

Fondamenti di Automatica

Feedback vs Feedforward

Prof. Leonardo Lanari
DIS, Università di Roma "La Sapienza"

Problema di controllo

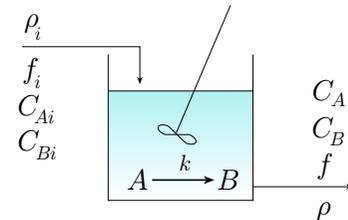
Problema di controllo:

imporre un funzionamento **desiderato** a un **processo** assegnato



Sistema di Controllo (Automatico)

- Processo: oggetto sul quale il problema è posto (es. impianto, apparecchiatura, dispositivo)



⇒ richiedere che l'andamento temporale di alcune variabili del processo coincida* con un andamento preassegnato (desiderato)

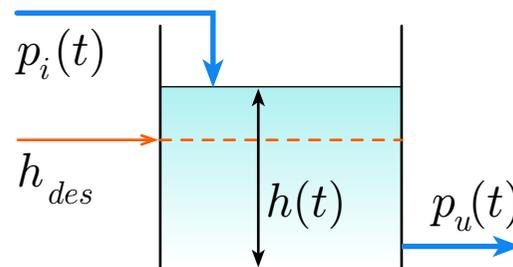
*almeno asintoticamente

Variabili principali

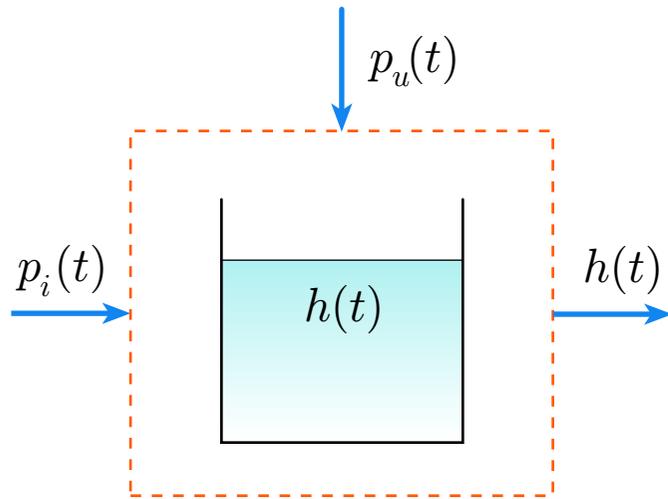
- Variabili controllate;
- Segnali di riferimento (andamento desiderato delle variabili controllate);
- Ingressi di controllo (possibilità di agire sul processo attraverso variabili manipolabili che ne influenzano l'evoluzione nel tempo);
- Disturbi (variabili esogene non manipolabili che influenzano l'evoluzione temporale del processo)

Esempio: serbatoio

- Variabile controllata = livello acqua $h(t)$;
- Segnale di riferimento = livello costante desiderato h_{des} ;
- Ingressi di controllo = portata volumetrica in ingresso $p_i(t)$;
- Disturbi = portata volumetrica in uscita $p_u(t)$ (richiesta da parte delle utenze)



Sistema dinamico



$$\frac{dV(t)}{dt} = \frac{dAh(t)}{dt} = A \frac{dh(t)}{dt} = p_i(t) - p_u(t)$$

Modello $\dot{h}(t) = \frac{1}{A} [p_i(t) - p_u(t)]$

Dati $h(0)$ e h_{des} , e ipotizzando $p_u(t) = 0$ conosco la quantità d'acqua da immettere per avere $h(t) = h_{des}$?

Solo se

- Conosco esattamente A (nessuna incertezza di modello);
- Non sono presenti altri disturbi (ad es. evaporazione, altre perdite)

⇒ assenza di incertezze:

- i valori dei parametri che caratterizzano il processo coincidono con i valori nominali del processo;
- assenza di disturbi.

Incertezze

Le variabili controllate dipendono da

- gli ingressi (o variabili) di controllo
(ingresso manipolabile → dinamica processo → variabili controllate);
- dai disturbi
(ingresso non manipolabile → dinamica processo → variabili controllate);
- parametri del processo (ad es. A per il serbatoio)

Condizioni nominali

- valori nominali dei parametri;
- andamenti prevedibili dei disturbi (ad es. costante, sinusoidale).

altrimenti ci troviamo in condizioni perturbate.

Obiettivi

Obiettivo ideale

variabili controllate \equiv riferimenti

(in generale obiettivo irraggiungibile)

obiettivo realistico

variabili controllate \approx riferimenti

oppure

errore $e(t) = \text{riferimento} - \text{variabile controllata} \approx 0$

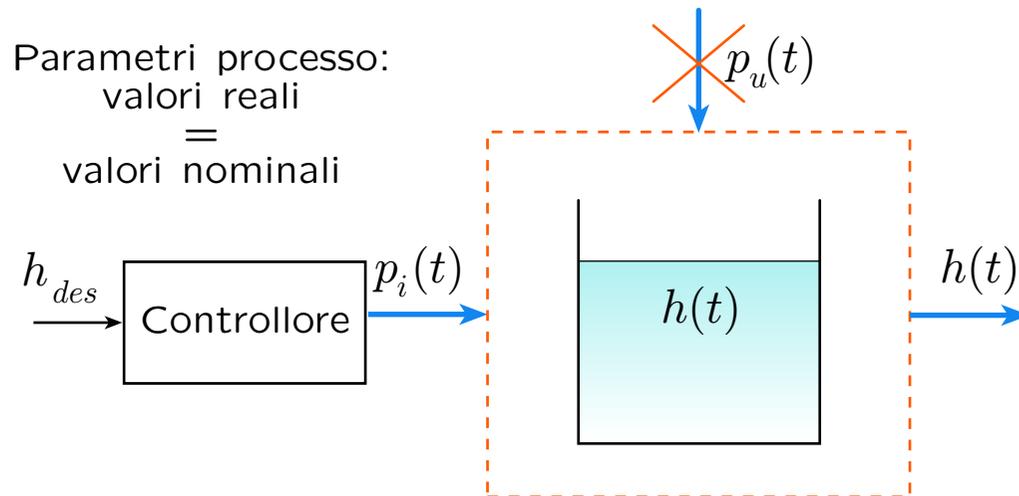
\approx deve essere definito caso per caso (specifiche)

Specifiche sull'errore $e(t)$: deve essere sufficientemente piccolo in tutte le condizioni di funzionamento di interesse

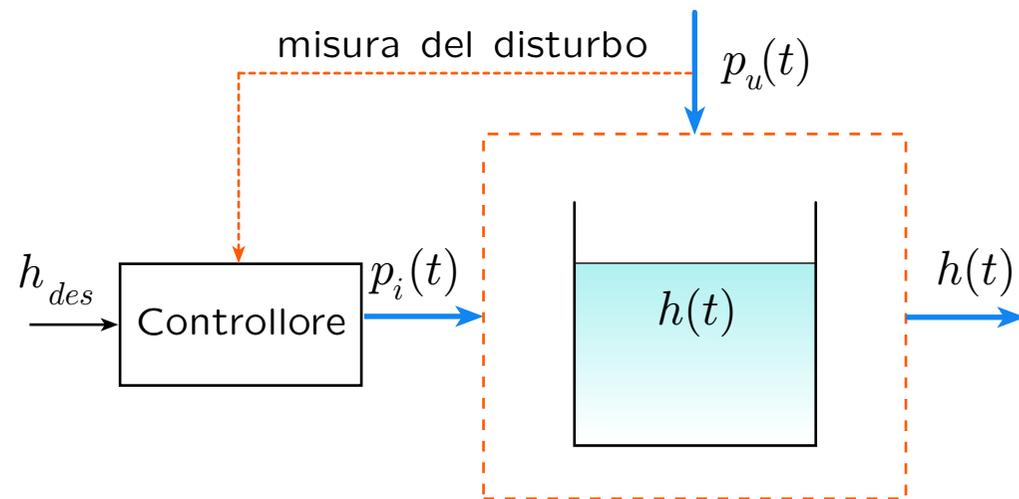
- rispetto ai valori che possono assumere i parametri del processo (condizioni nominali);
- rispetto agli andamenti prevedibili del riferimento;
- rispetto agli andamenti prevedibili del disturbo;

+ moderazione del controllo.

Schemi di Controllo



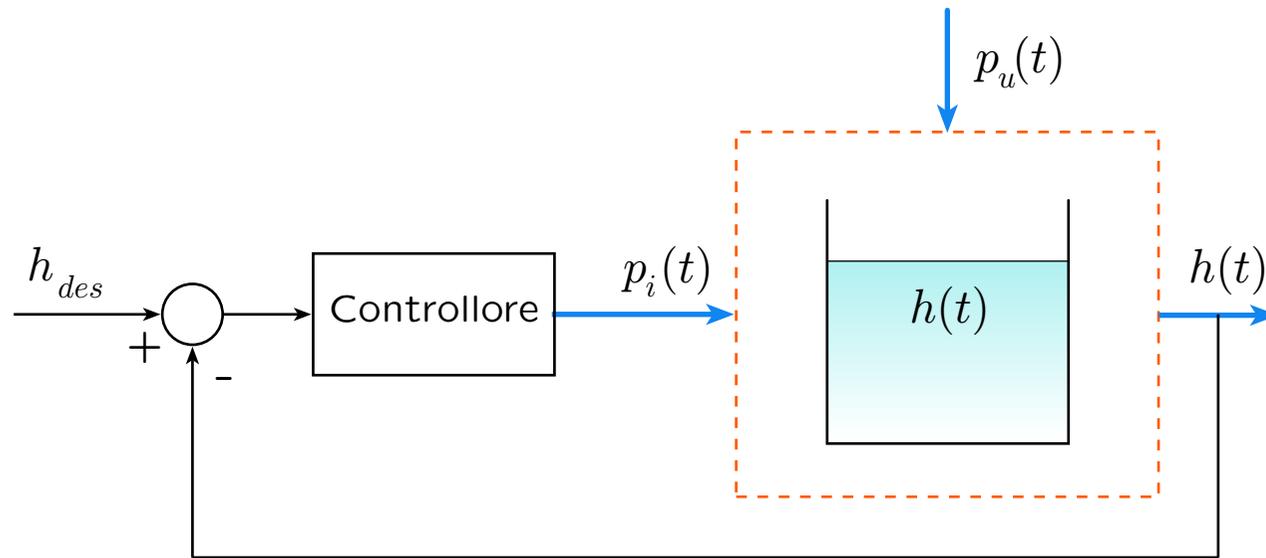
Schema di controllo ad anello aperto (reagisce solo sulla base delle informazioni date dal riferimento)



Schema di controllo ad anello aperto con compensazione diretta del disturbo (reagisce solo sulla base delle informazioni date dal riferimento e dal disturbo)

Il controllore in generale utilizza il modello del processo.

Schemi di Controllo



Schema di controllo
a retroazione

- gli effetti del disturbo sulla variabile controllata vengono percepiti (indipendentemente dal tipo di disturbo);
- non necessario misurare i disturbi (difficile in generale);
- eventuali funzionamenti in condizioni perturbate (es. parametri \neq parametri nominali) vengono percepiti.

Confronto

Schema di controllo ad anello aperto

- richiede la perfetta conoscenza del modello;
- assenza di disturbi;
- richiede meno sensori.

Schema di controllo ad anello aperto con compensazione del disturbo

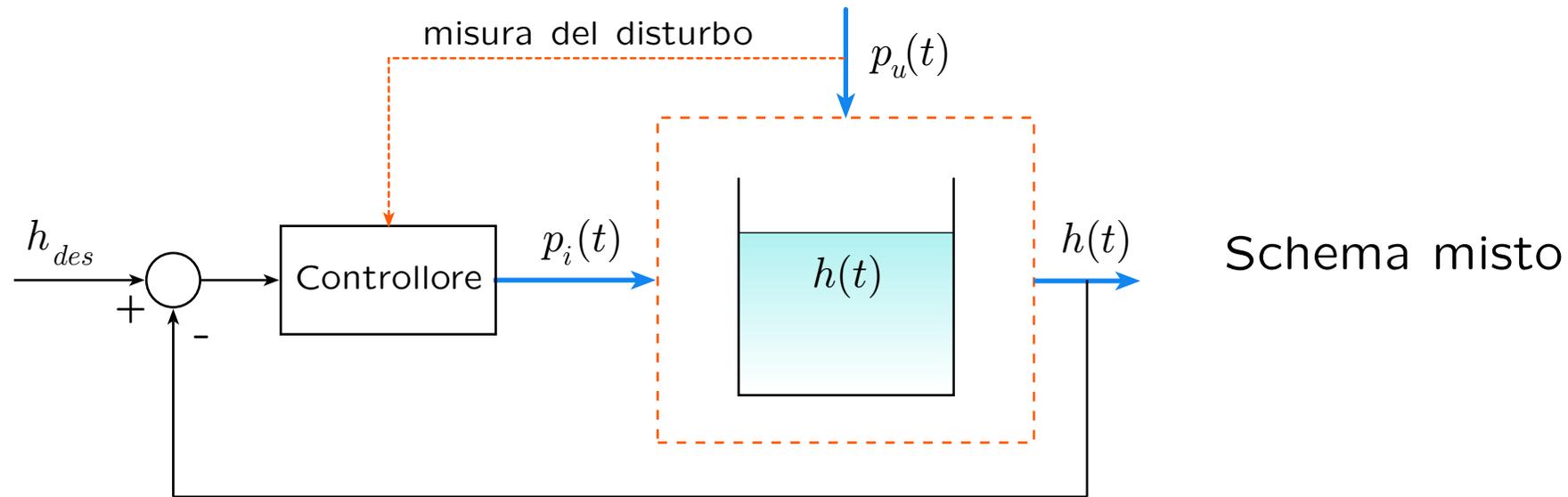
- richiede la perfetta conoscenza del modello;
- assenza di altri disturbi;
- guasti nel sensore del disturbo sono invisibili;
- richiede sensore disturbo.

Schema di controllo a retroazione

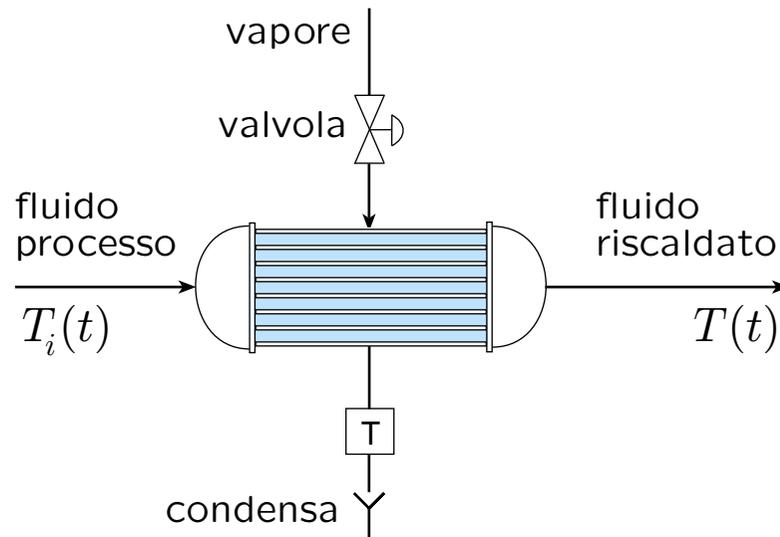
- si adegua rispetto alle incertezze di modello;
- in grado di far fronte a disturbi;
- richiede la misura della variabile controllata.

Schemi di Controllo

Schema di controllo a retroazione con compensazione del disturbo



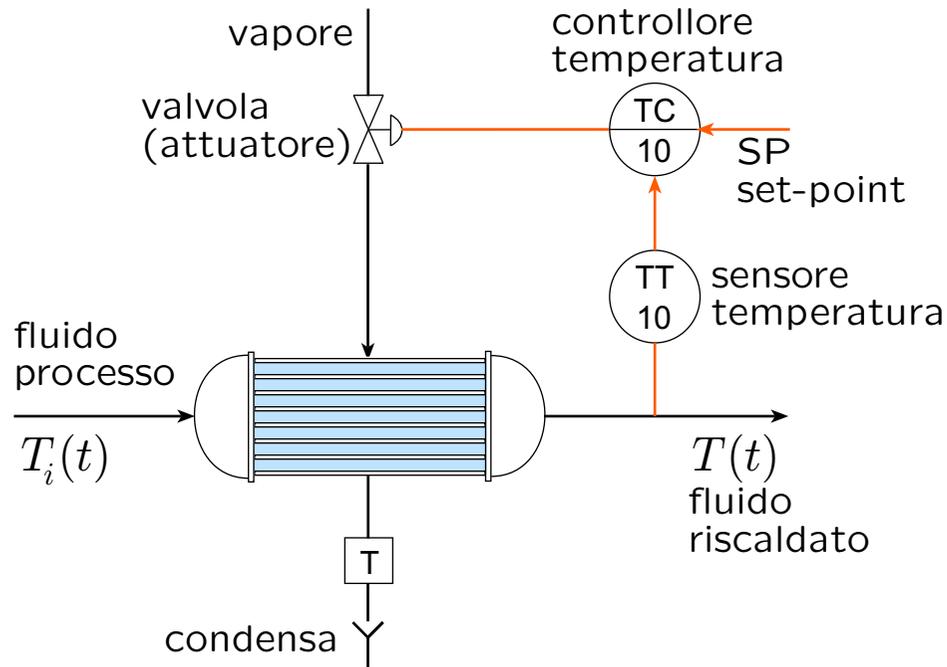
Esempio: scambiatore di calore



Scambiatore di calore

- obiettivo: riscaldare il fluido in ingresso da una temperatura $T_i(t)$ a un valore desiderato;
- il flusso di vapore è regolato dalla valvola;
- l'energia è fornita dal vapore;
- il liquido di condensazione viene eliminato;
- processo non semplice.

Esempio: scambiatore di calore (controllo a retroazione)



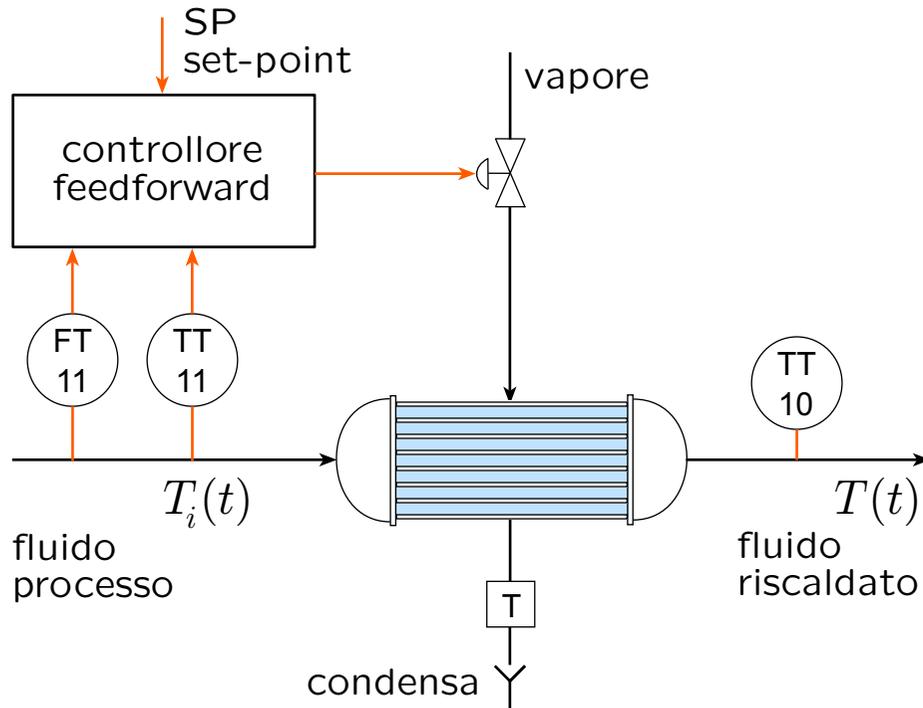
SP: set-point (valore desiderato della temperatura)

TC: controllore di temperatura

TT: trasduttore di temperatura

- la temperatura $T_i(t)$ può essere considerata un disturbo;
- il flusso in ingresso allo scambiatore $f(t)$ può anch'esso essere considerato un disturbo;

Esempio: scambiatore di calore (controllo feedforward)



SP: set-point (valore desiderato della temperatura)

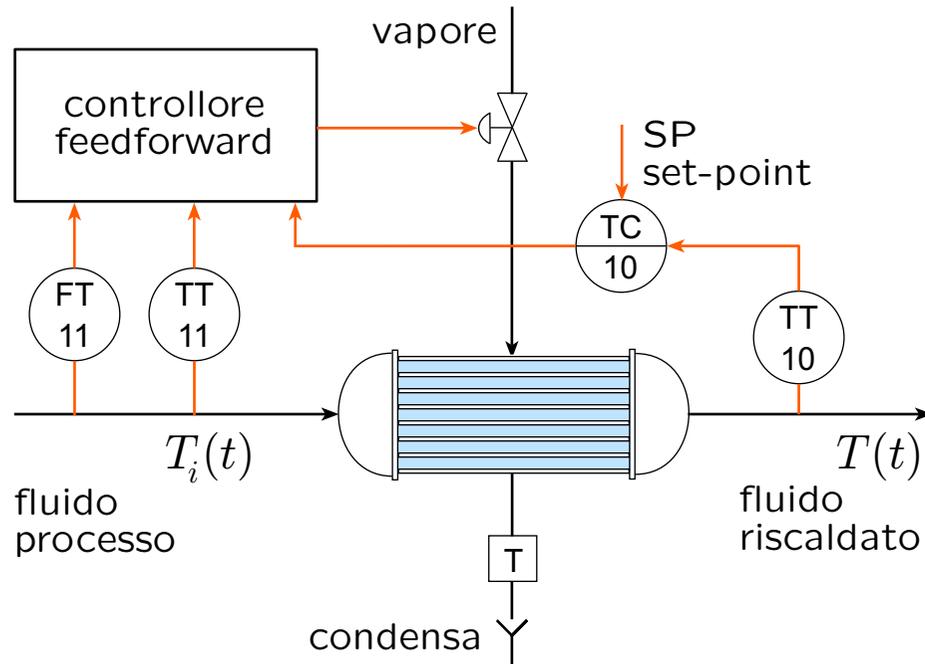
TC: controllore di temperatura

TT: trasduttore di temperatura

FT: trasduttore di flusso

- misurando i disturbi “maggiori” $T_i(t)$ e $f(t)$ si ottiene un controllore ad anello aperto con compensazione del disturbo, anche chiamato controllo feedforward;
- sono ancora presenti altri disturbi “minori” non misurabili;

Esempio: scambiatore di calore (controllo retroazione + feedforward)



SP: set-point (valore desiderato della temperatura)

TC: controllore di temperatura

TT: trasduttore di temperatura

FT: trasduttore di flusso

- il controllo ad anello aperto compensa direttamente i disturbi $T_i(t)$ e $f(t)$;
- il controllo a retroazione riesce a compensare l'effetto di eventuali altri disturbi non misurabili;