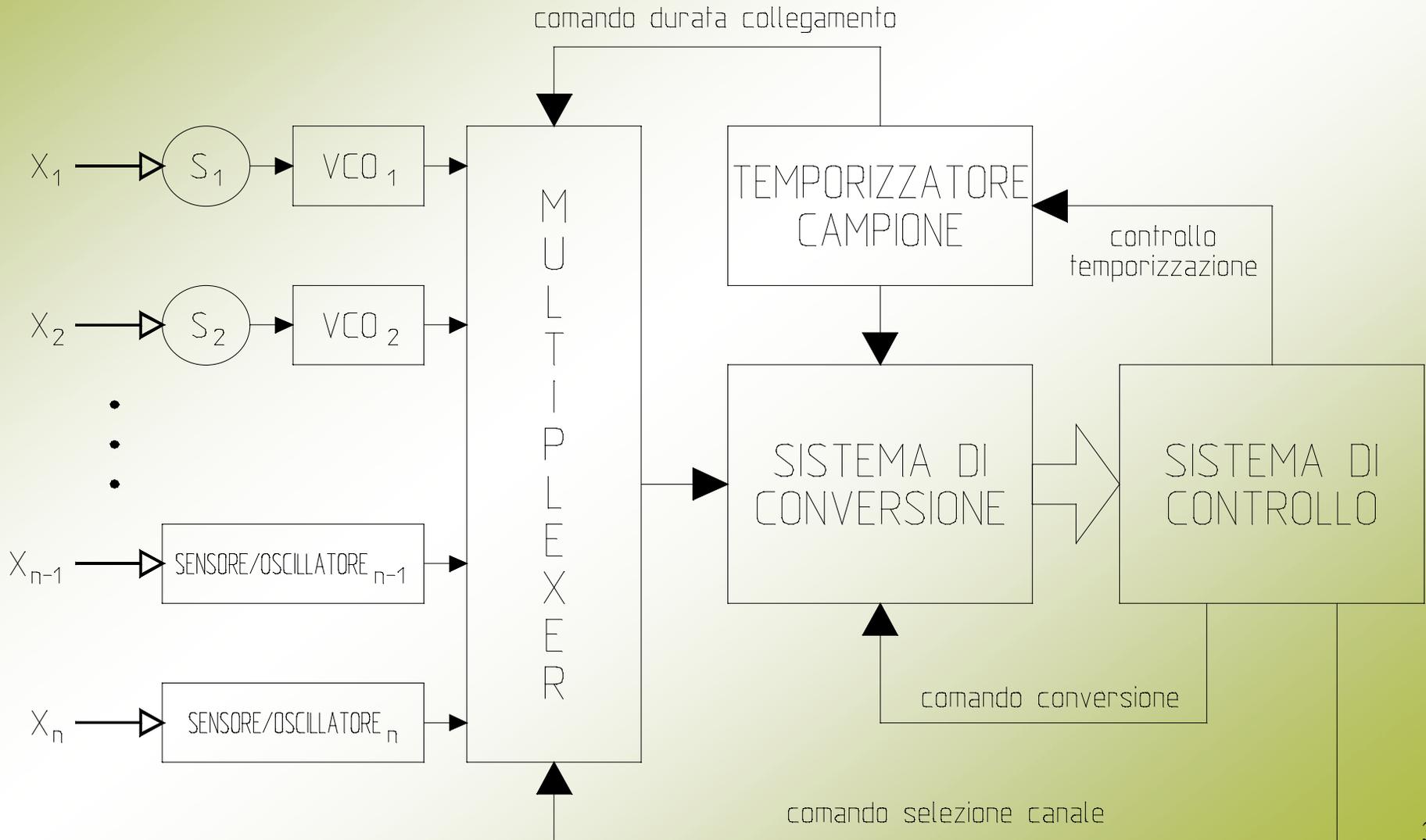
Una soluzione alternativa, che utilizza un diverso principio di conversione A/N, è quella basata sulla trasformazione tensione/frequenza. In tale soluzione, l'informazione d'interesse non è legata all'ampiezza (tensione o corrente) del segnale in uscita dal sensore, ma alla frequenza di un apposito segnale.



I sistemi a conversione V/F superano le difficoltà legate all'influenza dei disturbi. Il segnale in uscita dall'oscillatore, infatti, è generalmente prodotto con un'ampiezza relativamente elevata (tipicamente dell'ordine dei Volt) ed inoltre il minimo valore della frequenza dell'oscillatore può essere scelto di molto superiore alle frequenze caratteristiche dei disturbi che possono essere raccolti lungo i cavi di collegamento, in modo da rendere molto efficace l'eliminazione dei disturbi stessi mediante operazioni di filtraggio.

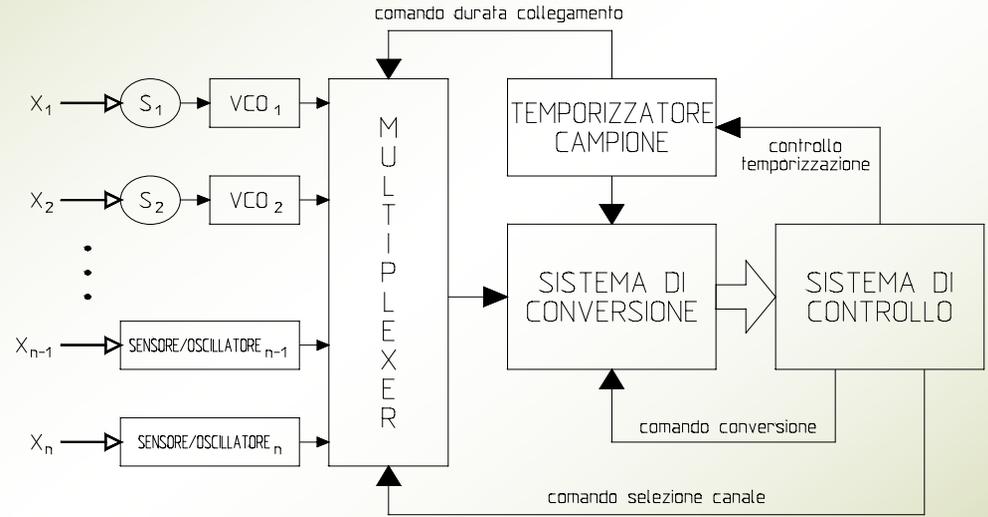
SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

Soluzione 5: Sistema con convertitori V/F



SISTEMI AUTOMATICI PER LA MISURA DI PIU' GRANDEZZE FISICHE

Soluzione 5: Sistema con convertitori V/F



VANTAGGI

- ↑ Massima riduzione dei disturbi
- ↑ Campionamento non sincronizzato

SVANTAGGI

- ↓ N oscillatori
- ↓ maggiore costo sistema di conversione (temp campione)
- ↓ Maggiore costo del sistema di controllo (Mux temporizzato)
- ↓ Maggiore costo del sistema di condizionamento (VCO)