



SISTEMI ELETTRONICI PER L'AUTOMAZIONE E L'INDUSTRIA (SEAI)

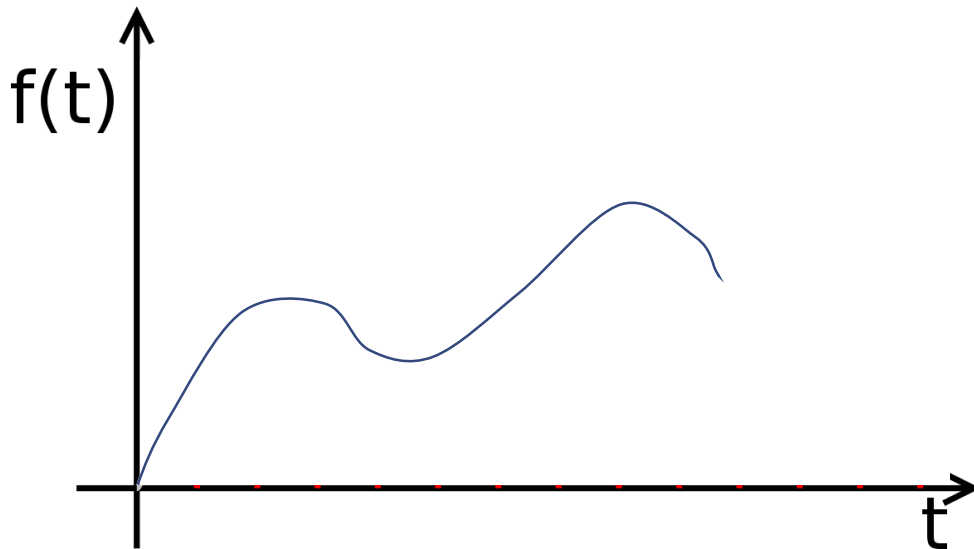
A.A. 2023-2024

INTRODUZIONE ALL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE, PREREQUISITI

Prerequisiti di Elettronica: segnali elettrici

Segnale elettrico = grandezza elettrica (tipicamente tensione o corrente) che varia nel tempo e trasporta informazione

- Il mezzo di trasporto può essere un conduttore (es. rame per l'USB) o anche il vuoto (onde elettromagnetiche per il BLE)
- Un segnale elettrico si propaga molto velocemente (30 cm/ns nel vuoto, ~20 cm/ns su rame)
- Un segnale varia nel tempo
Tensione $V = V(t)$, Corrente $I = I(t)$, Potenza $P = V \cdot I = P(t)$
- Il segnale F tipicamente varia nel tempo, ossia $f=f(t)$

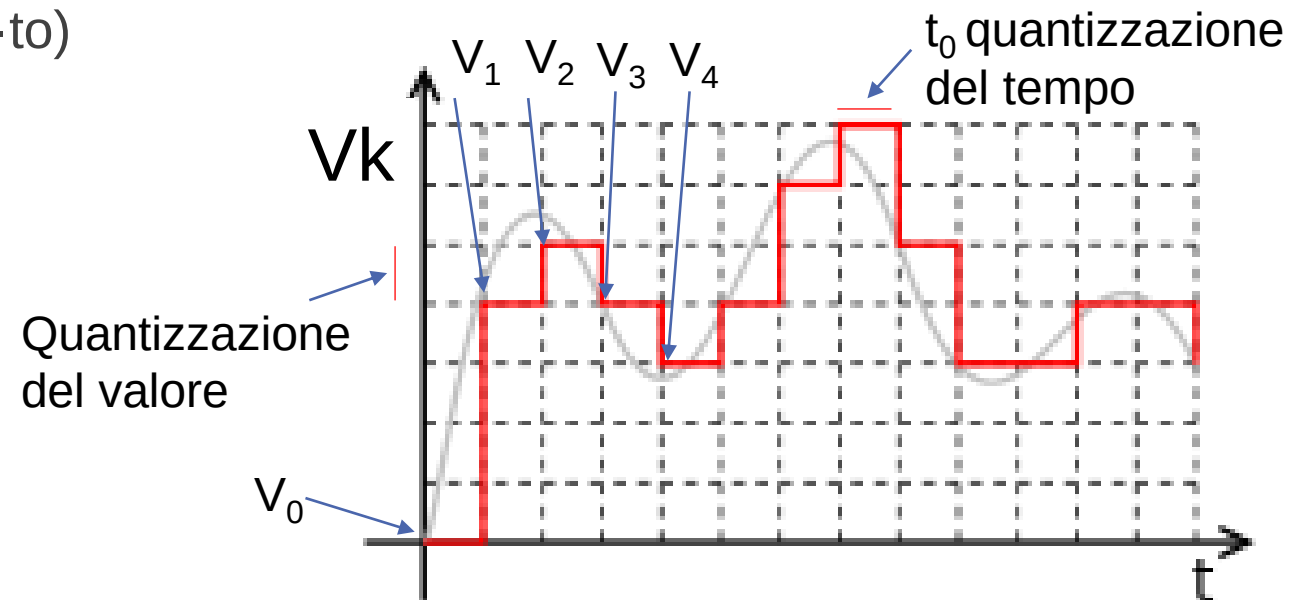
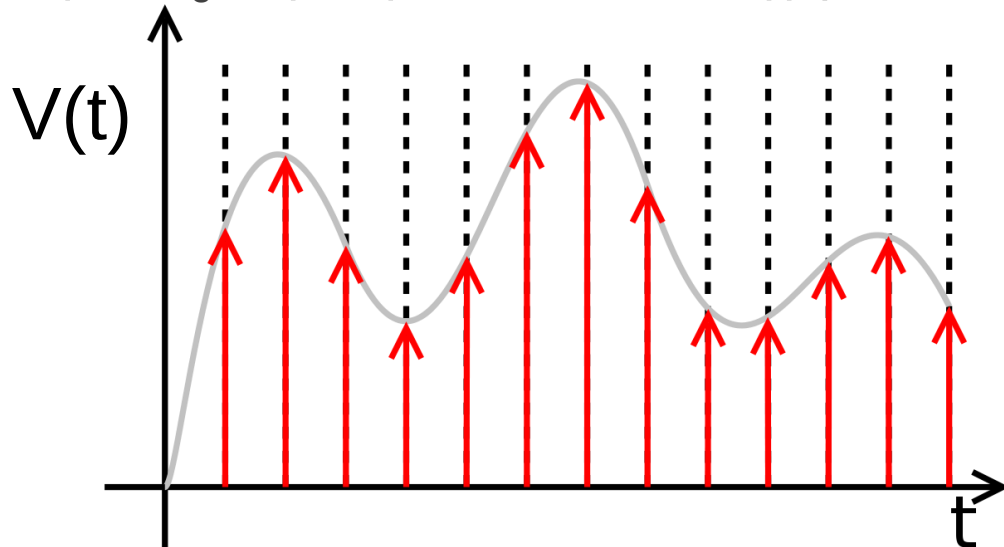


Prerequisiti di Elettronica: segnali elettrici

Segnale elettrico campionato = sequenza di campioni $\{V_i, t_i\}$ del segnale elettrico $V(t)$ dove V_i è il valore del segnale (tensione, corrente,...) all'istante t_i .

Se il campionamento è regolare (intervallo di tempo t_0 costante), come normalmente accade, allora $t_i = k \cdot t_0$ ($k \in \mathbb{N}$) e la sequenza di campioni è $\{V_k\}$. Per $t \neq k \cdot t_0$, si mantiene valido il campione V_k / $k \cdot t_0 \leq t < (k+1) \cdot t_0$

(es. $V_3 = V(3 \cdot t_0)$ è la stima di $V(t)$ per $3 \cdot t_0 \leq t < 4 \cdot t_0$)

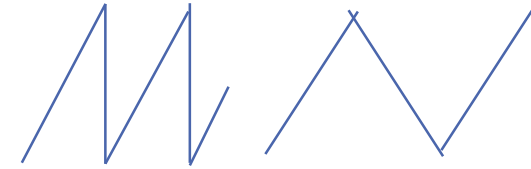


Prerequisiti di Elettronica: segnali campionati

Esempio: Segnale lineare (a tratti)

Segnale descritto da un'equazione lineare $e(t) = A \cdot t + B$

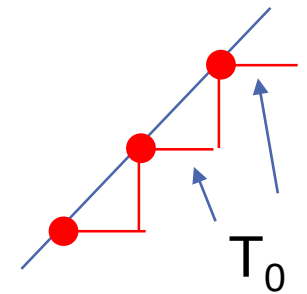
- Dente di sega, onda triangolare (periodo T)



Segnale discreto campionato in modo regolare (T_0)

$$e(t) = e(k \cdot T_0) \Rightarrow e(k) = A \cdot T_0 \cdot k + B$$

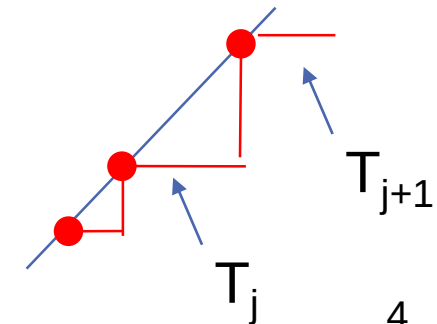
- tra un campione e l'altro si mantiene il valore



Segnale discreto campionato in modo irregolare

$$e(t) = e(\sum_k T_j) \Rightarrow e(k) = A \cdot (\sum_k T_j) + B$$

- tra un campione e l'altro si mantiene il valore



Prerequisiti di Elettronica: segnali discreti

Segnali continui e discretizzati (o "campionati") nel tempo

Segnali continui (o "analogici") e discreti (o "digitali") nelle ampiezze

I segnali analogici codificano l'informazione nell'ampiezza

I convertitori Analogico/Digitale e Digitale/Analogico sono in tutti i sistemi audio (es. "LA" è una sinusoide a 430 Hz) e video digitali

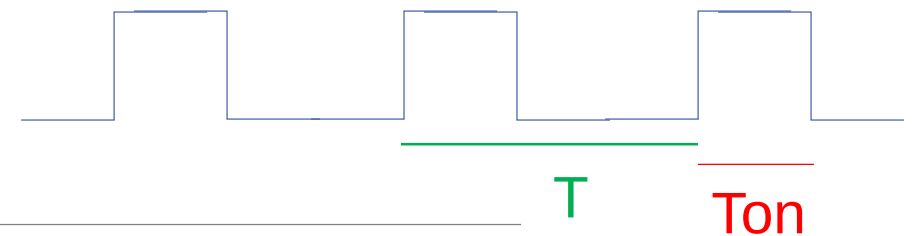
- Microfono -> Convertitore Analogico/Digitale del segnale audio
- Altoparlante -> Convertitore Digitale/Analogico del segnale audio

Segnale discreto binario = segnale che varia solo tra due livelli

- l'informazione, se non è binaria, è codificata nel periodo o nella larghezza di impulso

Periodo T

Duty Cycle = T_{on}/T



Prerequisiti di Elettronica: segnali discreti

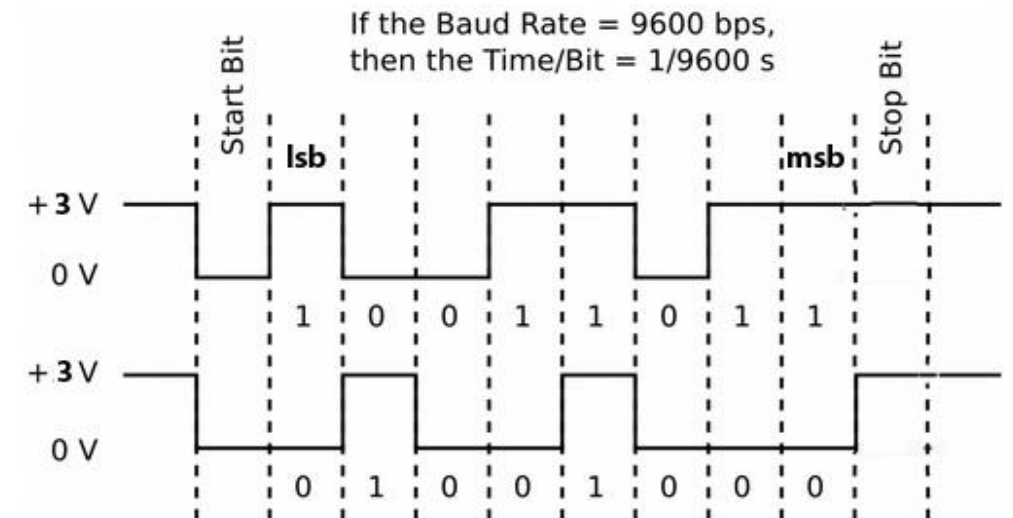
Segnale discreto binari

Codifica l'informazione nella distanza temporale tra due commutazioni successive

- Commutazioni dello stesso segno => periodo T , frequenza $f=1/T$
- Commutazioni di segno opposto => larghezza d'impulso positivo T_{on} , larghezza d'impulso negativo T_{off} , Duty Cycle = $T_{on}/(T_{off}+T_{on})$

Segnale discreto binario codificato

Codifica una sequenza di informazioni binarie nella distanza temporale di una serie di commutazioni



Prerequisiti di Elettronica: segnale discreto e bit

- I segnali possono essere continui o discreti nel tempo e nelle ampiezze e possono codificare informazioni $\in \mathbb{R}$ o $\in \mathbb{N}$ nel tempo e nelle ampiezze
- Il segnale binario discreto codifica nell'ampiezza l'informazione più semplice, il bit

Bit = Binary Digit = cifra binaria = informazione Booleana (BOOL)

(0,1) (vero, falso) (aperto, chiuso) (c'è corrente, non c'è corrente) etc.

I bit a_i possono essere messi in sequenza

- **BYTE** = 8 bit = $a_7 \cdot 2^7 + a_6 \cdot 2^6 + a_5 \cdot 2^5 + a_4 \cdot 2^4 + a_3 \cdot 2^3 + a_2 \cdot 2^2 + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0$
- **WORD** = 16 bit = 2 BYTE
- **DWORD** = 32 bit = 2 WORD = 4 BYTE (LWORD = 64 bit)

Prerequisiti di Elettronica: segnali continui tipici

Segnale impulsivo

Segnale $S(t)$ descritto da un'equazione definita solo per $t_0 < t < t_1$

$$S(t) = \begin{cases} 0 & \text{se } t < t_0 \\ f(t) & \text{se } t_0 < t < t_1 \\ 0 & \text{se } t > t_1 \end{cases}$$

Segnale periodico

Segnale $S(t)$ che si ripete dopo un tempo T detto periodo

$$S(t) = S(t+T) = S(t+2T) = \dots = S(t+nT) \quad \text{con } n \in \mathbb{N}$$

Prerequisiti di Elettronica: segnali continui tipici

Segnale sinusoidale

Segnale descritto da eq. sinusoidale $e(t) = A \cdot \cos(\omega t + \phi)$ con $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$

$$\Rightarrow e(t) = A \cdot \cos(2\pi t/T + \phi) = A \cdot (e^{j(\omega t + \phi)} + e^{-j(\omega t + \phi)})/2 = \text{Re}(A \cdot e^{j(\omega t + \phi)})$$

Dato che $A \cdot e^{j(\omega t + \phi)} = A \cdot \cos(2\pi t/T + \phi) + jA \cdot \sin(2\pi t/T + \phi)$ (Formule di Eulero)

Segnale discreto $e(t) = e(k \cdot T_c) \Rightarrow e(k) = A \cdot \sin(2\pi k T_c / T + \phi)$

$$\sin(0^\circ) = 0$$

$$\sin(22,5^\circ) = 0,174$$

$$\sin(45^\circ) = 0,707$$

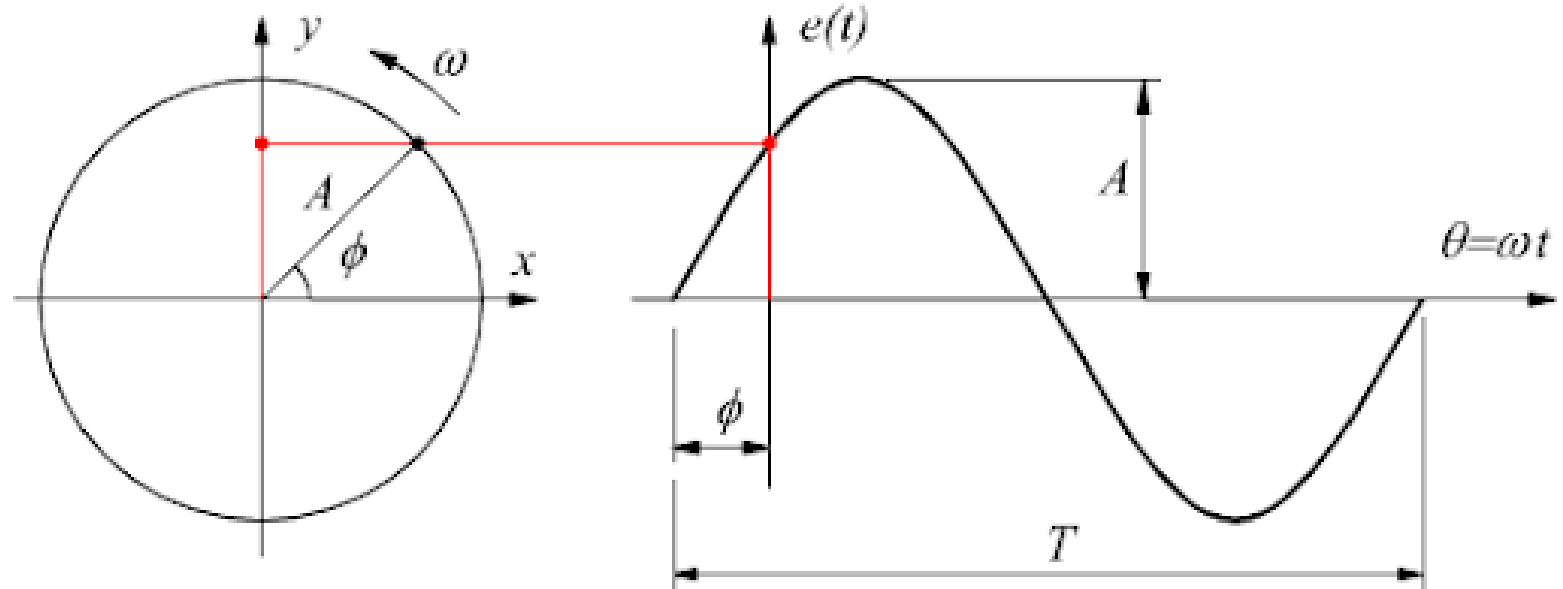
$$\sin(67,5^\circ) = 0,924$$

$$\sin(90^\circ) = 1$$

$$\sin(112,5^\circ) = 0,924$$

$$\sin(135^\circ) = 0,707$$

$$(T_c/T = 1/16)$$

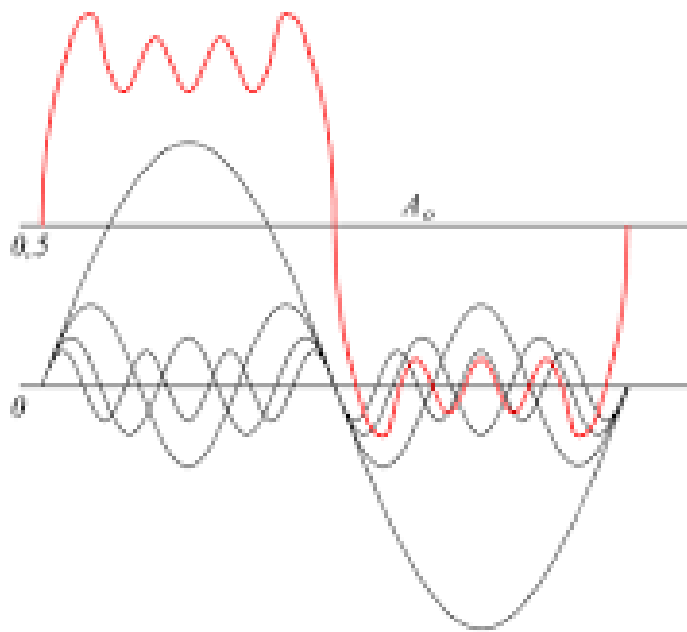


Prerequisiti di Elettronica: segnali continui tipici

Un segnale reale periodico di periodo $T_0 = 1/f_0$ può essere espresso mediante somma di infinite sinusoidi di ampiezza, frequenza e fase opportuna (sviluppo in serie di Fourier)

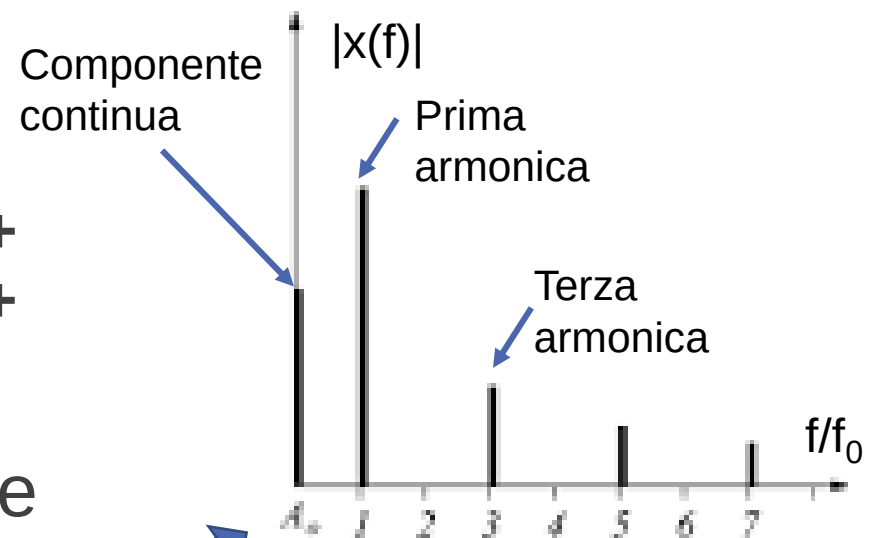
$$x(t) = A_0 + 2A_1\cos(2\pi f_0 t + \phi_1) + 2A_2\cos(2\pi 2f_0 t + \phi_2) + 2A_3\cos(2\pi 3f_0 t + \phi_3) + \dots$$

$$x(t) = A_0 + 2\sum_{k=1 \rightarrow \infty} A_k \cos(2\pi \cdot k f_0 t + \phi_k)$$



$$x(t) = 0,5 + 0,7 \cdot \sin(2\pi f_0 t) + 0,7 \cdot \sin(2\pi \cdot 3f_0 t)/3 + 0,7 \cdot \sin(2\pi \cdot 5f_0 t)/5 + 0,7 \cdot \sin(2\pi \cdot 7f_0 t)/7$$

Rappresentazione
nel tempo $x(t)$
nella frequenza $x(f)$



Prerequisiti di Elettronica: segnali e filtri

Un segnale proveniente da un **sensore** in genere si muove "lentamente" perché le grandezze fisiche (es. temperatura) variano lentamente (10-100 ms). La rappresentazione in frequenza è alle **basse frequenze**.

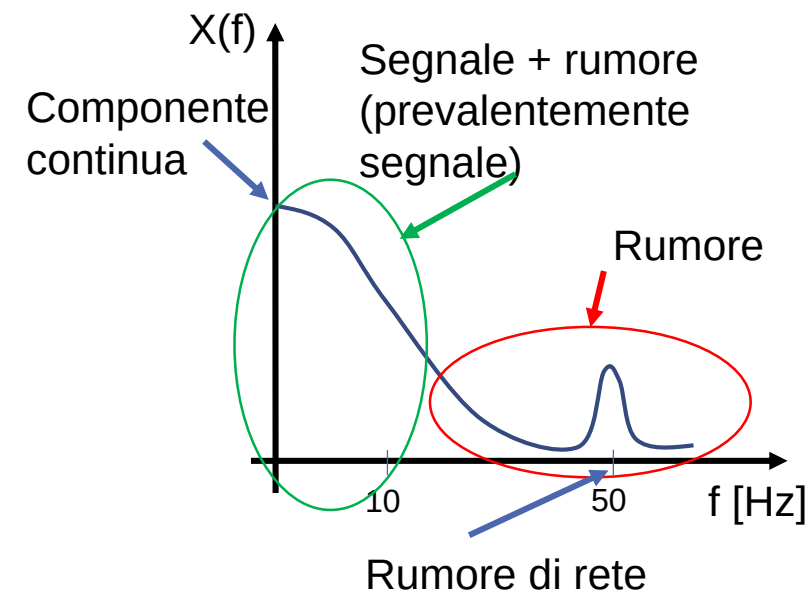
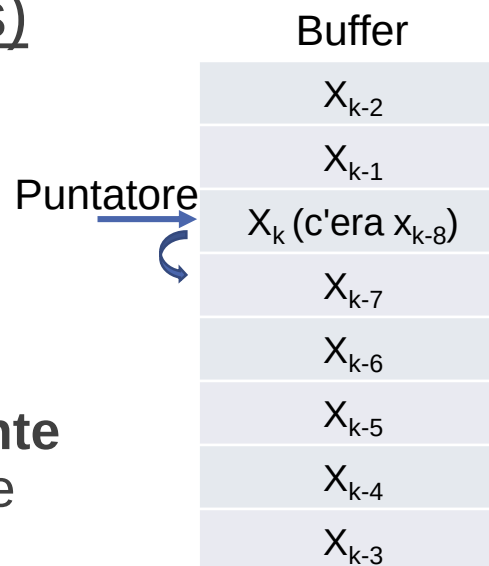
I segnali da sensori sono spesso alterati dal **rumore** che è un segnale su tutte le frequenze che va a sommarsi al segnale da sensore.

I filtri passa-basso limitano l'effetto del rumore

Esempio di filtro passa-basso ($T_c=5\text{ms}$)

Leggi x_k
memorizza in buffer sovrascrivendo x_{k-8}
 $\text{OUT}_k = \text{somma degli elementi del buffer diviso } 8$
Incrementa puntatore
Attendi il prossimo istante di campionamento (T_c)
Ricomincia

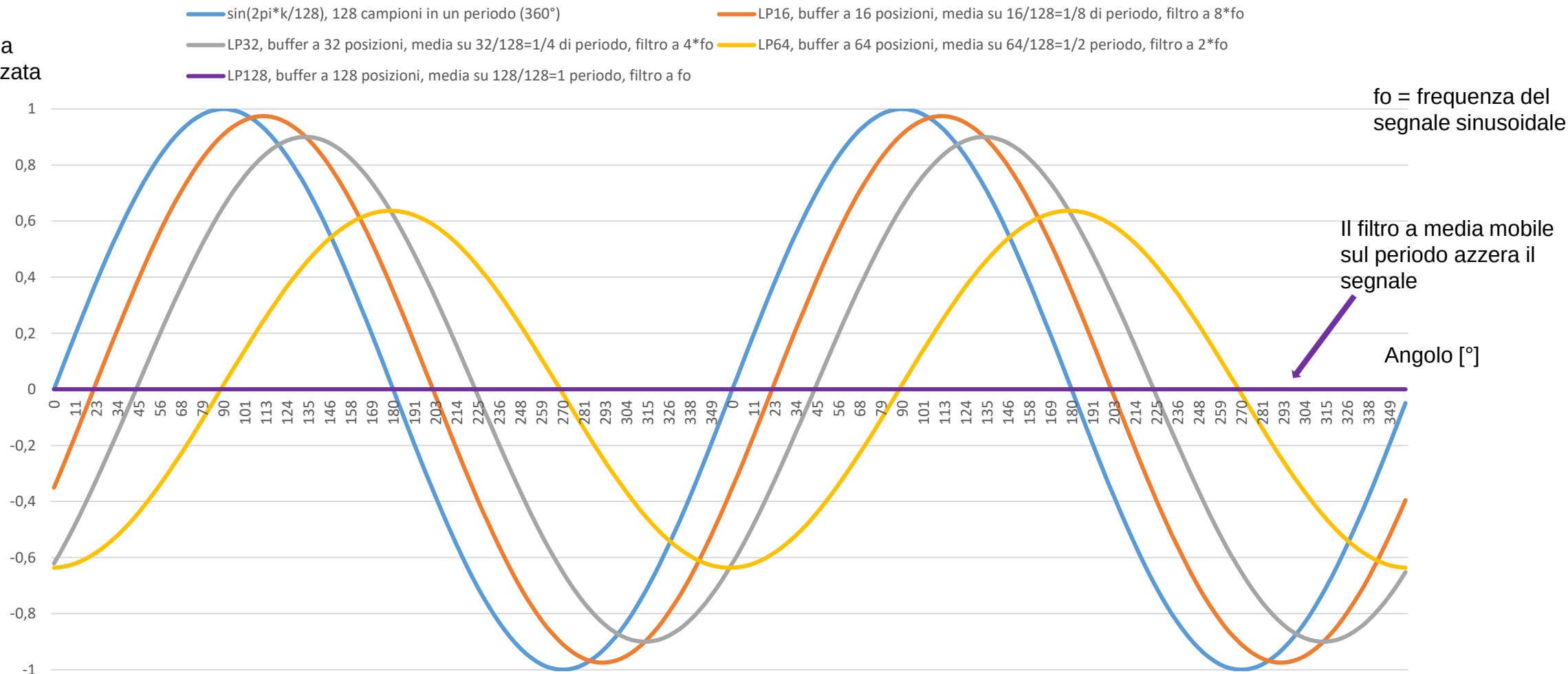
Il valore medio OUT_k si muove più lentamente del valore istantaneo x_k (sono passate solo le basse frequenze, $f < 1/(8 \cdot 5\text{ms}) \Rightarrow f < 25\text{Hz}$)



Prerequisiti di Elettronica: segnali e filtri

Filtro passa-basso a media mobile su segnale sinusoidale: effetto

Ampiezza
normalizzata
a 1



=> Più la frequenza del filtro è alta rispetto a fo e meno il filtro attenua e ritarda

Prerequisiti di Informatica: logiche booleane

A = variabile booleana

Valori possibili: 0,1

$\neg A = \text{NOT}(A)$ "Se $A=0$ allora $\neg A=1$; se $A=1$ allora $\neg A=0$ "

NOT	A	$\neg A$
	0	1
	1	0

OR = + "Se e solo se $A=0$ e $B=0$ allora $A+B=0$ "

OR

A	B	$A+B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



Devi ottenere almeno un 6 tirando due dadi

AND = * (&) "Se e solo se $A=1$ e $B=1$ allora $A\&B=1$ "

AND

A	B	$A*B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Devi ottenere due 6 tirando due dadi

George Boole, 1847

Prerequisiti di Informatica: logiche booleane

Le logiche di automazione sono prevalentemente logiche booleane

Se il pezzo è montato, l'utensile è montato e il portello di protezione è chiuso e non ci sono allarmi allora attiva il mandrino (esempio di funzione **AND** a 4 ingressi)

Pezzo montato (vero=1/falso=0) = A

Utensile montato (vero=1/falso=0) = B

Portello di protezione chiuso (vero=1/falso=0) = C

Intervento Allarmi (vero=1/falso=0) = D

Attivazione mandrino = E = A*B*C*D

Se aprono il portello di protezione o interviene un allarme allora ferma il mandrino (esempio di funzione **OR** a 2 ingressi)

Portello di protezione chiuso (vero=1/falso=0) = C

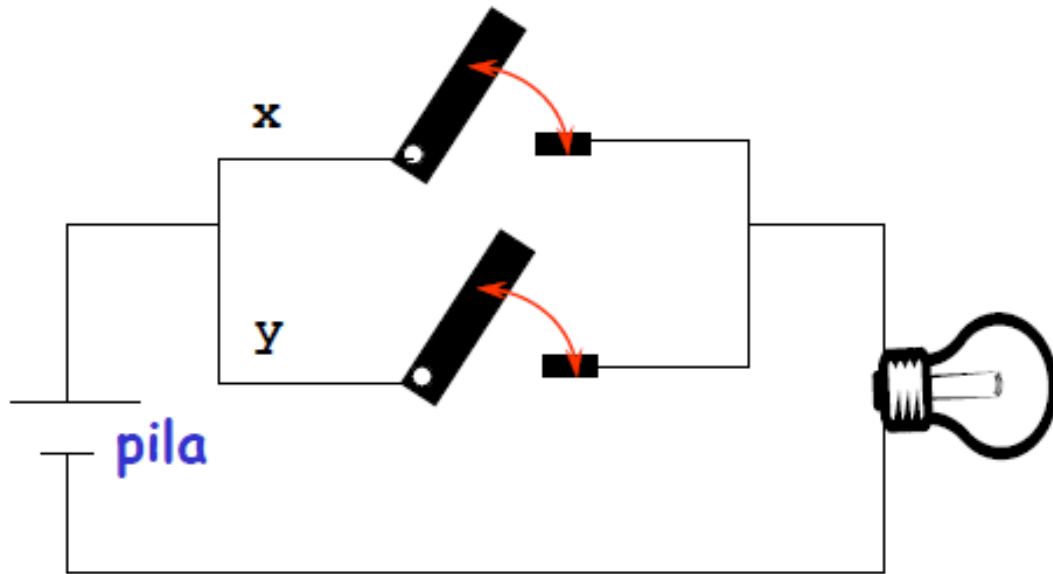
Intervento Allarmi (vero=1/falso=0) = D

Arresto mandrino = F = !C+D

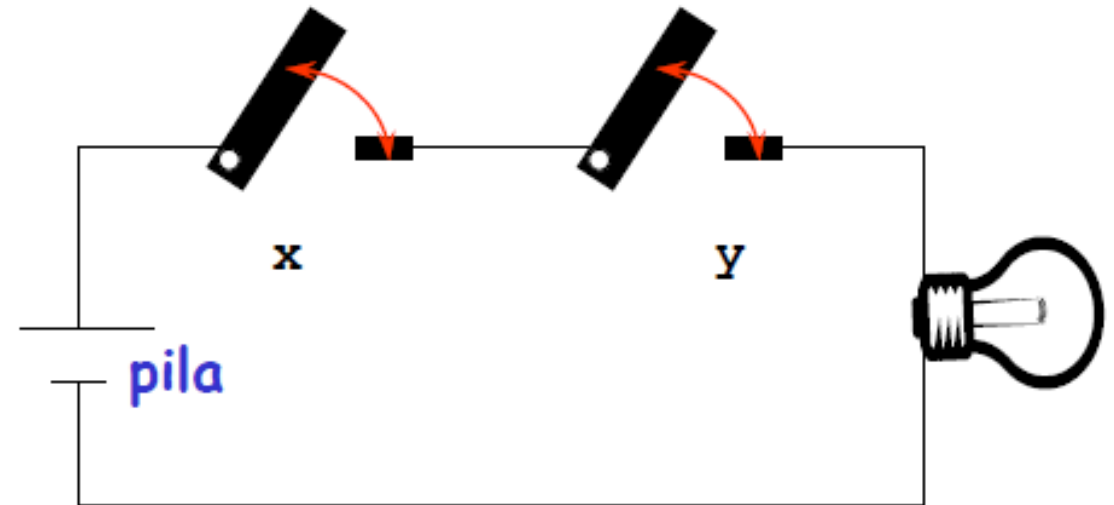
Prerequisiti di Informatica: logiche booleane

Le logiche a interruttori sono logiche booleane (aperto=0, chiuso=1)

Interruttori in parallelo OR



Interruttori in serie AND



OR = +

AND = * (&)

"Se e solo se $X=0$ e $Y=0$ allora $X+Y=0$ "

"Se e solo se $X=1$ e $Y=1$ allora $X*Y=1$ "

Prerequisiti di Informatica: logiche booleane

PROPRIETA'

1.Idempotenza:	$a+a=a$ ($a+0=a$)	$a*a=a$ ($a*1=a$)
2.Esistenza min max	$a*0=0$	$a+1=1$
3.Complemento	$a*!a=0$	$a+!a=1$
4.Commutativa:	$a+b=b+a$	$a*b=b*a$
5.Associativa:	$a+(b+c)=(a+b)+c$	$a*(b*c)=(a*b)*c$
6.Assorbimento:	$a+(a*b)=a$	$a*(a+b)=a$
7.Distributiva:	$a*(b+c)=(a*b)+(a*c)$	$a+(b*c)=(a+b)*(a+c)$

Verificare per ipotesi esaustiva (= tutti i casi possibili) o per dimostrazione

$$a+(a*b) = a*(b+!b)+a*b = a*b+a*!b+a*b = a*b+a*!b = a*(b+!b) = a$$

Prerequisiti di Informatica: logiche booleane

Teoremi di De Morgan:

$$\neg(A \cdot B) = (\neg A) + (\neg B)$$

A	B	$\neg(A \cdot B)$	$(\neg A) + (\neg B)$
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	0

$$\neg(A + B) = (\neg A) \cdot (\neg B)$$

A	B	$\neg(A + B)$	$(\neg A) \cdot (\neg B)$
0	0	1	1
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0

Dimostrazione $\neg(A + B) = (\neg A) \cdot (\neg B)$ (si richiamano le proprietà per numero):

Sia $C = (\neg A) \cdot (\neg B) \Rightarrow A + B + C = (A + B) + \neg A \cdot \neg B$

Per la proprietà 7 distributiva $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$ si ha

$(A + B) + \neg A \cdot \neg B = (A + B + \neg A) \cdot (A + B + \neg B) = 1 \cdot (1 + A) = 1 + A = 1$
 Esistenza min max = $1 \cdot 1 = 1$ ma anche $(A + B) + \neg(A + B) = 1$ quindi
 $\neg(A + B) = C = (\neg A) \cdot (\neg B)$

Prerequisiti di Informatica: funzioni booleane

Funzione logica booleana

Una funzione booleana ha una o più variabili booleane in ingresso e fornisce un risultato booleano che dipende solo da queste variabili.

Poiché le variabili possono assumere solo i valori 0 o 1, una funzione booleana con n variabili di ingresso ha solo 2^n combinazioni possibili e può essere descritta mediante una tabella, detta **tabella di verità**, con 2^n righe.

Esempio

$$F = A + !A * B + A * !B$$

Numero variabili di ingresso = 2

Numero righe tabella = $2^2 = 4$

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Prerequisiti di Informatica: funzioni booleane

Tabella della verità

Una funzione o funzionalità può essere descritta mediante tabella della verità

La luce si accende se c'è buio e attivano il telecomando oppure se premono il pulsante

C'è luce -sensore- (vero=1/falso=0) = A

Telecomando attivato (vero=1/falso=0) = B

Pulsante premuto (vero=1/falso=0) = C

Accensione Luce F = ?

N=3 ingressi A,B,C => tabella con $2^n=8$ righe

Compilo tutti i casi possibili degli ingressi
(valori binari da 0 a 2^n-1)

Valuto l'uscita per ogni combinazione degli ingressi

A	B	C	F
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Prerequisiti di Informatica: funzioni booleane

Compilazione della tabella della verità

La luce si accende se c'è buio e attivano il telecomando oppure se premono il pulsante

C'è luce -sensore- (vero=1/falso=0) = A
Telecomando attivato (vero=1/falso=0) = B
Pulsante premuto (vero=1/falso=0) = C
Accensione Luce F = ?

A	B	C	osservazioni	F
0	0	0	Non c'è luce, il telecomando non è attivato, il pulsante non è premuto	0
0	0	1	Non c'è luce, il telecomando non è attivato, il pulsante è premuto	1
0	1	0	Non c'è luce, il telecomando è attivato, il pulsante non è premuto	1
0	1	1	Non c'è luce, il telecomando è attivato, il pulsante è premuto	1
1	0	0	C'è luce, il telecomando non è attivato, il pulsante non è premuto	0
1	0	1	C'è luce, il telecomando non è attivato, il pulsante è premuto	?1
1	1	0	C'è luce, il telecomando è attivato, il pulsante non è premuto	0
1	1	1	C'è luce, il telecomando è attivato, il pulsante è premuto	?1

Prerequisiti di Informatica: funzioni booleane

Dalla tabella della verità alla funzione

La luce si accende se c'è buio e attivano il telecomando o se premono il pulsante

La funzione F indica quando F=1

Quindi si prendono solo le righe con F=1

F=1 se gli ingressi si trovano in una delle configurazioni selezionate (OR)

Ciascuna configurazione si manifesta quando le variabili d'ingresso assumono tutte dei valori ben precisi (AND, product term, p-term)

$$F = !A*!B*C + !A*B*!C + !A*B*C + A*!B*C + A*B*C$$

C'è luce -sensore- (vero=1/falso=0) = A
Telecomando attivato (vero=1/falso=0) = B
Pulsante premuto (vero=1/falso=0) = C
Accensione Luce F = ?

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Prerequisiti di Informatica: funzioni booleane

Dalla tabella della verità alla funzione

La luce si accende se c'è buio e attivano il telecomando o se premono il pulsante

C'è luce -sensore- (vero=1/falso=0) = A
Telecomando attivato (vero=1/falso=0) = B
Pulsante premuto (vero=1/falso=0) = C
Accensione Luce F = ?

F è in **forma canonica** e può essere minimizzata

$$F = !A*!B*C+!A*B*!C+!A*B*C+A*!B*C+A*B*C$$

$$F = !A*!B*C+!A*B*!C+!A*B*C+!A*B*C+A*!B*C+A*B*C$$

$$F = !A*C+!A*B+A*C = !A*C+A*C+!A*B = C+!A*B$$

Esistono metodi come le mappe di Karnaugh

Oppure programmi come Logic Friday

<https://logic-friday.software.informer.com/download/> lf113_setup.exe

Nota: un PC esegue velocemente anche la forma canonica

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1



Prerequisiti di Informatica: funzioni booleane

Esercizi

1. Dati due interruttori A e B, accendere una lampada C quando assumono valore diverso
2. Dati 3 interruttori A, B e C, fornire il valore D più probabile (di maggioranza) e accendere una lampada E quando i tre interruttori non sono concordi
3. Disattivare la barriera di protezione F che impedisce il passaggio degli operatori se l'impianto A è fermo e c'è una richiesta B di manutenzione o se c'è un allarme C

Prerequisiti di Informatica: funzioni booleane

Le logiche di automazione ricevono informazioni in ingresso dai sensori e inviano le informazioni di uscita agli attuatori

Sensore = elemento che converte una grandezza fisica in un segnale elettrico

Attuatore = elemento che converte un segnale elettrico in una grandezza fisica

Sensori e attuatori possono essere:

- analogici
- binari
- numerici o smart

Nota: le logiche di automazione ricevono ingressi anche dall'uomo e forniscono informazioni all'uomo

Prerequisiti di Elettronica: pulsanti e interruttori

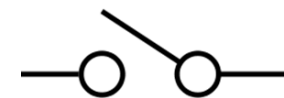
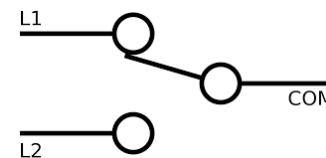
Pulsante

Ha uno stato di riposo (non attivo) e, se attivato (premuto) cambia stato, ma torna al suo stato di riposo (non premuto) non appena viene rilasciato



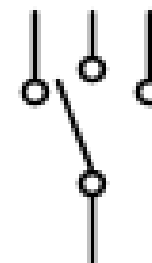
Interruttore (deviatore)

Ha due stati stabili, aperto e chiuso, e l'operatore può commutare tra i due stati



Selettore

Ha n stati stabili e l'operatore può commutare tra gli n stati



NOTA: sono tutti oggetti a logica booleana

Prerequisiti di Elettronica: sensori

I sensori in ambiente industriale misurano varie grandezze fisiche:

- **Parametri ambientali:** temperatura, umidità, pressione
- **Parametri di processo:** temperatura, umidità, pressione, portata, concentrazioni chimiche...
- **NOTA:** i parametri di processo sono più difficili da misurare (misurare una temperatura di 30°C è più facile di 300°C o di 3000°C)
- **Parametri legati alla movimentazione:** corrente motore, velocità motore, posizione motore, temperatura motore, posizione/presenza oggetti,...
- **Informazioni booleane "a soglia":** è nel raggio di azione, supera una soglia, è positivo, è nelle tolleranze stabilite,...

Prerequisiti di Elettronica: sensori

Un sensore per ambiente industriale si caratterizza da:

- **Caratteristiche statiche:** range, stabilità, linearità, sensibilità, ..
 - descrivono le prestazioni del sensore in condizioni normali con variazioni lente dell'ingresso ed in assenza di sollecitazioni esterne
- **Caratteristiche dinamiche:** tempo di risposta, frequenza di taglio,...
 - descrivono il comportamento del sensore alle variazioni dell'ingresso nel tempo
- **Caratteristiche ambientali:** sensibilità termica, alle vibrazioni,..
 - si riferiscono alle prestazioni del sensore dopo l'esposizione -condizioni ambientali non operative- o durante l'esposizione –condizioni ambientali operative- a specifiche sollecitazioni esterne
- **Caratteristiche di affidabilità:** tasso di guasto, vita media al guasto
 - sono relazionate alla vita utile del sensore e a possibili cause di mal funzionamento nel sistema in cui è inserito

Prerequisiti di Elettronica: sensori

Caratteristiche statiche: funzione di trasferimento e linearità

- Un sensore, ad esempio di temperatura T e con uscita in tensione V , ha funzione di trasferimento $V = f(T)$
- **Processo di misura:**
 - Alimento il sensore e lo collego correttamente ("cablo il sensore")
 - Misuro V
 - Conosco la relazione $V = f(T)$ che verifico dal "datasheet" del sensore o che ottengo calibrando per punti (metto il sensore a T_1 e misuro V_1 , metto il sensore a T_2 e misuro V_2 , ecc. e ottengo il polinomio per n punti)
 - Applico $\langle T \rangle = f^{-1}(V)$ e ottengo la stima $\langle T \rangle$ di T
- **NOTA:** la funzione inversa della funzione lineare è ancora una funzione lineare $\Rightarrow$ i costruttori di sensori fanno di tutto per offrirci sensori lineari a meno di un piccolo errore (errore di linearità)

Prerequisiti di Elettronica: sensori e linearità

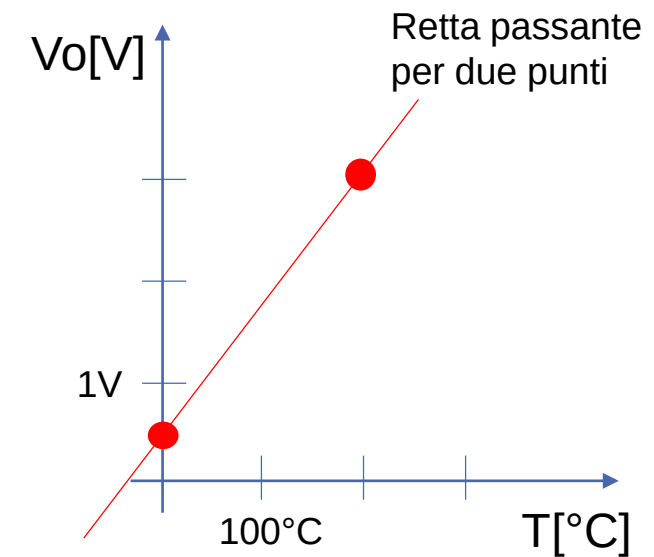
Esercizio: un sensore di temperatura T ha un'uscita in tensione $V=2(T-20^{\circ}\text{C})/100^{\circ}\text{C}$

- Se misuro una tensione $V=1,5\text{ V}$ quanto vale la temperatura T ?
 - $V=2(T-20^{\circ}\text{C})/100^{\circ}\text{C}$ quindi $V \cdot 50^{\circ}\text{C} = T - 20^{\circ}\text{C}$ quindi **$T = V \cdot 50^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C}$** sostituendo a $V=1,5\text{V}$ ottengo $T=75^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = \mathbf{95^{\circ}\text{C}}$
- Se riesco a misurare solo tensioni V da 0V a 5V , qual è la minima e la massima temperatura misurabile?
 - Dalla caratteristica inversa **$T = V \cdot 50^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C}$** sostituisco i valori minimi e massimi di tensione. $V=0\text{V} \Rightarrow T=20^{\circ}\text{C}$; $V=5\text{V} \Rightarrow T=270^{\circ}\text{C}$. **$20^{\circ}\text{C} < T < 270^{\circ}\text{C}$**
- Per misurare temperature da 0°C a 500°C , quali tensioni devo essere in grado di misurare? (La tensione si misura con un convertitore AD)
 - Dalla caratteristica di trasferimento **$V=2(T-20^{\circ}\text{C})/100^{\circ}\text{C}$** inserisco i valori di temperatura T e ottengo i corrispondenti valori di tensione V .
 $T=0^{\circ}\text{C} \Rightarrow V=-0,4\text{V}$; $T=500^{\circ}\text{C} \Rightarrow V=9,6\text{V}$. **$-0,4\text{V} < V < 9,6\text{V}$**

Prerequisiti di Elettronica: sensori e linearità

Esercizio: un sensore di temperatura T ha un'uscita in tensione V_o che vale $0,5V$ quando la temperatura T è $0^{\circ}C$ e che vale $3V$ se $T=200^{\circ}C$

- Qual è la caratteristica di trasferimento?
 - Formula della retta passante per due punti
 $(V-0,5V)/(3V-0,5V)=(T-0^{\circ}C)/(200^{\circ}C-0^{\circ}C)$ quindi
 $V=(T \cdot 2,5V/200^{\circ}C)+0,5V$ mentre la relazione inversa è
 $T= 200^{\circ}C(V-0,5V)/2,5V$
- Se misuro una tensione $V=1,5 V$ quanto vale T ?
 - Da $T= 200^{\circ}C(V-0,5V)/2,5V$ sostituendo $V=1,5V$ ottengo $T=200^{\circ}C(1/2,5)=80^{\circ}C$
- Se misuro solo $0V < V < 5V$, qual è il "**range**" di T ?
 - Da $T= 200^{\circ}C(V-0,5V)/2,5V$ ottengo $-40^{\circ}C < T < 360^{\circ}C$
- Per misurare $0^{\circ}C < T < 500^{\circ}C$, qual è il range di V ? $0^{\circ}C \Rightarrow 0,5V$; $500^{\circ}C \Rightarrow 6,75V$



Prerequisiti di Elettronica: sensori booleani

Sensori a soglia

- Temperatura maggiore di T_0 ,
- Pressione minore di P_0 ,
- Livello sopra soglia,
- Luce sopra soglia, ...

Sensori di prossimità e finecorsa

- Finecorsa meccanico (a contatto e blocca)
- Finecorsa magnetico (funziona senza contatto)
- Finecorsa induttivo o proximity (rilevatore di presenza, distanza di $\sim$ mm/cm)
- Cellula fotoelettrica (il corpo interferisce con il fascio di luce iR trasmesso che viene rilevato male)

- ...

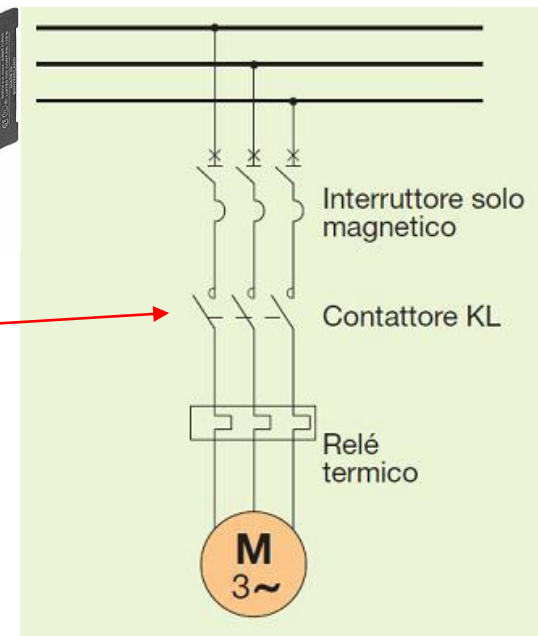


Prerequisiti di Elettronica: attuatori booleani

Da operatore: interruttori di ultima protezione

Da sistema automatico:

- Interruttori (es. avviamento/arresto motori a inserzione diretta)
- Lampade
- Sirene acustiche
- Forni, impianti di riscaldamento/raffrescamento ON/OFF
- Elettromagneti di separazione e/o sollevamento rottami ferrosi
- Freni
- Valvole



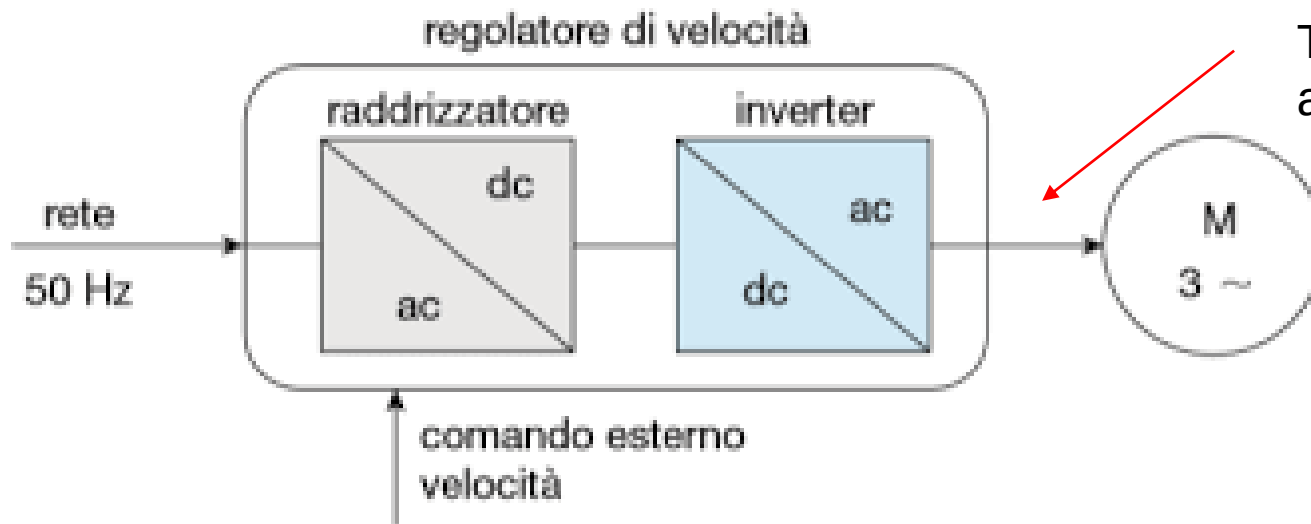
Prerequisiti di Elettronica: attuatori complessi

Soft starter

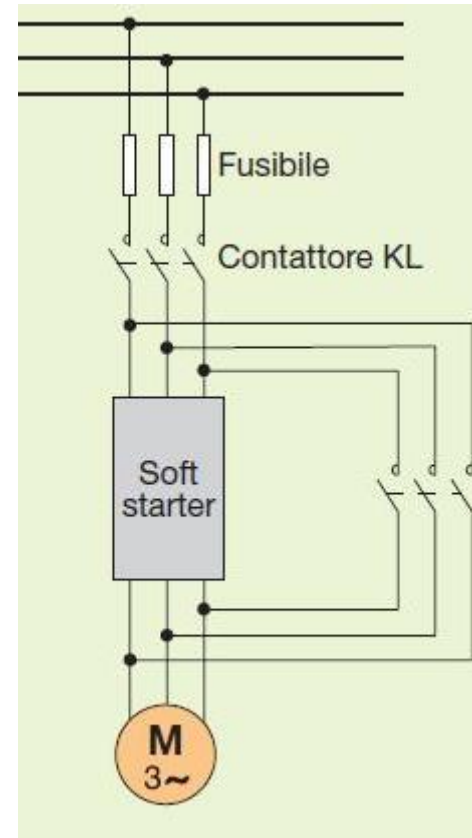
I motori, da fermi, non convertono tutta la potenza elettrica in potenza meccanica ma in calore (che rovina); all'avviamento si dà meno potenza e il soft starter regola la potenza in avviamento e poi si "esclude" mantenendo il controllo e le protezioni

Azionamento (inverter)

Permettono di regolare potenza e velocità del motore



Trifase a frequenza e
ampiezza variabile



Es. nelle auto elettriche il motore sincrono brushless è alimentato da un inverter

<https://www.newsauto.it/guide/motore-auto-elettrica-2020-251237/#:~:text=L'inverter%2C%20il%20controllo%20di%20gestione%20del%20motore%20elettrico&text=Come%20funziona%3F,potenza%20pilotati%20da%20un%20microcontrollore.>

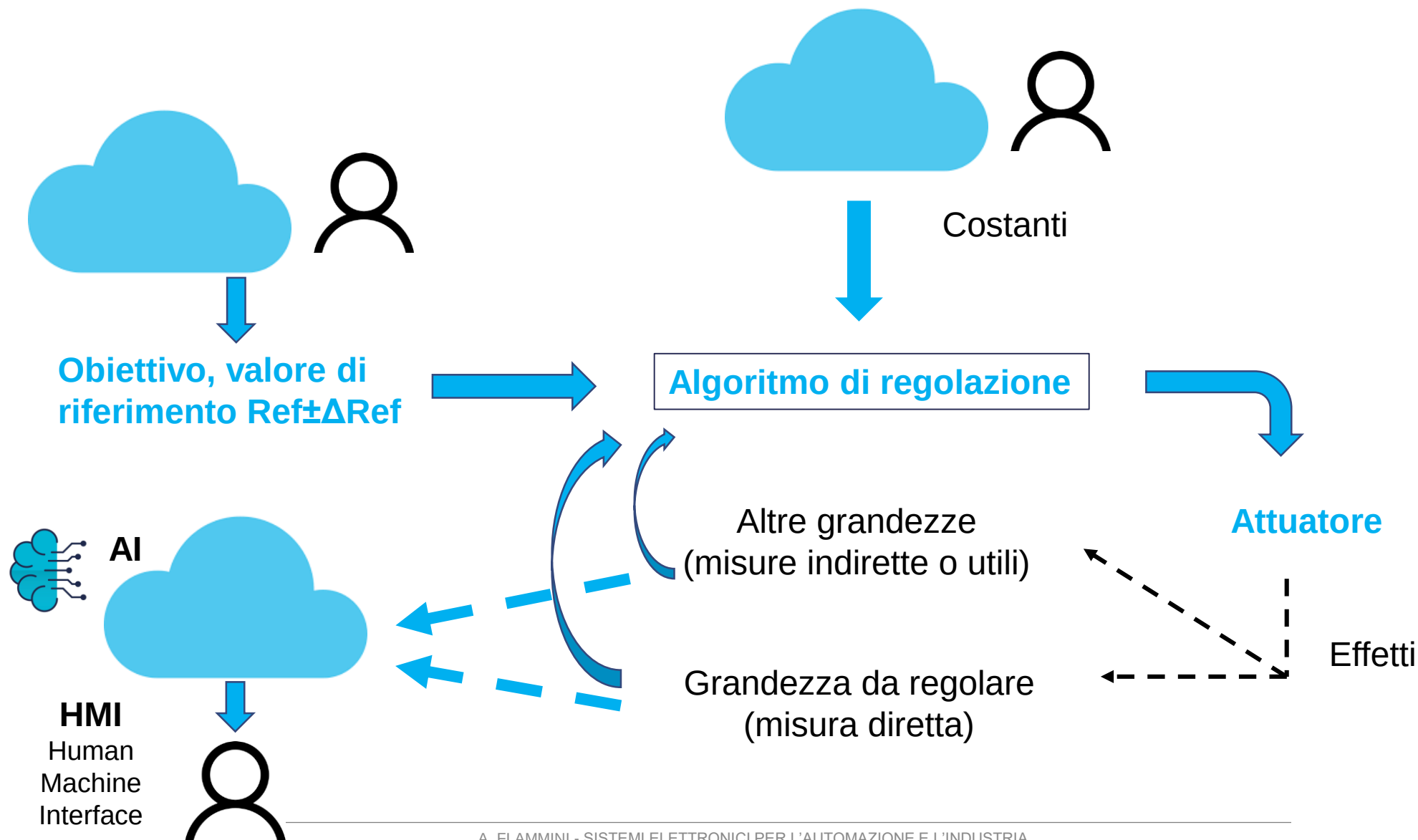
<https://www.youtube.com/watch?v=AQGK0tA-DW0>

Prerequisiti di Elettronica: regolazione di grandezze

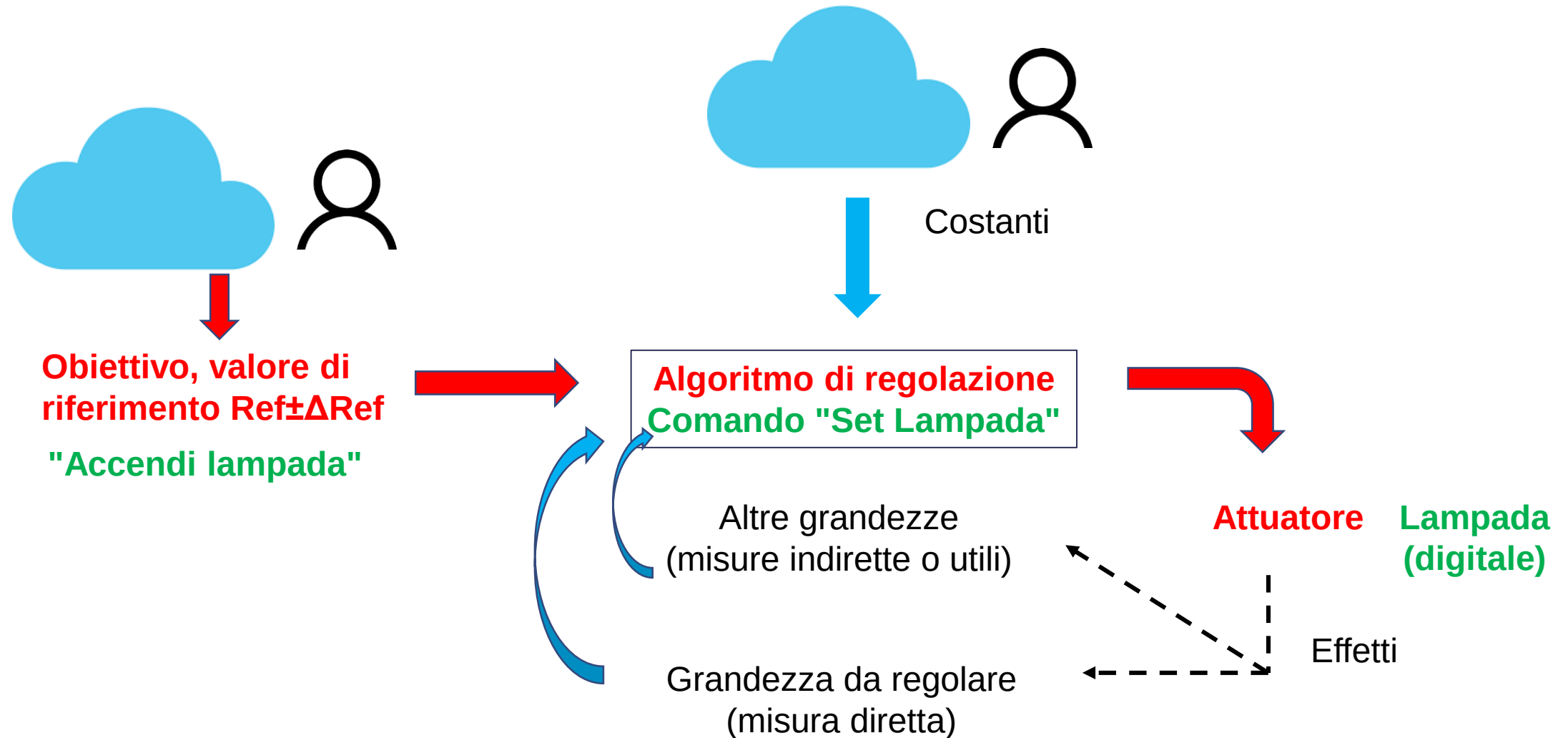
Gli attuatori sono spesso utilizzati per regolare alcune grandezze

- Regola l'azionamento del motore **per mantenere costante la velocità** indipendentemente dal carico di lavoro (coppia)
 - Una strategia, è necessaria la misura della velocità, utile la misura della coppia
- Regola l'intensità del calore di un forno, oppure accendi e spegni il forno **per mantenere la temperatura costante entro certi limiti**
 - Due possibili strategie (attuatore analogico o digitale), misura della temperatura
- Regola l'apertura di una valvola così da regolare il flusso per riempire una bottiglia ad un certo livello, oppure apri e chiudi la valvola per riempire una bottiglia ad un **livello costante entro certi limiti**
 - Due possibili strategie (attuatore analogico o digitale), misura del livello della bottiglia (grandezza obiettivo) o del flusso (grandezza indiretta, valida per ogni formato di bottiglia)

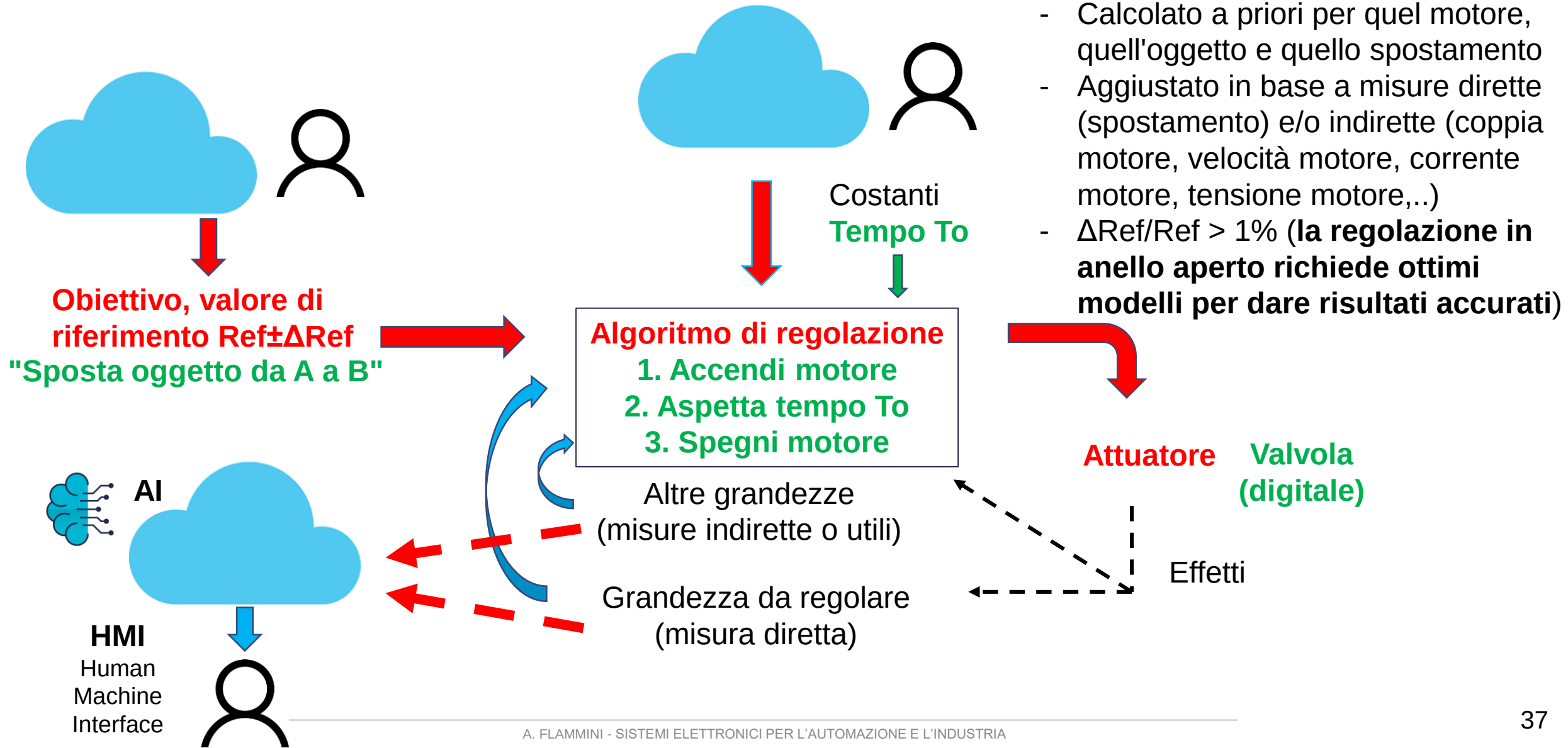
Prerequisiti di Elettronica: regolazione di grandezze



Prerequisiti di Elettronica: comandi



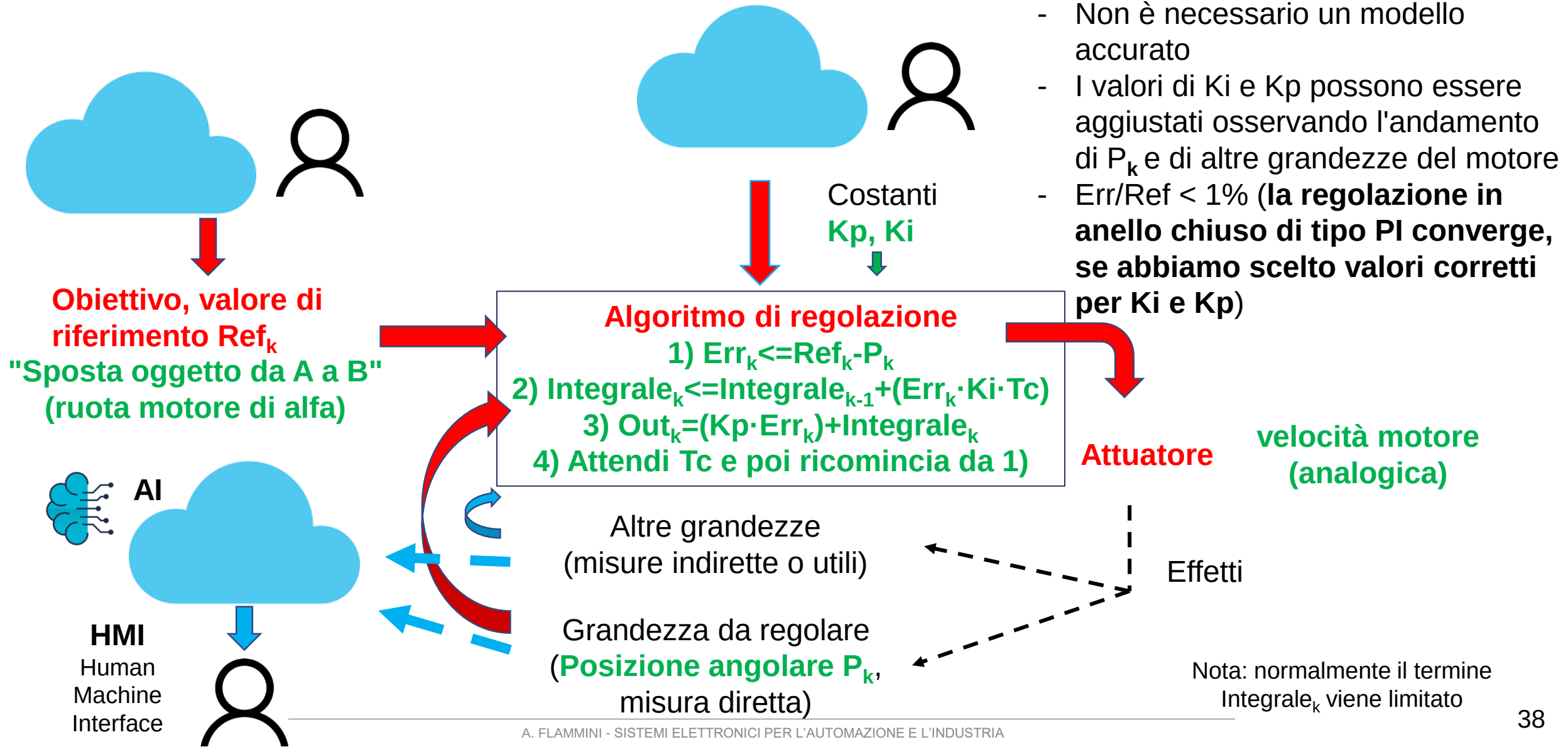
Prerequisiti di Elettronica: regolazione in anello aperto



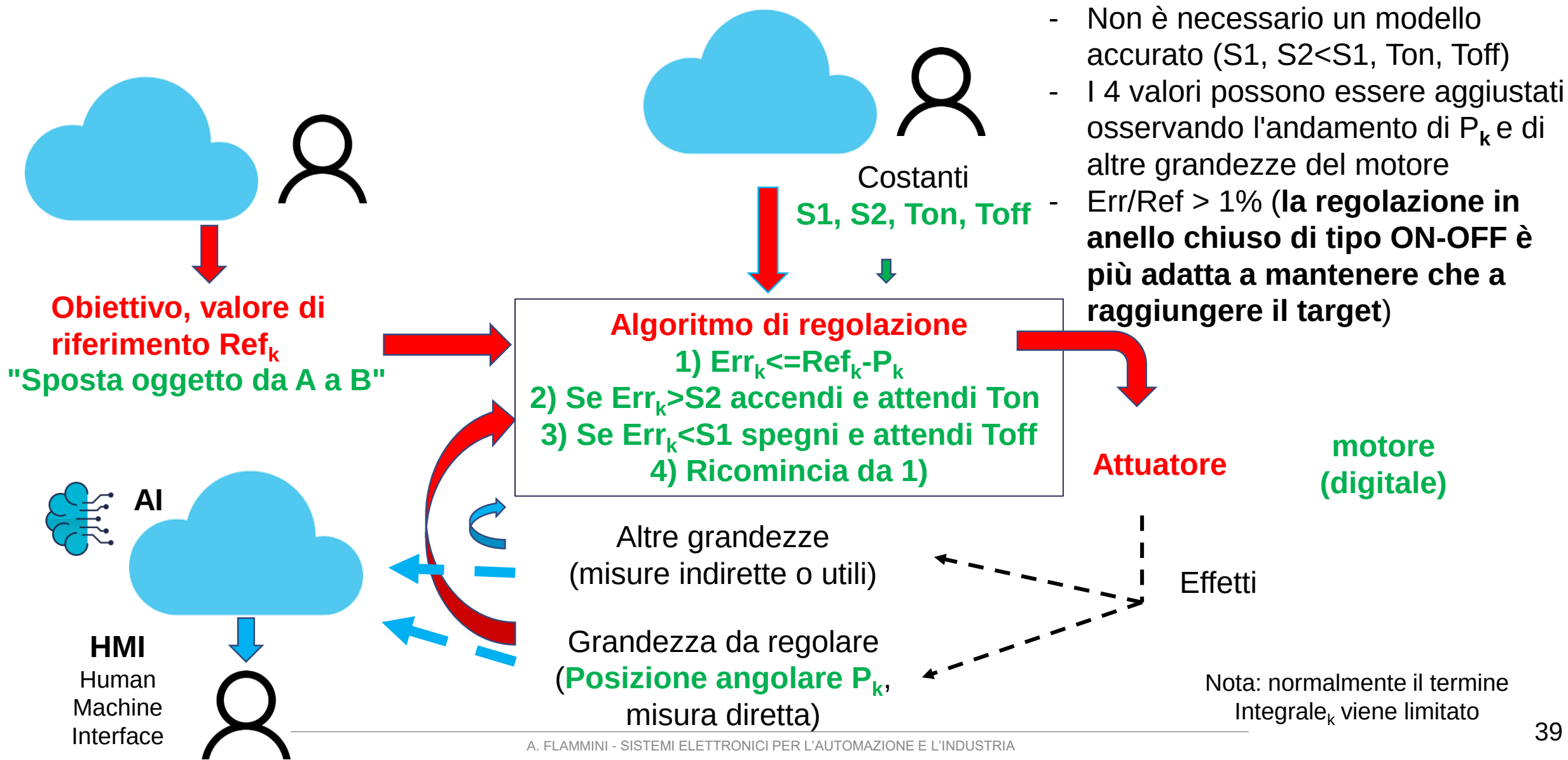
NOTA: To può essere:

- Calcolato a priori per quel motore, quell'oggetto e quello spostamento
- Aggiustato in base a misure dirette (spostamento) e/o indirette (coppia motore, velocità motore, corrente motore, tensione motore,...)
- $\Delta Ref/Ref > 1\%$ (la regolazione in anello aperto richiede ottimi modelli per dare risultati accurati)

Prerequisiti di Elettronica: regolazione in anello chiuso (PI)



Prerequisiti di Elettronica: regolazione ON-OFF



Prerequisiti di Elettronica: regolazione di attuatori termici

I "riscaldatori" hanno tipicamente comandi booleani (accendi, spegni)

Tecniche per mantenere la temperatura T a $T_0 - 2^\circ\text{C} < T < T_0 + 2^\circ\text{C}$

- Regolazione ad anello aperto

Conosco la velocità con la quale la temperatura cresce e decresce per cui accendo, aspetto un tempo T_1 , spengo, aspetto un tempo T_0 e ricomincio

Molto facile, posso misurare la temperatura (e altro) quando voglio per verifica ed eventualmente ricalcolare T_1 e T_0 (controllo di processo)

- Regolazione ad anello chiuso PI (o PID, dove D sta per "derivativo")

Leggo la temperatura T a intervalli costanti (serie di valori T_k) e accendo e spengo in base ad algoritmi che si basano sui valori letti T_k e sul target T_0

Complicato, implica un campionamento equidistante

Prerequisiti di Elettronica: regolazione di attuatori termici

Tecniche per mantenere la temperatura T a $T_o - 2^\circ\text{C} < T < T_o + 2^\circ\text{C}$ (Cont.)

- Regolazione ad anello chiuso ON-OFF

Se $T > T_o + 1,5^\circ\text{C}$ allora spengo (inerzia termica)

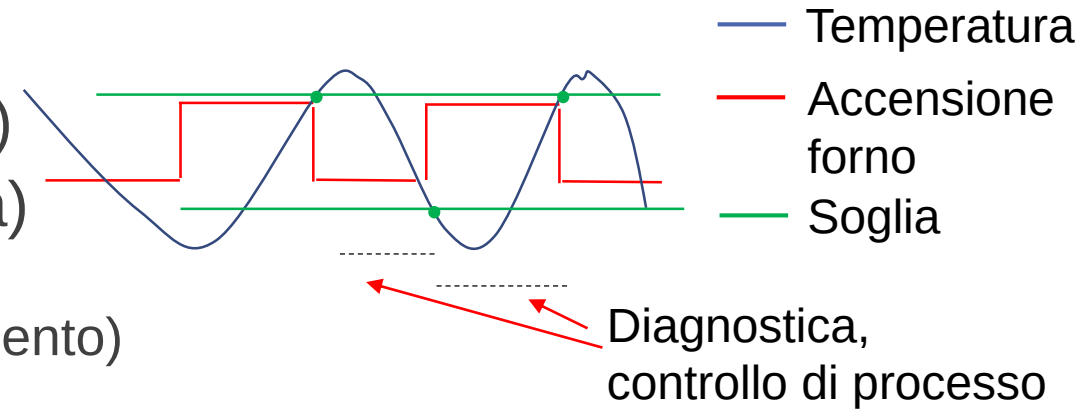
Se $T < T_o - 1,5^\circ\text{C}$ allora accendo (inerzia termica)

Altrimenti non modifico niente

(se era acceso rimane acceso, se era spento rimane spento)

Molto semplice

Unici parametri: T_c e la soglia di tolleranza (es. $1,5^\circ\text{C}$ per avere $T_o - 2^\circ\text{C} < T < T_o + 2^\circ\text{C}$)



- Regolazione ad anello chiuso PID (Setpoint= T_o), attuatore binario ON-OFF

- Regolazione PI (Errore $\text{Err}_k = \text{Setpoint}_k - T_k$)

$\text{Integrale}_k = \text{Integrale}_{k-1} + \text{Err}_k \cdot K_i \cdot T_c$ (T_c = tempo di campionamento)

$\text{Out}_k = \text{Integrale}_k + K_p \cdot \text{Err}_k$ (Out_k è un numero, come lo traduco in ON-OFF?)

$\text{Out}_k \leftrightarrow \text{Ton}$ di un'onda a 1KHz (PWM, attuazione in duty cycle –es. variatori luce–)

Prerequisiti di Elettronica: regolazione in anello aperto

Riempimento bottiglia

- attendi consensi al procedimento automatico (segnale digitale Abil=ON)
- attendi bottiglia (ossia attendi sensore presenza bottiglia OFF -> ON)
- apri valvola rubinetto
- attendi tempo T_o (es. $T_o = 0,74$ s)
- chiudi valvola rubinetto
- sposta bottiglia
- attendi assenza bottiglia (attendi sensore ON-> OFF)
- Ricomincia

Nessuna grandezza analogica tranne T_o , solo operazioni booleane

➡ Convertire esecuzione sequenziale in esecuzione parallela

Prerequisiti di Elettronica: regolazione in anello aperto

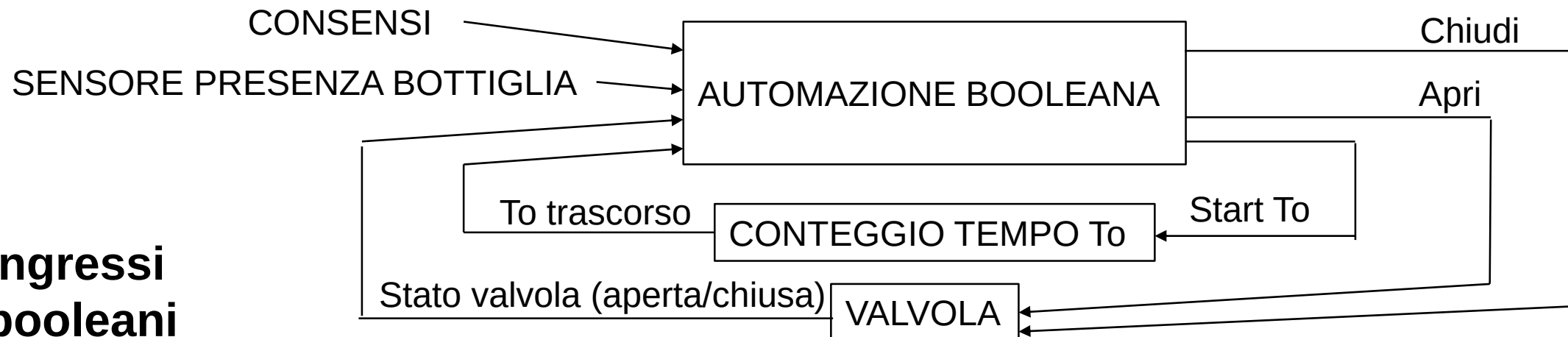
Riempimento bottiglia (sequenza automatica o manuale)

- se (consensi OK e valvola=chiuso e sensore presenza OFF->ON) allora apri valvola rubinetto e inizia a contare tempo To
- se (valvola=aperto e tempo To trascorso) allora chiudi valvola
- se (valvola da aperto a chiuso) allora sposta bottiglia

Serve rilevare le COMMUTAZIONI e non solo lo stato

**Uscite
booleane**

**Ingressi
booleani**



Prerequisiti di Elettronica: regolazione in anello aperto

Riempimento bottiglia (sequenza automatica) **Uso delle variabili A, B**

All'accensione **A<-OFF, B<-OFF**

- se (**A=OFF** e **B=OFF** e consensi OK e sensore presenza=ON) allora apri valvola rubinetto e inizia a contare tempo To e **B<-ON**
- se (**A=OFF** e **B=ON** e tempo To trascorso) allora chiudi valvola e **A<-ON**
- se (**A=ON** e **B=ON** e sensore presenza=ON) allora sposta bottiglia e **B<-OFF**
- se (**A=ON** e **B=OFF** e sensore presenza=OFF) allora **B<-OFF**

Mediante uso di **variabili** e/o rilevazione di cambiamenti di stato (transizioni) è possibile realizzare sequenze utilizzando elenchi di istruzioni che possono essere eseguiti in parallelo (si bloccano a vicenda)

