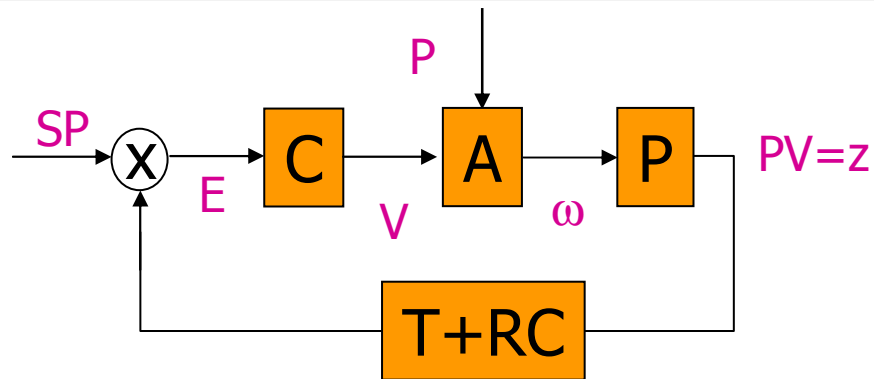
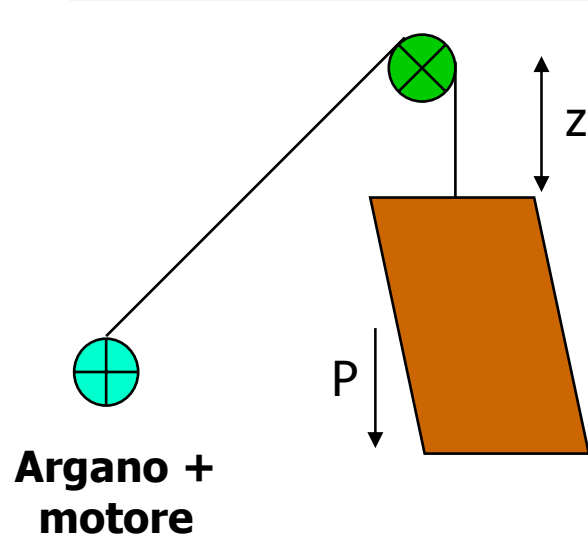


# CONTROLLO SOLLEVAMENTO PESI



$P$ =peso dell'oggetto da sollevare

$z$ =coordinata del punto di aggancio.

$T$ =sensore angolare: encoder (precisione e rapidità; potrebbe essere potenziometrico?)

$A$ =SCR (o TRIAC) + motore in corrente continua. Se la fune è tesa  $\omega$  motore = carrucola

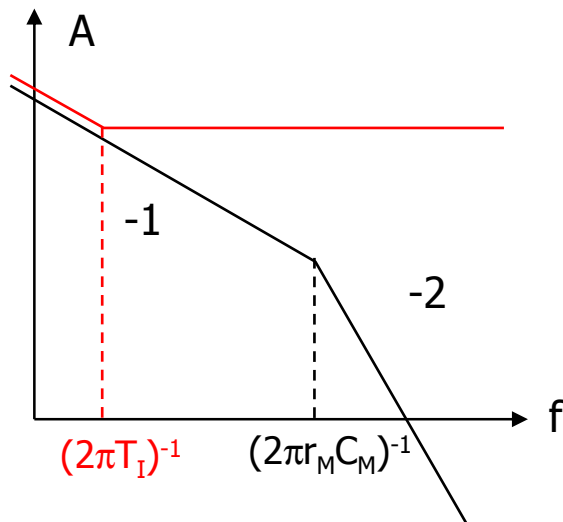
La scelta del trasduttore determina la f.d.t del processo: essendo  $z = k\rho\theta$  ( $\rho$  raggio rullo) si ha una relazione di tipo integrale in cui f. d. t. =  $k'\rho/s$  (in ingresso al processo ho la  $\omega$  del motore).

Per l'attuatore scegliamo un motore in corrente continua alimentato con un SCR.

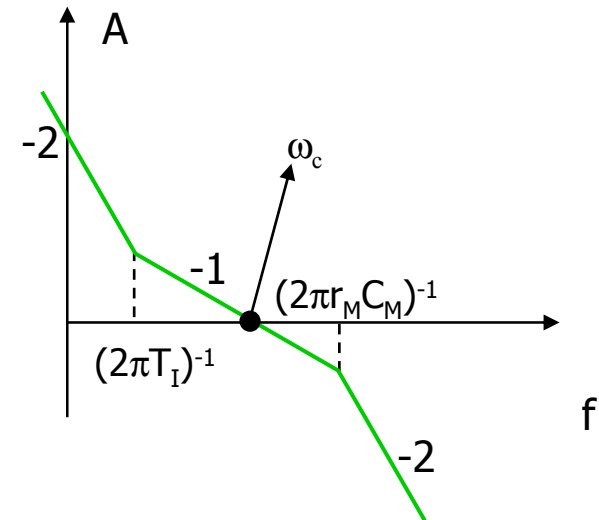
La f. d. t del motore è di tipo integratore approx.  $(1+srC_M)^{-1}$ , (si trascura  $L$  e  $r \ll R_M$ ).

# CONTROLLO PER SOLLEVAMENTO PESI

In condizioni nominali, il punto di aggancio sta ad un'altezza di riferimento fissa. Nel momento in cui viene agganciato un peso da sollevare esso determina una coppia di rotazione sull'argano e quindi sul motore che lo governa. Il peso dell'oggetto, se variabile (es. qualcosa che si posa sulla lamina appesa) viene visto come un 'disturbo' agente sull'attuatore  $\Rightarrow$  feedforward. Altrimenti non influenza la risposta in frequenza.



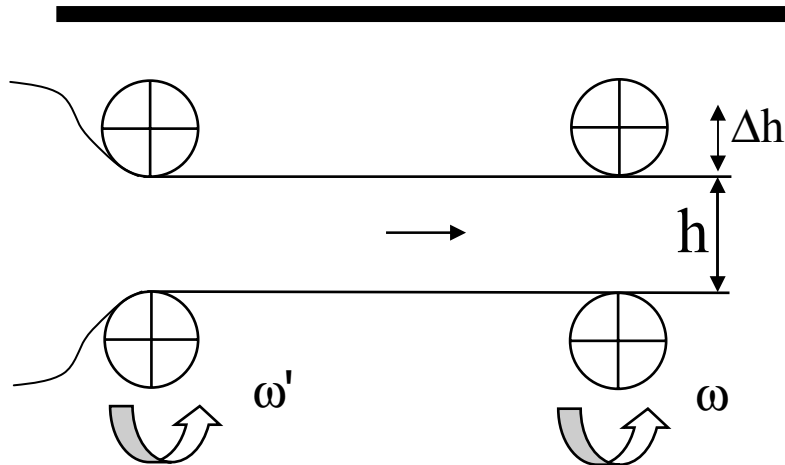
Usiamo un controllo PI con una  $T_I \gg r C_M$ .



Un controllo proporzionale potrebbe andare bene per la stabilità ma non per azzerare l'errore a regime.

Ok anche compensazione dinamica (aumenta la banda).

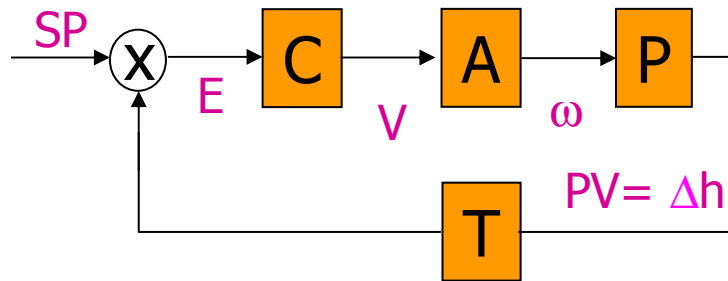
# LAMINATOIO



È data una coppia di rulli con libertà di ruotare a velocità differenti, per determinare lo spessore di materiale che passa in mezzo ad ogni coppia; fissata la velocità della prima coppia la seconda ruota ad una velocità multipla: se maggiore lamina più fine, se minore lamina più spessa.

Si vuole mantenere costante lo spessore ( $h$ ) del materiale che entra sotto i rulli.

$$\omega' = k\omega$$



Il controllo sul processo avviene tramite la velocità di rotazione dei rulli.

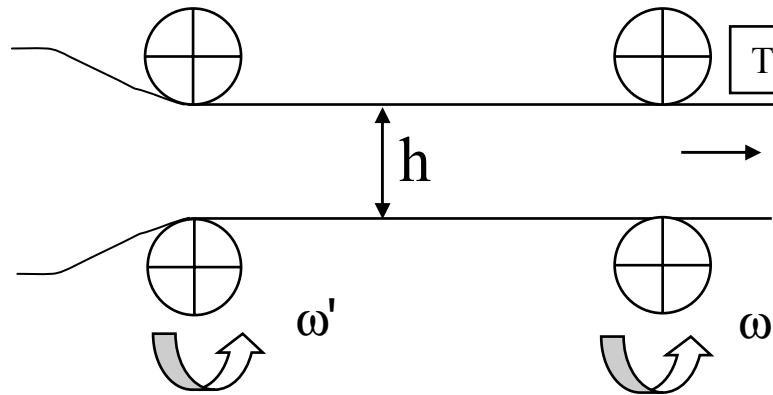
$$\Delta\theta r = k'\Delta h \text{ e } \Delta\theta = \Delta\omega/s \Rightarrow \Delta h = \Delta\omega r / sk'$$

L'attuatore necessario è un motore in corrente continua con f.d.t di tipo integratore approssimato.

Il trasduttore adatto è il differenziale + raddrizzatore perché fornisce la misura di uno spostamento relativo rispetto ad una posizione di riposo. Posizionato a valle della coppia di rulli  $\Rightarrow$

$$V = j\omega 2nh$$

# LAMINATOIO



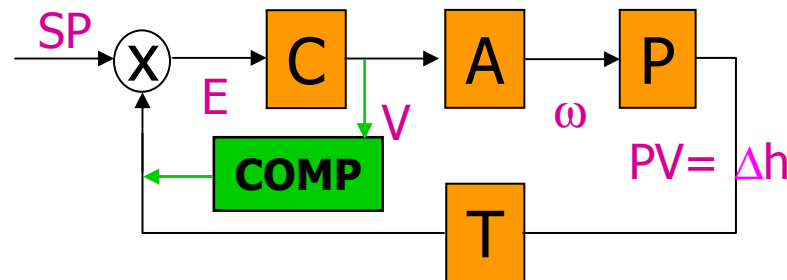
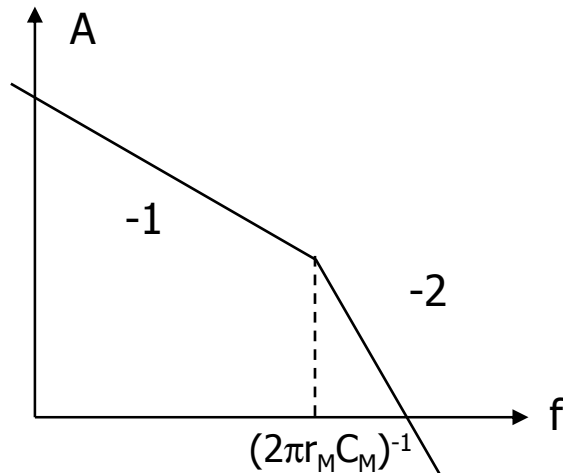
Funzione di trasferimento anello

$$\Delta h/\omega = k''/s(1+s\tau_1)$$

Possiamo anche ipotizzare la presenza di un ritardo di acquisizione della posizione.

L'espressione complessiva diviene:

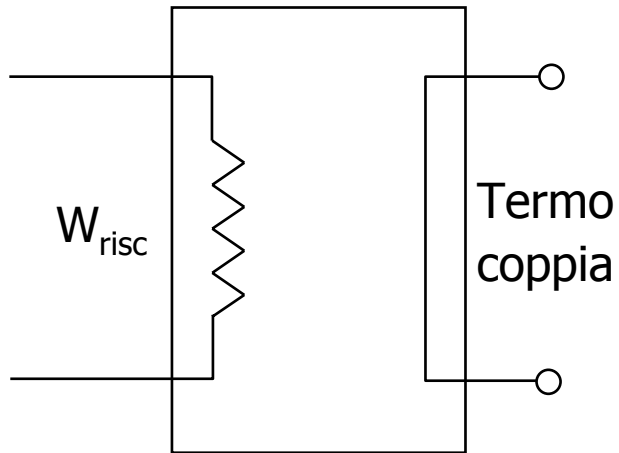
$$\Delta h/\omega = k''e^{-s\tau}/s(1+s\tau_1)$$



$$\text{COMP} = k''(1-e^{-s\tau})/s(1+st_1)$$

Se riusciamo a compensare il ritardo la situazione è stabilizzabile. Si usa un controllore numerico in grado di generare un ritardo  $\tau$ :  $n$  celle di memoria in cui il contenuto della variabile è traslato ad ogni  $T_s$  di campionamento:  $n = \tau/T_s$ . Il dato in memoria è generato con il ritardo voluto e trasformato nella tensione da sottrarre a quella del  $T+RC$  tramite DAC. A questo punto rimanendo solo 2 poli, si usa una comp. dinamica.

# FORNO



Modello del processo: il forno non è un integratore puro: ciò implicherebbe un accumulo senza perdite di potenza e dopo un po' si brucerebbe.

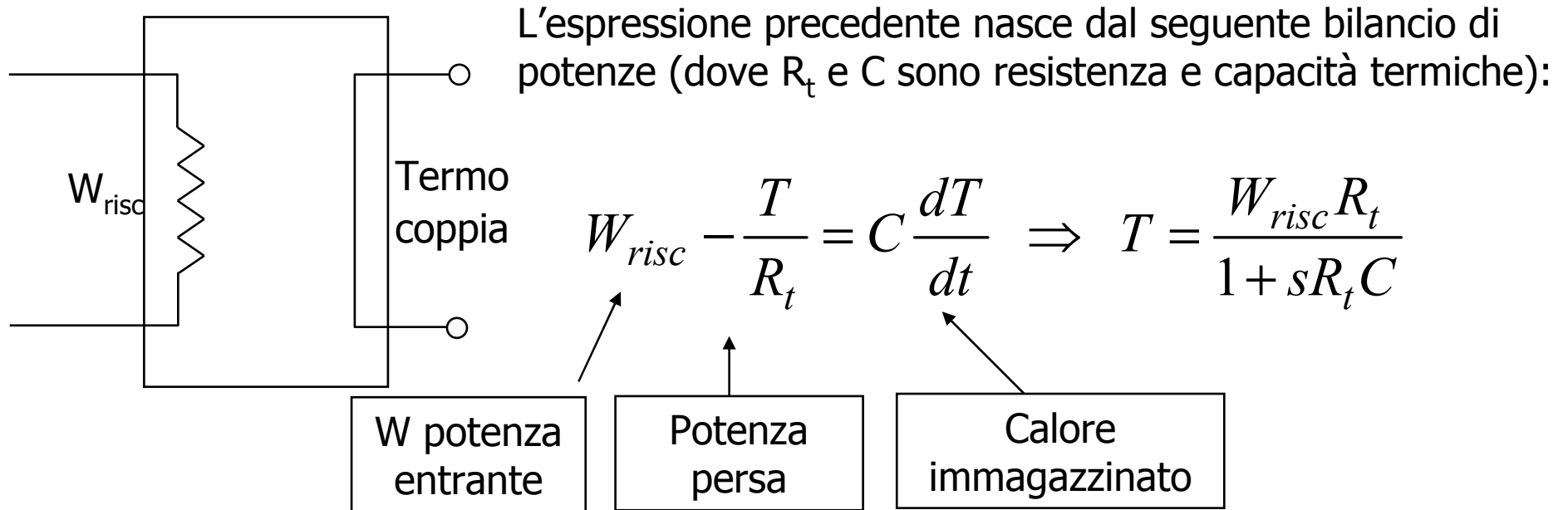
Inoltre, la potenza applicata non è esattamente  $\propto$  alla  $T^\circ$  perché all'inizio c'è un transitorio per cui all'atto dell'accensione la temperatura non sale linearmente né immediatamente.

Per questo conviene associare un termine di ritardo dovuto al transitorio iniziale.

Si usa quindi un modello RC ad integratore approssimato, con  $R$ =resistenza al passaggio di calore (isolamento rispetto all'esterno) e  $C$ =capacità termica di immagazzinamento del calore.

$$\frac{k}{(1 + s\tau)} e^{-sT_D} \quad \tau = RC$$

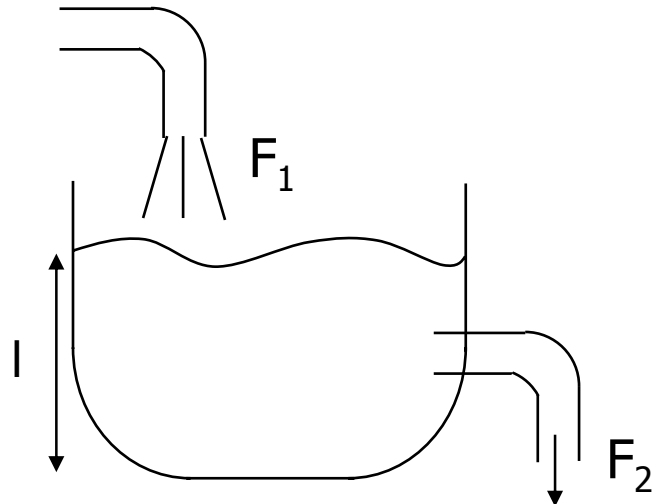
# FORNO



Modello dell'attuatore: tutte le volte che il segnale di alimentazione è in alternata conviene usare un SCR o addirittura un TRIAC per sfruttare tutta la potenza disponibile.

Il sistema complessivo presenta quindi 1 polo e un ritardo: compensando il ritardo con un predittore di Smith il sistema è stabile.

# RILEVAZIONE DI LIVELLO



$F_1 = \text{Flusso in entrata} - F_2 = \text{Flusso in uscita}$

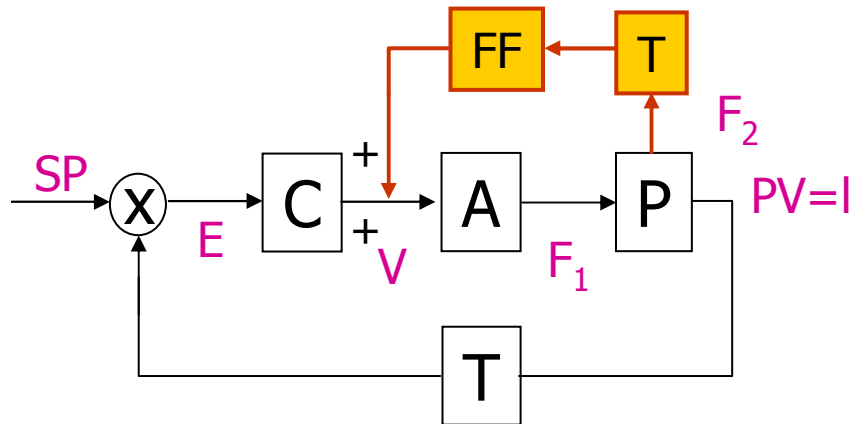
*f.d.t di processo*  $l = \frac{V_{liq}}{A} = \frac{\int_{t_0}^t (F_1 - F_2) dt}{A}$

$F_1$  è dato da un attuatore,  $F_2$  è considerabile un disturbo che altera il funzionamento del processo dal momento che non lo possiamo controllare. Qual è la f.d.t di una pompa? Potremmo associarne il funzionamento ad un integratore (perché?), quindi la f.d.t. complessiva di anello è:

$$l = \frac{F_1 - F_2}{As} = \frac{V}{As^2} - \frac{F_2}{As}$$

Adottiamo una soluzione di tipo feed-forward in cui andiamo a compensare l'influenza di  $F_2$  sulla PV (ammesso di poterla rilevare con un flussimetro posizionato opportunamente).

# RILEVAZIONE DI LIVELLO



Quanto vale la funzione di feed-forward?  
Calcoliamo la f.d.t. di anello senza FF

$$PV = \frac{F_1 - F_2}{As}$$

$$F_1 = f_A [V + FF \cdot F_2]$$

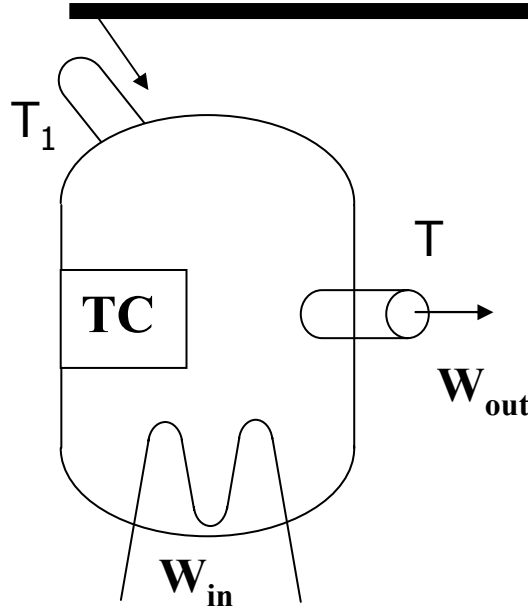
$$PV = \alpha F_2 + \beta F_1 = \beta f_A V + [\alpha + FF \cdot \beta f_A] F_2$$

$$[..]=0 \Rightarrow FF = -\frac{\alpha}{\beta f_A} \quad \text{con } \alpha = -\beta \frac{1}{sA} \text{ e } f_A = fdt \text{ attuatore}$$

Quindi FF non è perfettamente in fase con l'azione del disturbo sul processo



# BOILER



- $W_{in}$  potenza di riscaldamento fornita dalla resistenza di riscaldamento.
- $W_{out}$  potenza termica uscente che si suppone proporzionale alla differenza delle temperature ( $T$  e  $T_1$ )
- $C_T$  capacità termica del liquido.
- TC termocoppia posta all'interno del boiler per monitorare la temperatura alla quale si vuole riscaldare il liquido.
- Supponiamo che non siano presenti perdite termiche e trascuriamo il ritardo dovuto alla propagazione del calore all'interno del boiler.

**1-Si disegni lo schema a blocchi della catena di acquisizione/regolazione indicando le variabili in ingresso e uscita di ciascun blocco.**

**2-Si calcoli la funzione di trasferimento della catena così disegnata.**

**3-Si disegni il diagramma di Bode della funzione così determinata discutendo gli eventuali problemi di stabilità/instabilità.**

**4-Si realizzi il regolatore necessario a mantenere stabile il processo eventualmente avvalendosi dell'uso di un microprocessore (implementazione numerica).**

**5-Si disegni il circuito elettronico completo dell'attuatore che permette di regolare la potenza riscaldante in ingresso come funzione della tensione di alimentazione e della resistenza  $R$ .**

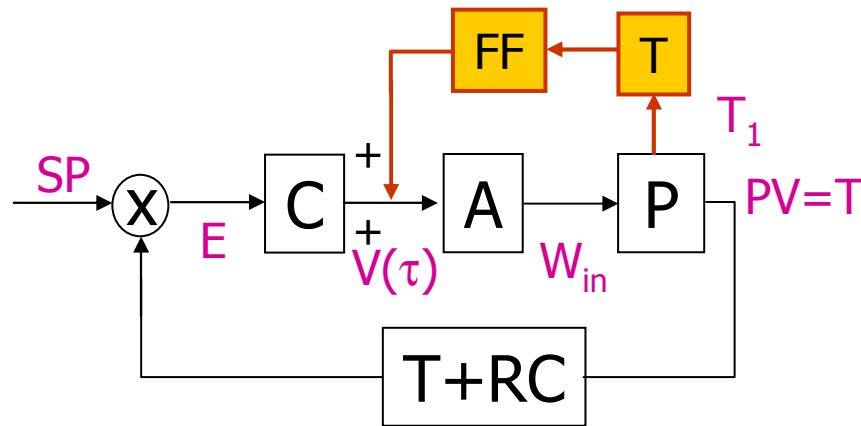
**6-Tenendo conto che per leggere una temperatura variabile da 0 a 100 gradi il sistema usa un ADC a 8 bit, si inserisca un circuito di set point che fissi la temperatura voluta a 50 gradi.**

# BOILER

$$W_{in} - W_{out} = c_T \frac{dT}{dt} \xrightarrow{\text{Laplace}} W_{in} - k(T - T_1) = s c_T T$$

$$W_{in} + kT_1 = T(k + s c_T) \quad T = \frac{W_{in} + kT_1}{k + s c_T}$$

$T_1$  agisce come disturbo, se non è noto. Necessario l'utilizzo di un FF (vedi caso precedente).



$$\Rightarrow \frac{T}{W_{in}} = \frac{k'}{1 + s\tau} \quad \text{stabile 1 solo polo}$$

Esiste un ritardo per effetto della distanza tra il punto di rilevamento della temperatura del liquido (termocoppia) e il luogo dove esso esce e dove viene effettivamente utilizzato.

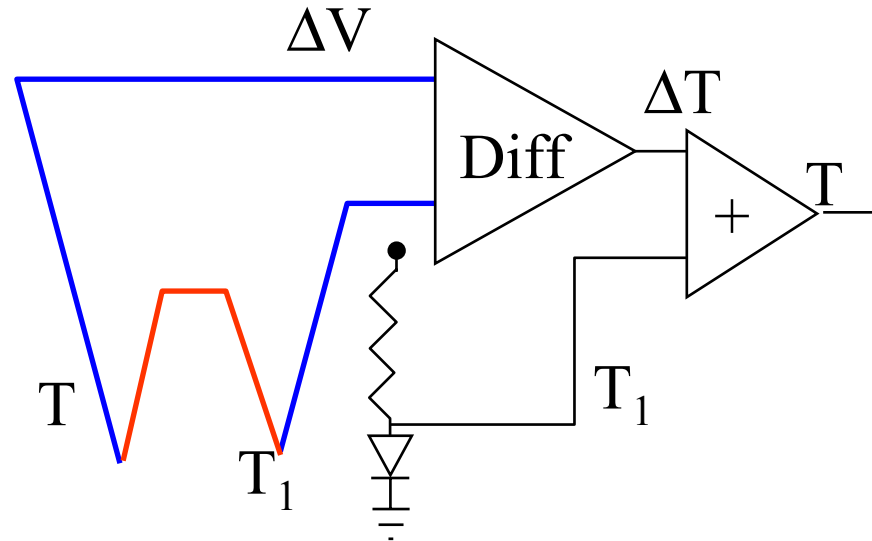
$$\Rightarrow \frac{T}{W_{in}} = \frac{k'}{1 + s\tau} e^{-sT_D}$$

Diagramma di Bode  $\Rightarrow$  stabile in modulo ma ritardo può far eccedere il margine di fase

Ritardo  $\Rightarrow$  predittore Smith

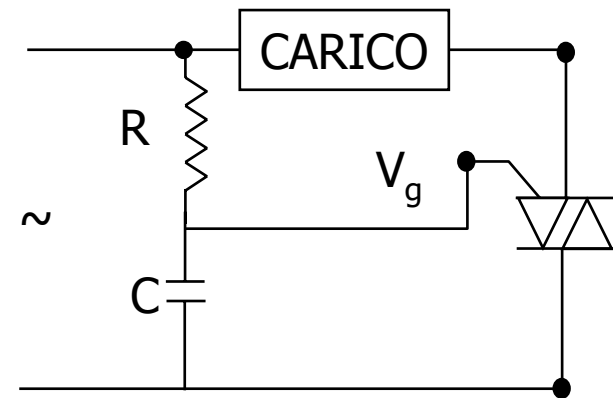
# BOILER

## Circuito completo di trasduttore e rete di condizionamento

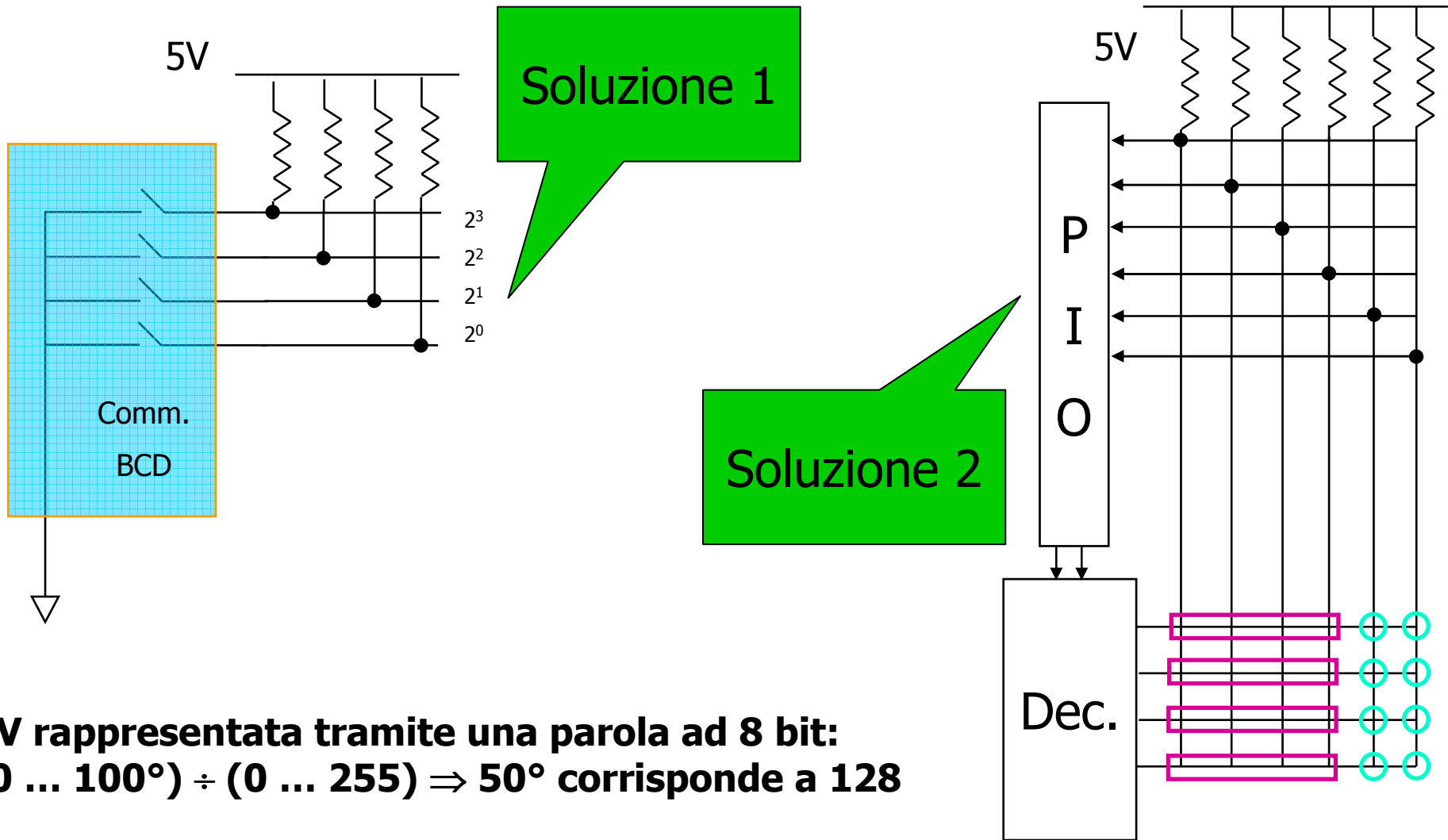


## Circuito completo di attuatore

- Triac per sfruttare tutta la potenza disponibile;
- ok anche l'SCR perché il fenomeno è lento
- ok la selezione dei periodi di rete anziché la parzializzazione
- circuito ko se devo cambiare spesso il ritardo di accensione. Soluzione controllata da  $\mu P$ .



# BOILER



Soluzione 1

Soluzione 2

**PV rappresentata tramite una parola ad 8 bit:  
(0 ... 100°) ÷ (0 ... 255) ⇒ 50° corrisponde a 128**