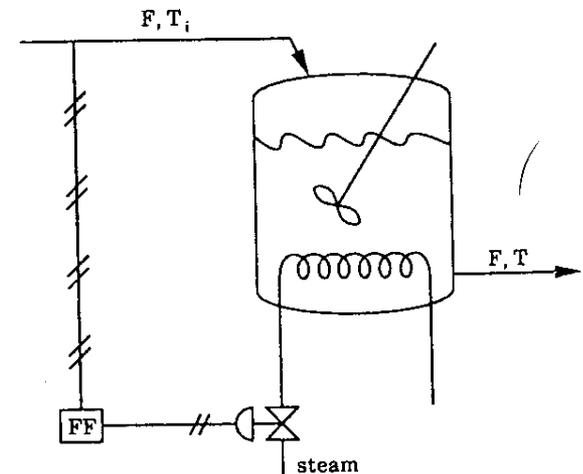


Progettazione di strutture di controllo complesse

- Considereremo:
 - Feedforward (controllo in andata)
 - Controllo in cascata
 - Controllo di rapporto
 - Override control
 - Antireset windup

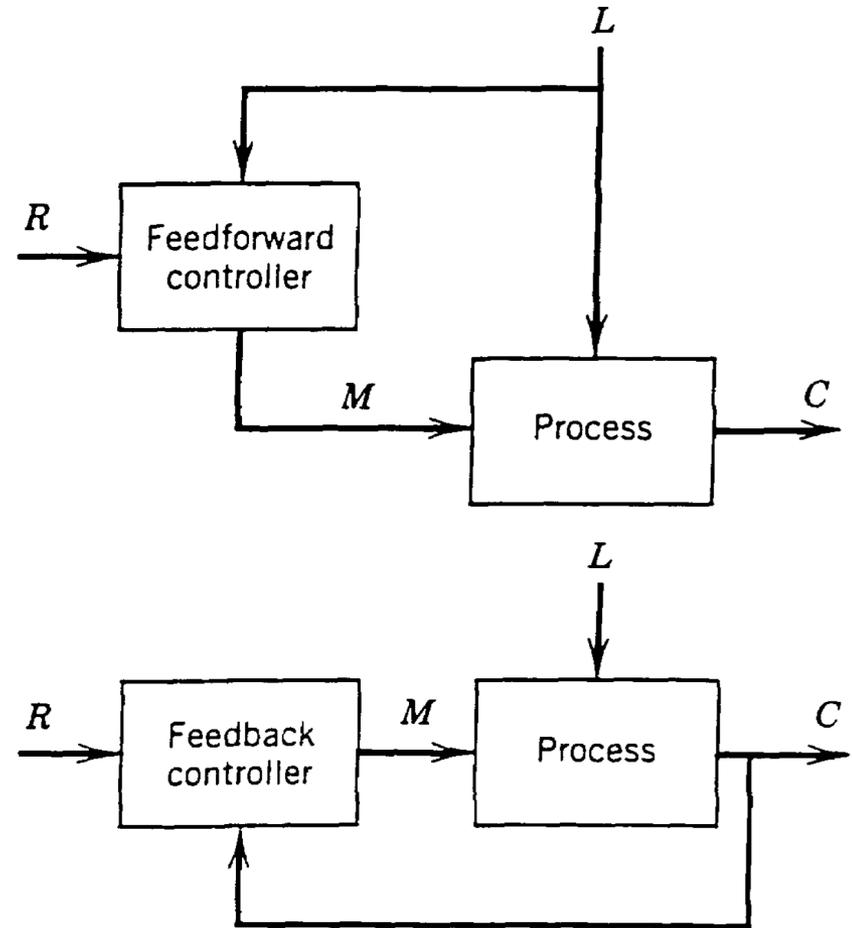
Controllo Feedforward

- Il controllo feedback convenzionale ha bisogno di attendere che l'effetto di perturbazioni si manifestino sullo stato del sistema.
- Se l'input non manipolabile è misurabile possiamo intervenire diversamente costruendo una strategia di controllo di tipo feedforward.
- Inoltre è necessario avere un buon modello del processo.



Controllo Feedforward

- La logica con cui interviene un controllo di tipo feedforward è basata su una azione che ha inizio non appena il disturbo si manifesta.
- Quindi il controllo può in teoria eliminare completamente l'effetto del disturbo.



Controllo Feedforward

- Come già detto abbiamo bisogno di un buon modello. Consideriamo una situazione generica del tipo:

$$y = G x + G_D d$$

- L'obiettivo è tenere sempre la y al valore di set point y_s .
- Quindi possiamo riscrivere la precedente equazione considerando la variabile manipolabile come incognita

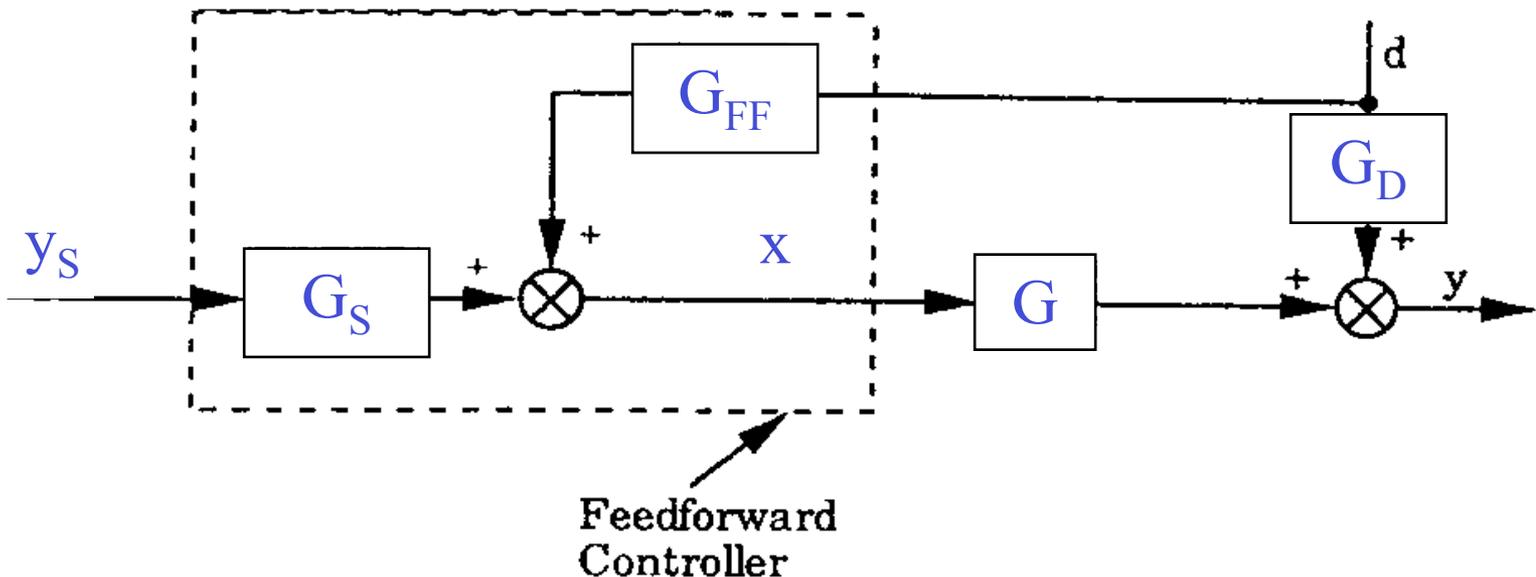
$$y_s = G x + G_D d$$

Controllo Feedforward

- Risolvendo la precedente equazione per x si ottiene:

$$x = \frac{1}{G} y_s - \frac{G_D}{G} d, \quad G_S = \frac{1}{G}, \quad G_{FF} = -\frac{G_D}{G}$$

- Ne consegue che lo schema a blocchi diventa:



Controllo Feedforward

- Se il modello descrive perfettamente il processo, l'output è sempre al valore di setpoint. Se ci sono discrepanze tra modello e processo abbiamo sempre degli offset.
- Talvolta è impossibile realizzare controllori basati su tale tecnica. Per esempio se il processo contiene un ritardo il controllo feedforward necessita di un predittore:

$$G = G' e^{-\alpha s}, \quad G_S = \frac{e^{\alpha s}}{G'}$$

Controllo Feedforward

- Nonostante ciò è un tipo di controllo molto efficace quindi conviene tentare comunque di utilizzarlo approssimando in qualche modo la funzione di trasferimento.
- Ragionando alla Cohen-Coon (per controllo regolativo):

$$G = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\alpha s}, G_D = \frac{K_D}{\tau_D s + 1} e^{-\beta s}$$

$$G_{FF} = \frac{-K_D}{\tau_D s + 1} \frac{\tau s + 1}{K} e^{-(\beta - \alpha)s} = -K_{FF} \frac{\tau s + 1}{\tau_D s + 1} e^{-\gamma s}$$

Controllo Feedforward

- Se i due ritardi sono simili la funzione di trasferimento è di tipo anticipo-ritardo.
- Sintesi del controllore FF
 - Ottenere i parametri approssimati del processo
 - Step in x con $d=0$
 - Step in d con $x=0$
 - Con i parametri così ottenuti determinare i parametri del controllore FF:

$$K_{FF} = \frac{K_D}{K}$$

Costante tempo ANTICIPO : τ

Costante tempo RITARDO : τ_D

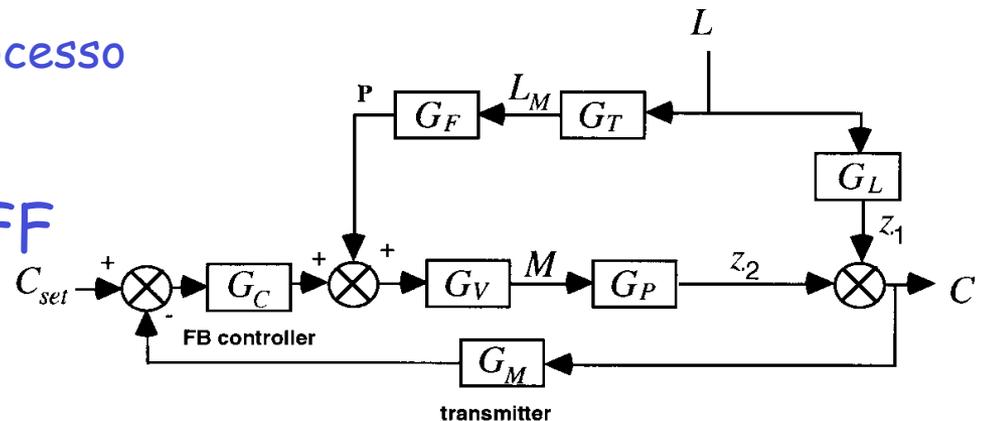
Ritardo associato : $\beta - \alpha$

Controllo Feedforward

- Feedback:
 - Vantaggi
 - L'azione correttiva ha luogo indipendentemente dal tipo di disturbo
 - Richiede una scarsa conoscenza del modello del processo
 - Versatile e robusto
 - Svantaggi
 - Nessuna azione fin quando gli effetti del disturbo non si manifestano
 - Non può determinare un controllo "perfetto" neanche teoricamente
 - Poco efficace con disturbi severi

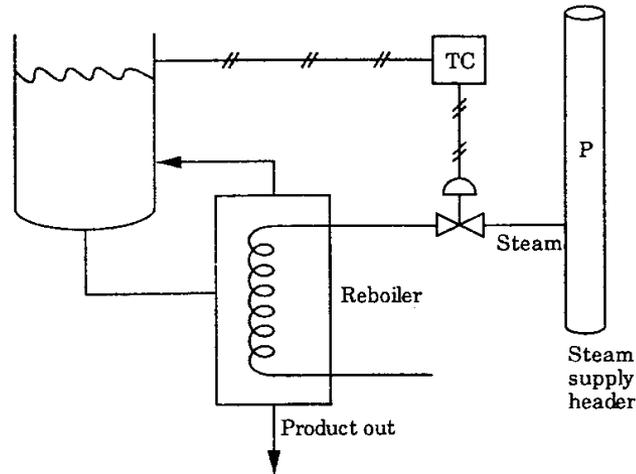
Controllo Feedforward

- Feedforward:
 - Vantaggi
 - L'azione correttiva ha luogo non appena il disturbo si manifesta.
 - Può determinare un controllo "perfetto"
 - Non altera la stabilità del processo
 - Svantaggi
 - Il disturbo deve essere misurabile
 - Richiede il modello del processo
 - Possibile irrealizzabilità.
- In genere si utilizza FB+FF



Controllo in cascata

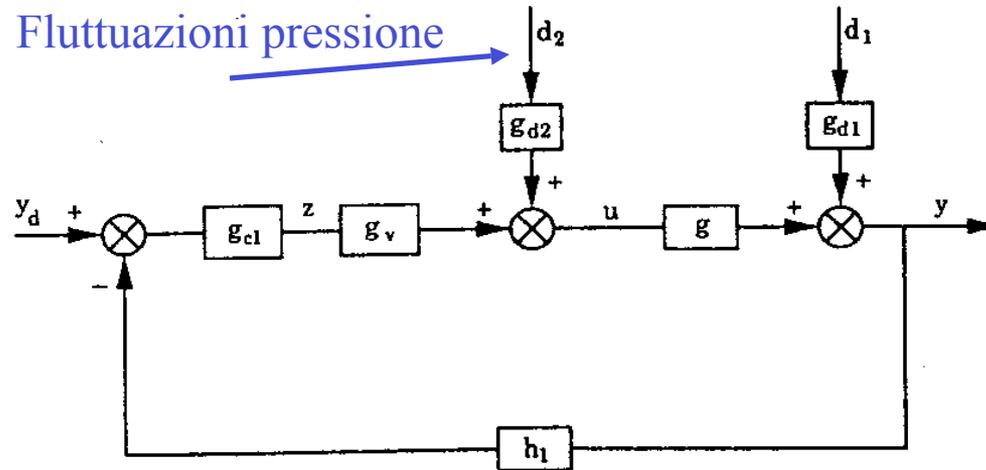
- Fondo di una colonna di distillazione



- La portata di vapore che passa dipende dalla posizione della valvola e dalla pressione nella linea del vapore (che può fluttuare)

Controllo in cascata

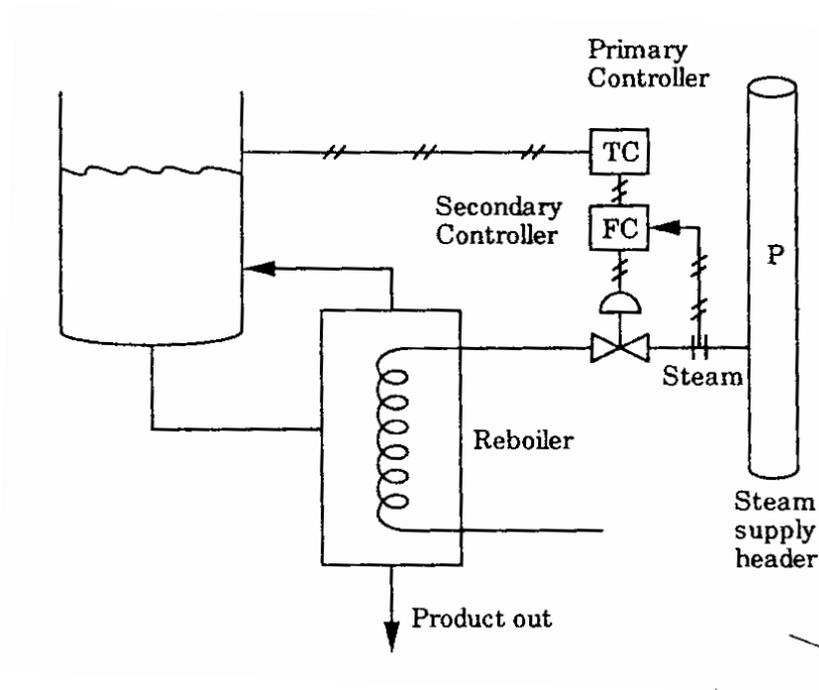
- Schema a blocchi



- Se la pressione della linea è misurabile possiamo procedere al controllo in cascata

Controllo in cascata

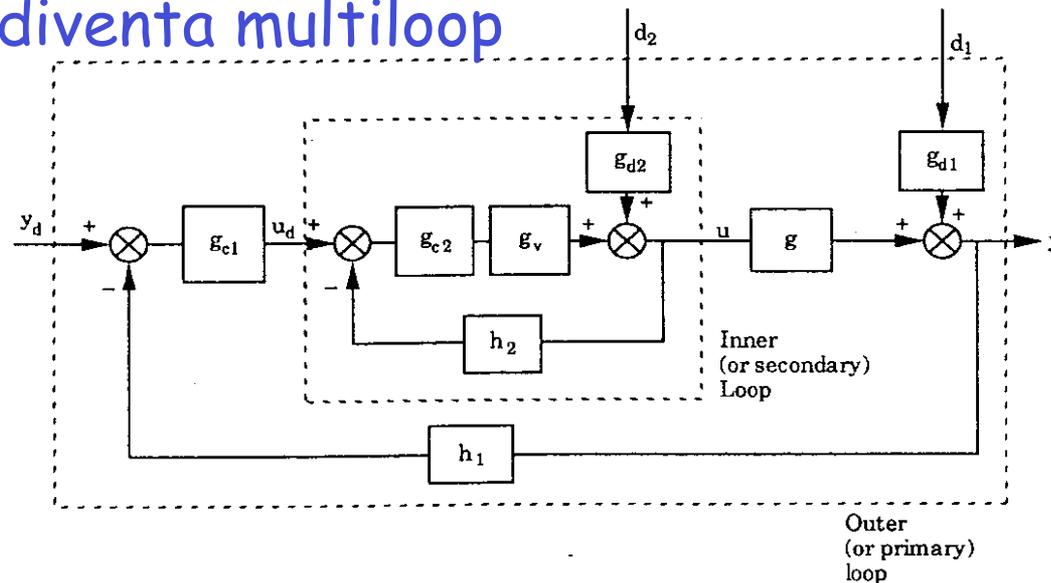
- Se la pressione della linea è misurabile possiamo procedere al controllo in cascata



- L'output del primario è il set point del secondario

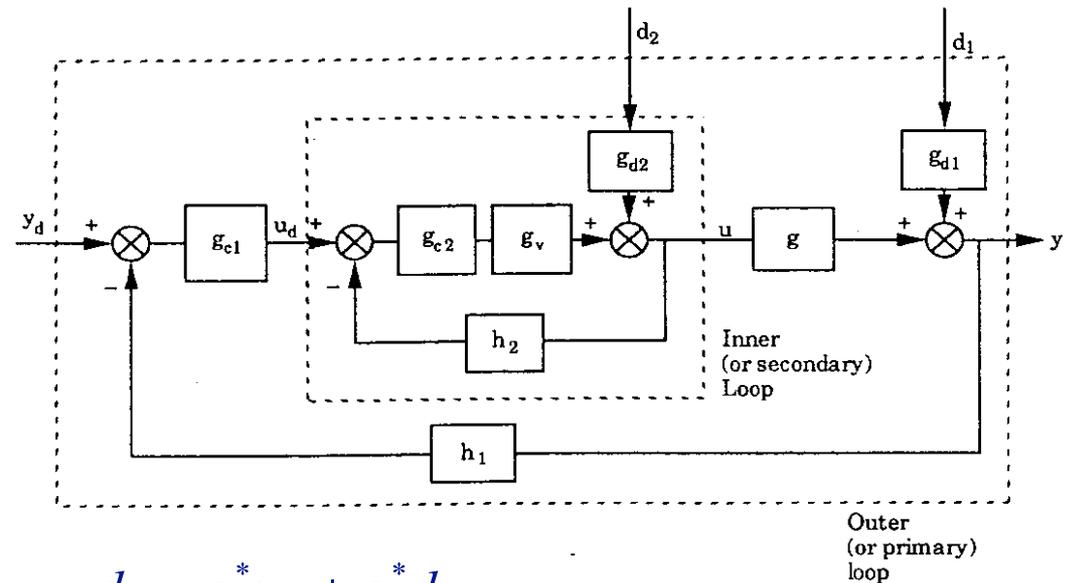
Controllo in cascata

- Screening operativo:
 - Singolo loop insufficiente
 - Una seconda variabile è misurabile e :
 - Indica l'occorrenza di un disturbo
 - E' legata alla variabile manipolabile
 - Ha una dinamica più veloce della primaria
- Il sistema diventa multiloop



Controllo in cascata

- Loop interno



$$u = \frac{g_{c2}g_v}{1+h_2g_{c2}g_v}u_D + \frac{g_{d2}}{1+h_2g_{c2}g_v}d_2 = g_1^*u_D + g_2^*d_2$$

- Loop esterno convenzionale

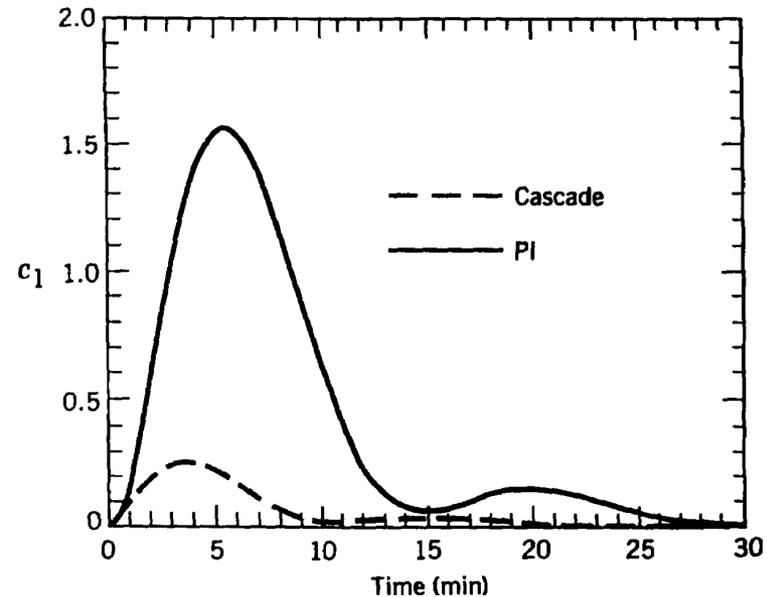
$$y = \frac{g_{c1}g_v g}{1+h_1g_{c1}g_v g}y_{sp} + \frac{g_{d2}g}{1+h_1g_{c1}g_v g}d_2 + \frac{g_{d1}}{1+h_1g_{c1}g_v g}d_1$$

- Loop esterno in cascata

$$y = \frac{g_{c1}g_1^* g}{1+h_1g_{c1}g_1^* g}y_{sp} + \frac{g_2^* g}{1+h_1g_{c1}g_1^* g}d_2 + \frac{g_{d1}}{1+h_1g_{c1}g_1^* g}d_1$$

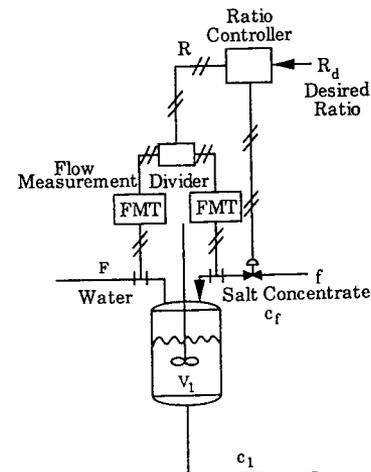
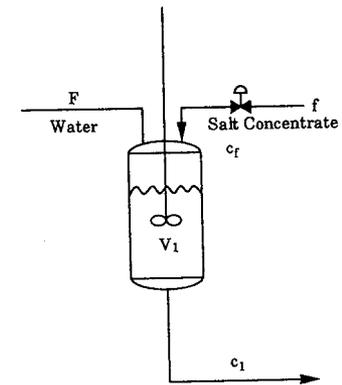
Controllo in cascata

- Possiamo eliminare l'effetto del disturbo interno
- SINTESI
- Il loop interno viene sintetizzato prima con costanti di guadagno alte (in genere solo P)
- Una volta sintetizzato il controllore secondario si passa al primario

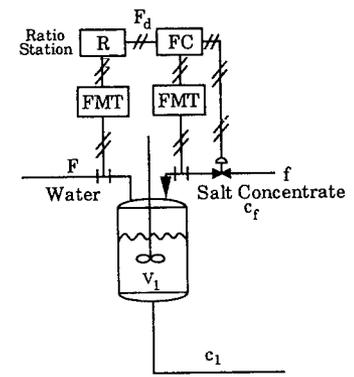


Controllo di rapporto

- Ci sono situazioni in cui due variabili di ingresso devono essere variate in modo coordinato.
- Esempio: Mixers
 - Solo una corrente è controllata
 - Il rapporto tra le portate deve restare costante.
 - a)
 - entrambe le portate sono misurate
 - Il rapporto misurato dal divider viene inviato al controllore
 - b) PREFERIBILE
 - La portata "wild" viene misurata e moltiplicata alla ratio station
 - L'output della ratio station è il set point del controllore di flusso cui perviene anche il dato di portata attuale misurata



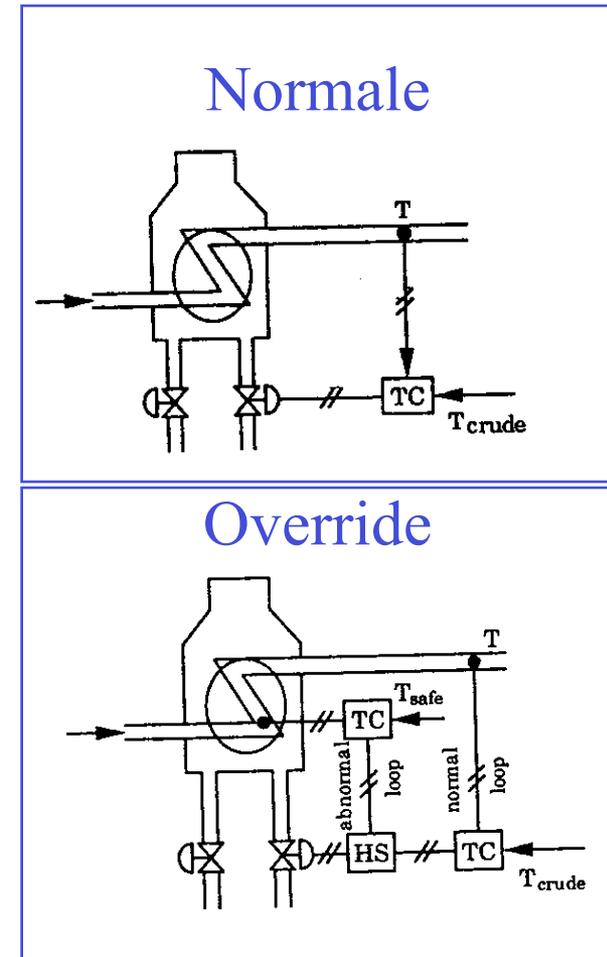
(a)



(b)

Override

- Molti output controllati da un singolo input
- Esempio: il preriscaldatore
 - Nella configurazione "normale" il controllore segue solo la T della corrente da riscaldare.
 - Nella configurazione con override il controllore seleziona con un selettore di massimo l'output più importante tra T bruciatore e T corrente uscente.
 - Il controllo avviene regolando soltanto un input, ovvero la portata di combustibile al bruciatore.

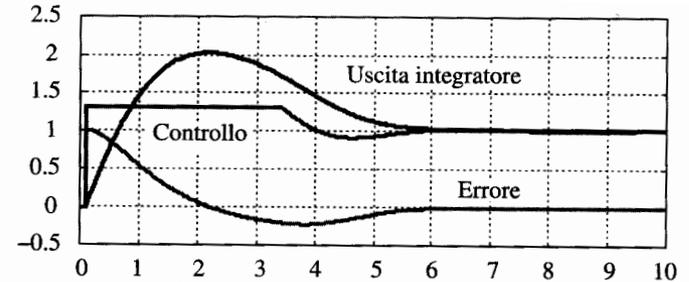


Antireset windup

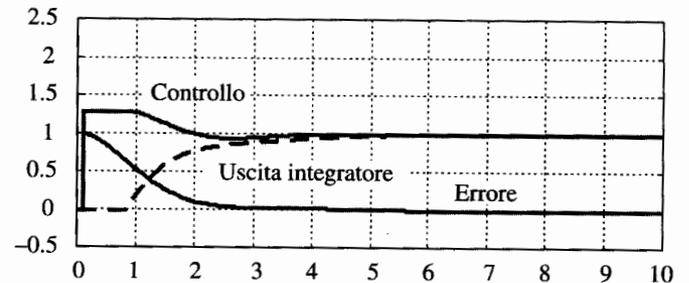
- La variabile di controllo di un qualsiasi anello di regolazione è sempre limitata superiormente ed inferiormente.
- Se il processo è ben progettato essa assume valori abbastanza lontani dai limiti di saturazione.
- Quando la variabile di controllo è in saturazione il processo evolve come se fosse in anello aperto, in assenza di capacità di regolazione.
- Se il controllore ha azione integrale l'errore tende a persistere molto a lungo anche se il disturbo è scomparso.

Antireset windup

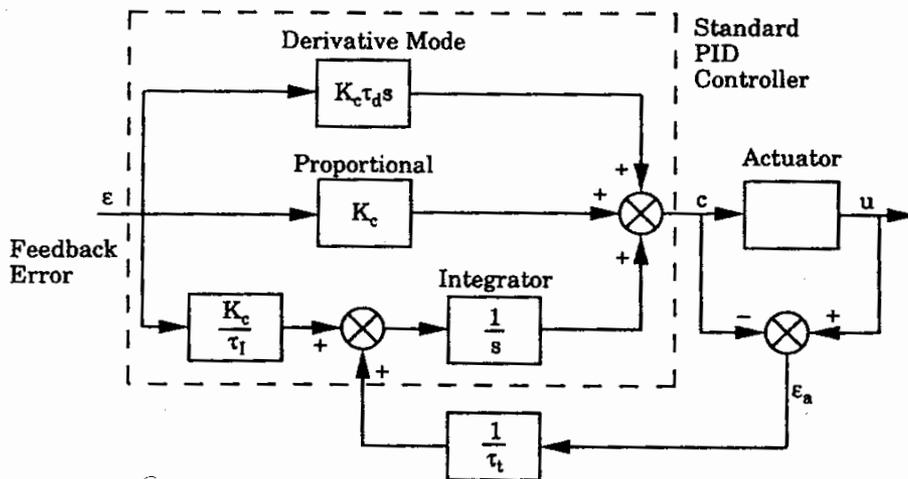
- La situazione tipica è riportata in figura a.
- Si interviene con l'antireset quando l'attuatore è in saturazione e la risposta diventa la b)



a)



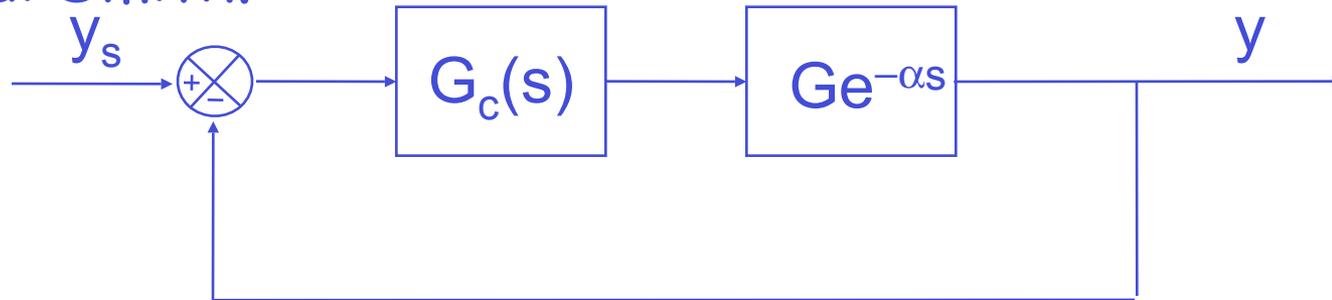
b)



Controllo basato sul modello

Sistemi con dinamica complessa - COMPENSATORI

- La presenza di ritardi può porre serie limitazioni alle prestazioni ottenibili con il controllo feedback.
- Un modo per migliorare le cose (quando i ritardi sono rilevanti) è basato sull'impiego del predittore di Smith.

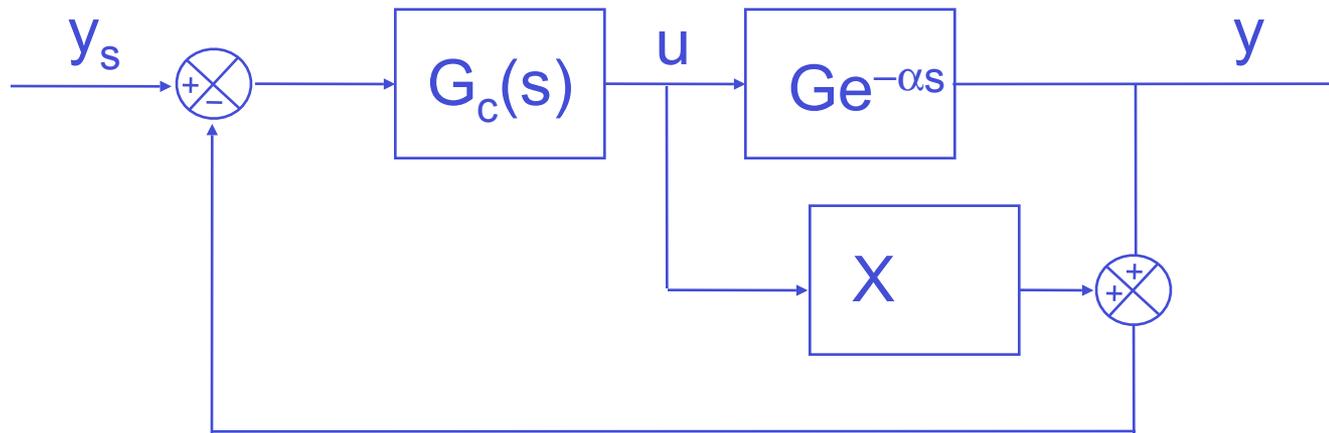


- Il predittore altera la variabile nell'anello del feedback.

Controllo basato sul modello

Predittore di SMITH

- Vogliamo escudere il ritardo modificando il feedback:



- La funzione di trasferimento OL è: $G_{OL} = \frac{G_C}{1 + G_C X} Ge^{-\alpha s}$
- L'eq. Caratteristica diventa: $1 + G_C X + G_C Ge^{-\alpha s} = 0$

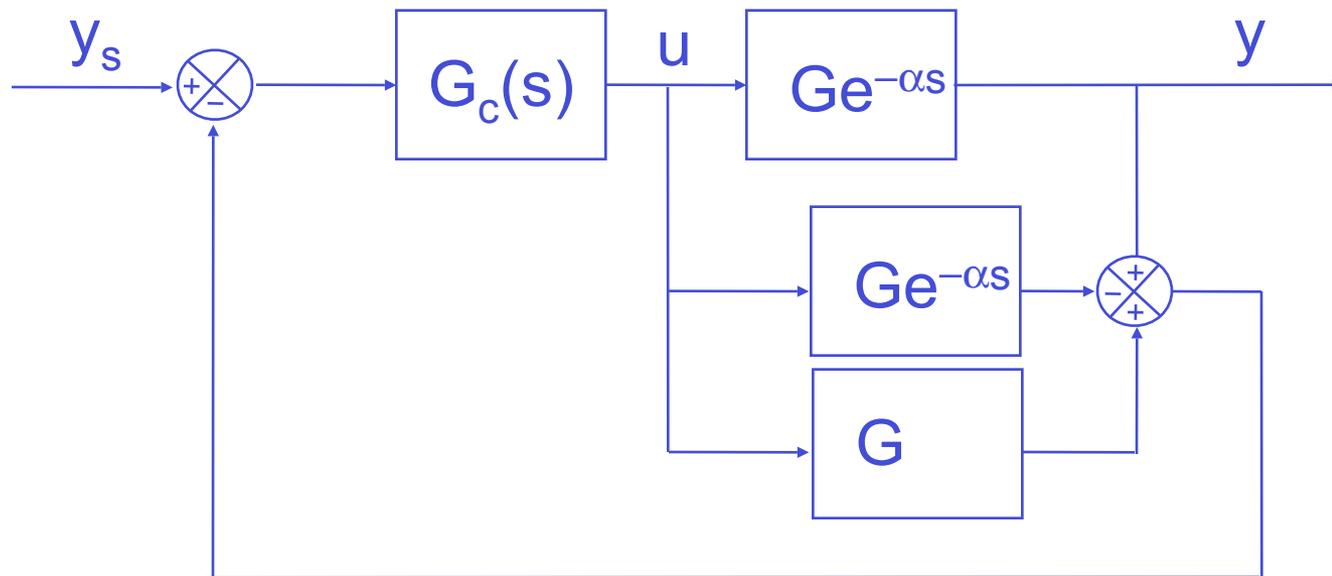
Controllo basato sul modello

Predittore di SMITH

- Se vogliamo rimuovere l'effetto del ritardo sulla stabilità dobbiamo scegliere X come

$$X = G - Ge^{-\alpha s}$$

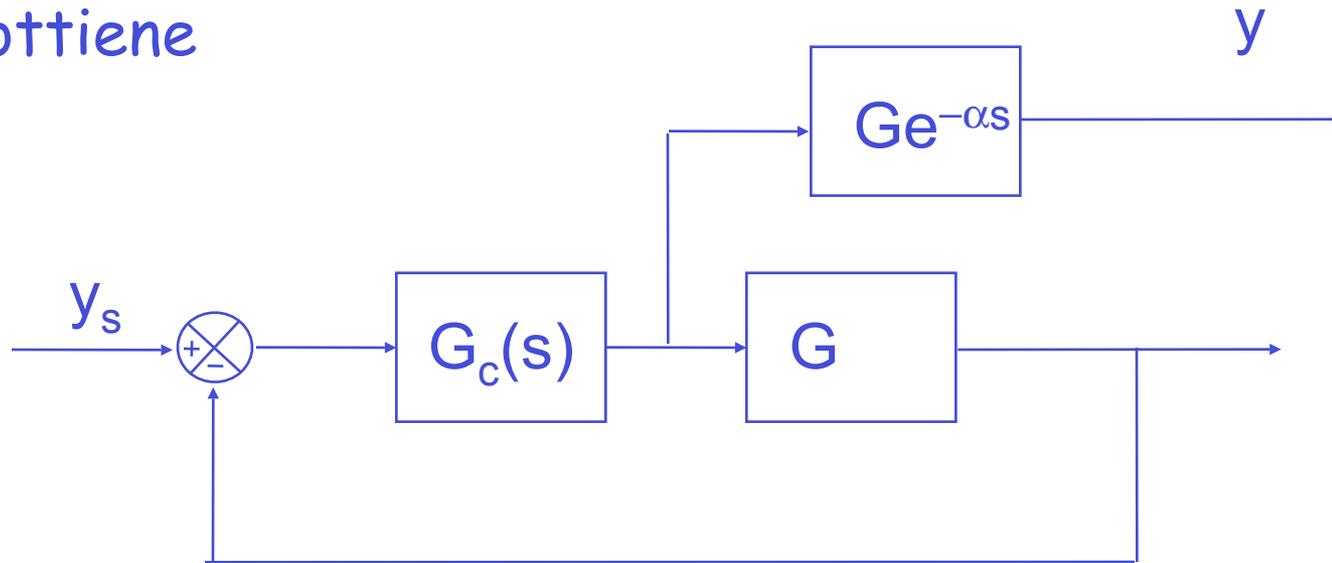
- Il diagramma a blocchi diventa:



Controllo basato sul modello

Predittore di SMITH

- Se semplifichiamo il diagramma a blocchi si ottiene



- Quindi il ritardo è uscito dall'anello del feedback.
- In genere il predittore è inserito in regolatori industriali importanti.
- Difficoltà: modello.