

# Loop Shaping

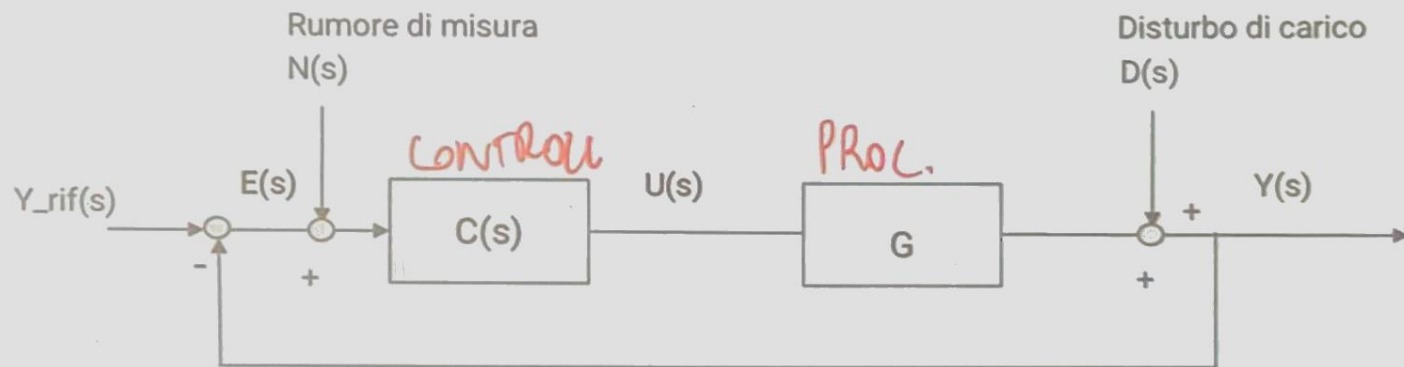
Le barriere poste sul diagramma di Bode rappresentano una prima introduzione al *loop shaping*

Le specifiche di progetto vengono:

- tradotte in requisiti sul diagramma di Bode della funzione di anello;
- rappresentate graficamente come regioni ammissibili/non ammissibili del modulo della funzione di anello

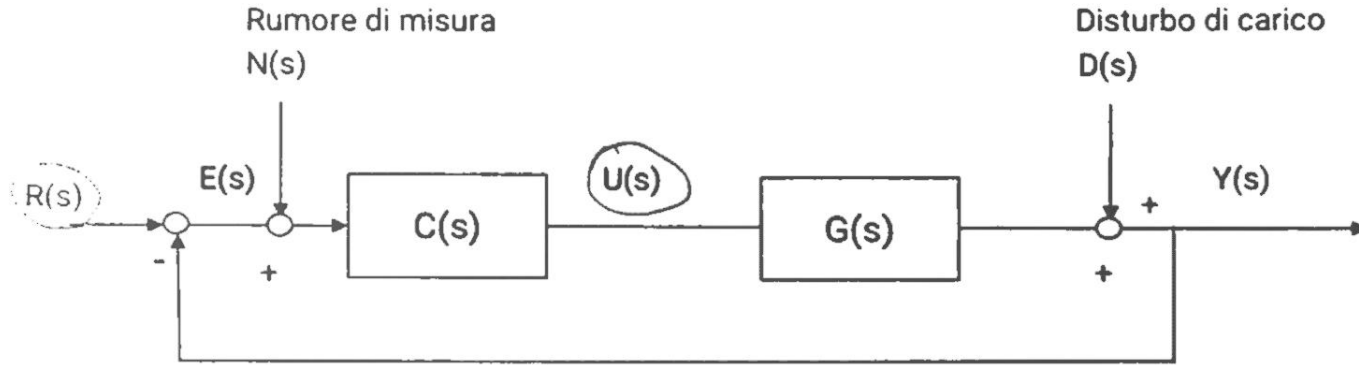
Il regolatore viene quindi progettato per "modellare" la funzione di anello all'interno delle regioni ammissibili

## Reiezione dei disturbi: variazione di carico



$$Y(s) = \frac{1}{1 + CG} D(s) = \frac{1}{1 + L(s)} D(s)$$

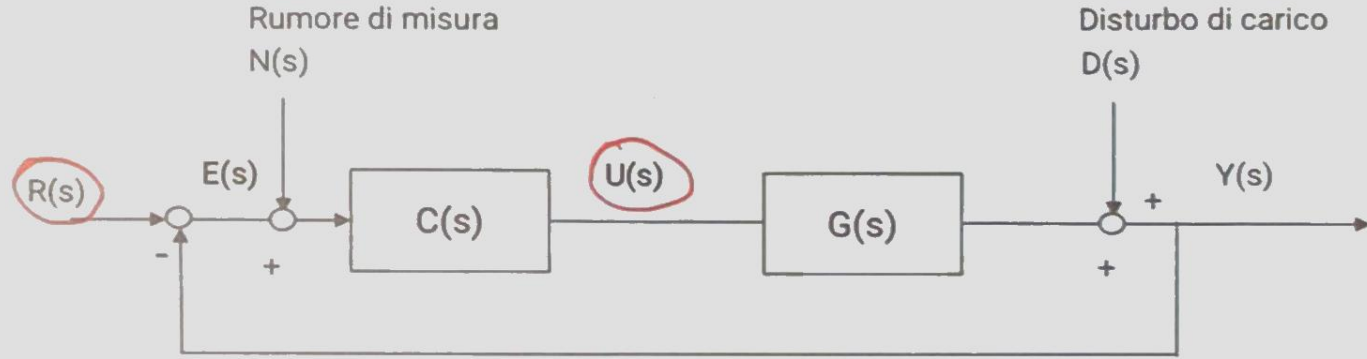
# Funzione di sensitività al controllo



$$Q(s) = \frac{C(s)}{1 + L(s)}$$

$$U(s) = \frac{C}{1 + CG} R(s) = \frac{C(s)}{1 + L(s)} R(s) = Q(s) R(s)$$

# Funzione di sensitività al controllo



$$Q(s) = \frac{C(s)}{1 + L(s)} \quad \leftarrow \text{SENSITIVITÀ AL CONTROLLO}$$

$$\boxed{U(s) = \frac{C}{1 + CG} R(s)} = \frac{C(s)}{1 + L(s)} R(s) = Q(s) R(s)$$

## Funzione di sensitività al controllo

$$Q(s) = \frac{C(s)}{1 + L(s)}$$

Amplificazione dell'azione di controllo in conseguenza dell'ingresso di riferimento e/o del disturbo di misura sull'uscita

*Consente di inserire nel progetto i vincoli dovuti alle limitazioni fisiche degli attuatori*

## Diagramma di Bode della sensitività al controllo

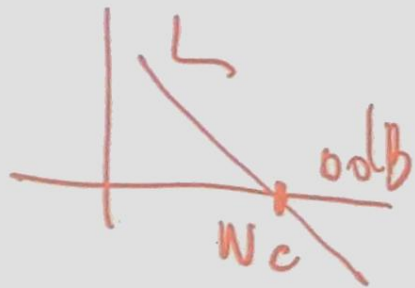
$$|Q(s)| = \frac{|C(j\omega)|}{|1 + L(j\omega)|} =$$

$$\text{per } \omega \rightarrow 0 \Rightarrow |Q(j\omega)| \simeq \frac{1}{|G(j\omega)|}$$

$$\text{per } \omega \rightarrow \infty \Rightarrow |Q(j\omega)| \simeq |C(j\omega)|$$

$$(\text{per } \omega = \omega_c, |L(j\omega)| = 1 \Rightarrow |C(j\omega)| = \frac{1}{|G(j\omega)|} )$$

## Diagramma di Bode della sensitività al controllo



$$|Q(s)| = \frac{|C(j\omega)|}{|1 + L(j\omega)|} =$$

$s = j\omega$

$$|Q| \approx \frac{|L|}{|4G|} \approx \frac{1}{|G|}$$

BASSA FREQ: per  $\omega \rightarrow 0 \Rightarrow |Q(j\omega)| \approx \frac{1}{|G(j\omega)|}$

ALTA FREQ: per  $\omega \rightarrow \infty \Rightarrow |Q(j\omega)| \approx |C(j\omega)|$

$$L = C \cdot G = 1$$

(per  $\omega = \omega_c, \underline{|L(j\omega)|} = 1 \Rightarrow |C(j\omega)| = \frac{1}{|G(j\omega)|}$ )

$$|C| = \frac{1}{|G|}$$

## Conseguenze dovute alla sensitività al controllo

Caratteristica passa basso dell'impianto

$$|G(j\omega)| \ll 1 \text{ per } \omega \geq \omega_{BP}$$

$$\text{se } \omega_c > \omega_{BP} \Rightarrow |L(j\omega)| > 1 \text{ per } \omega \in (\omega_{BP}, \omega_c)$$

$$\Rightarrow |Q(j\omega)| \simeq \frac{1}{|G(j\omega)|} \gg 1 \text{ per } \omega \in (\omega_{BP}, \omega_c)$$

Il tentativo di allargare la banda passante dell'impianto conduce a valori di controllo molto elevati – non sempre accettabili!

**Regola aurea:** mai cercare di estendere eccessivamente l'ampiezza di banda dell'impianto



Specifiche di progetto relative alla sensitività del controllo

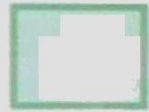
$$\begin{cases} |L(j\omega)| < \varepsilon_u \text{ per } \omega \geq \omega_u \\ |C(j\omega)| < \varepsilon_{ru} \text{ per } \omega \geq \omega_{ru} \end{cases}$$

Barriere in **alta frequenza** sulla funzione di anello e sulla funzione del controllore

Esempio: mettiamo tutto insieme

$$C(s) = \frac{(s + 0.5)}{s}$$

$$G(s) = \frac{10}{s + 0.1}$$



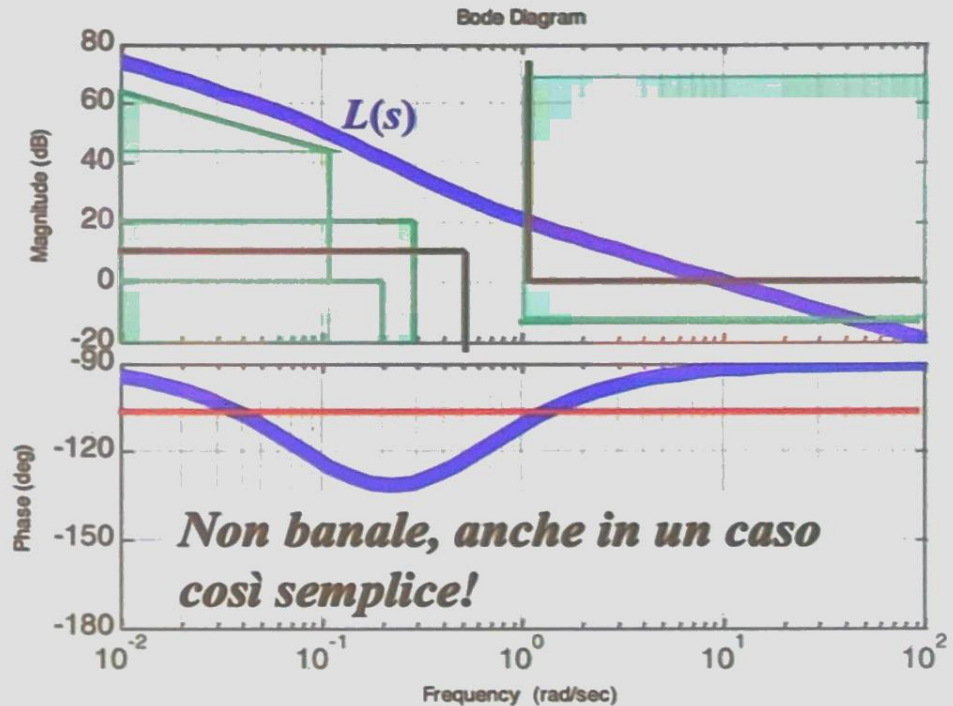
Barriere su  $L(s)$



Barriere su  $C(s)$



Margine di fase



Limitazioni intrinseche all'azione di controllo

L'esempio precedente mostra come una serie di specifiche troppo stringenti possano rendere difficile o impossibile il progetto del sistema di controllo

Verificare sempre che le specifiche richieste siano compatibili con il problema: è meglio comprare sensori migliori che impegnarsi nel progetto di un regolatore con specifiche troppo esigenti