



Presentazione Progetti CAT



Introduzione

- Tre differenti tipologie
 - Prima tipologia:
 - Problematiche derivanti dalla presenza di poli complessi coniugati
 - Seconda tipologia
 - Progetto eseguito mediante uno schema di controllo in cascata
 - Terza tipologia
 - Problematiche relative alla presenza di rumore a basse frequenze



Prima Tipologia

Si consideri il sistema descritto dalla funzione di trasferimento

$$G(s) = \frac{5000}{(s + 80)(s^2 + 2s + 60)}$$

Poli C.C.

Specifiche
statiche

Si richiede di progettare un regolatore che soddisfi le seguenti specifiche:

- Errore a regime nullo in presenza di ingresso di riferimento a gradino di ampiezza massima pari a 2.0 e disturbo sull'uscita a gradino di ampiezza massima pari a 0.1.
- Massima sovraelongazione della risposta al gradino di riferimento inferiore al 5%.
- Tempo di assestamento al 1% della risposta al gradino di riferimento inferiore a 0.8s.
- Margine di fase superiore a 40 gradi, per garantire robustezza.

Sulla misura è sovrapposto un rumore di misura sinusoidale a frequenza 2000rad/s e ampiezza massima pari a 0.005.

Specifiche
dinamiche

La soluzione proposta non deve presentare marcate code di assestamento.

Dimensionare l'attuatore al fine di garantire il funzionamento a regime (in presenza contemporanea del riferimento, dei disturbi e del rumore) e valutare di quanto deve essere sovradimensionato per gestire il transitorio.

Prima Tipologia (2)

Poli C.C.

Si consideri il sistema descritto dalla funzione di trasferimento

$$G(s) = \frac{5000}{(s + 80)(s^2 + 2s + 60)}$$

Specifiche
statiche

Si richiede di progettare un regolatore che soddisfi le seguenti specifiche:

- Errore a regime inferiore al 3% in presenza di ingresso di riferimento a gradino di ampiezza massima pari a 1.0.
- Attenuazione superiore a 30 volte di un disturbo sull'uscita sinusoidale di ampiezza massima pari a 2.0 a pulsazione inferiore a 0.1 rad/s.
- Massima sovraelongazione della risposta al gradino di riferimento inferiore al 5%.
- Tempo di assestamento al 1% della risposta al gradino di riferimento inferiore a 0.8s.
- Margine di fase superiore a 40 gradi, per garantire robustezza.

Sulla misura è sovrapposto un rumore di misura sinusoidale a frequenza 600rad/s e ampiezza massima 0.002.

Specifiche
dinamiche

La soluzione proposta non deve presentare marcate code di assestamento.

Dimensionare l'attuatore al fine di garantire il funzionamento a regime (in presenza contemporanea del riferimento, dei disturbi e del rumore) e valutare di quanto deve essere sovradimensionato per gestire il transitorio.



Prima Tipologia

- Progetto del regolatore statico:
 - (Specifiche statiche:)

Riferimento w e
disturbo d
costanti

- **1: errore a regime nullo** in presenza di riferimento a gradino e disturbo sull'uscita a gradino $e=0$

Riferimento w e
disturbo d
costanti

- **oppure 1: errore a regime inferiore al 3%** in presenza di riferimento a gradino e disturbo sull'uscita a gradino $e \leq e^*$

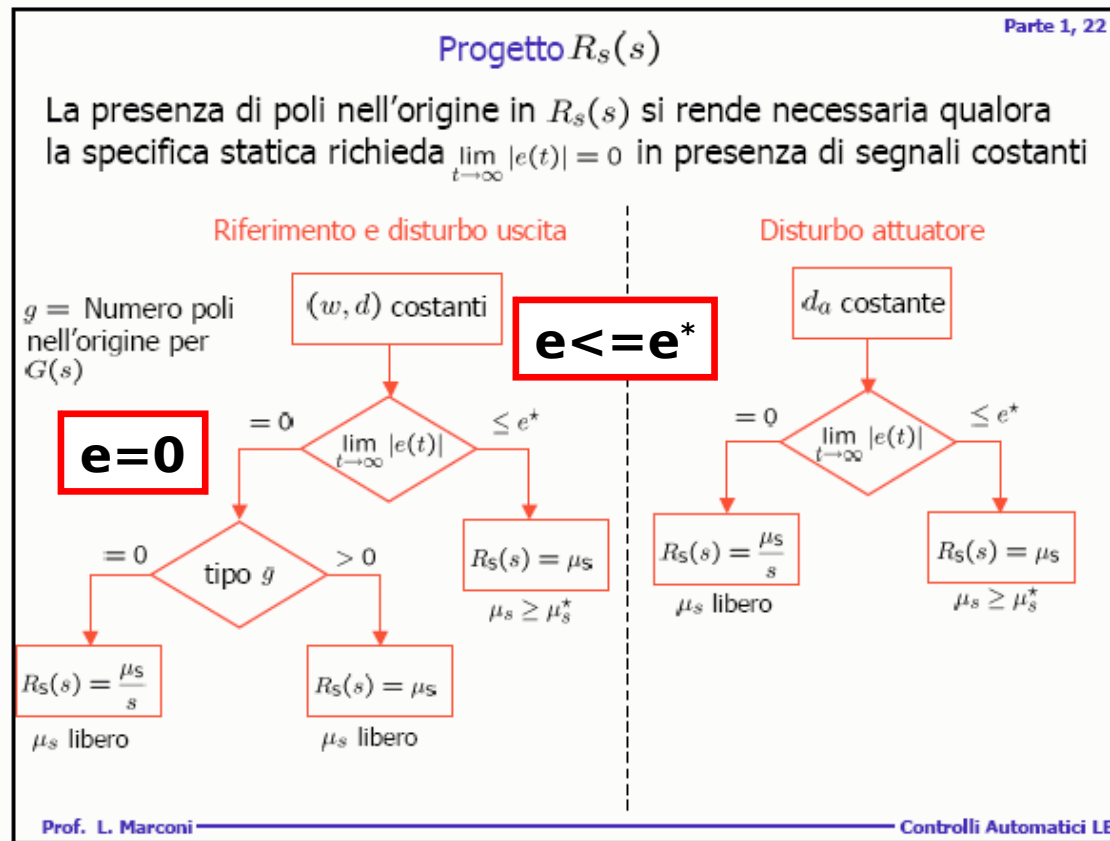
disturbo d
definito
spettralmente

- **2: attenuazione disturbo sinusoidale sull'uscita** superiore a 30 volte con disturbo a frequenza ≤ 0.1 rad/s e ampiezza unitaria

Prima Tipologia

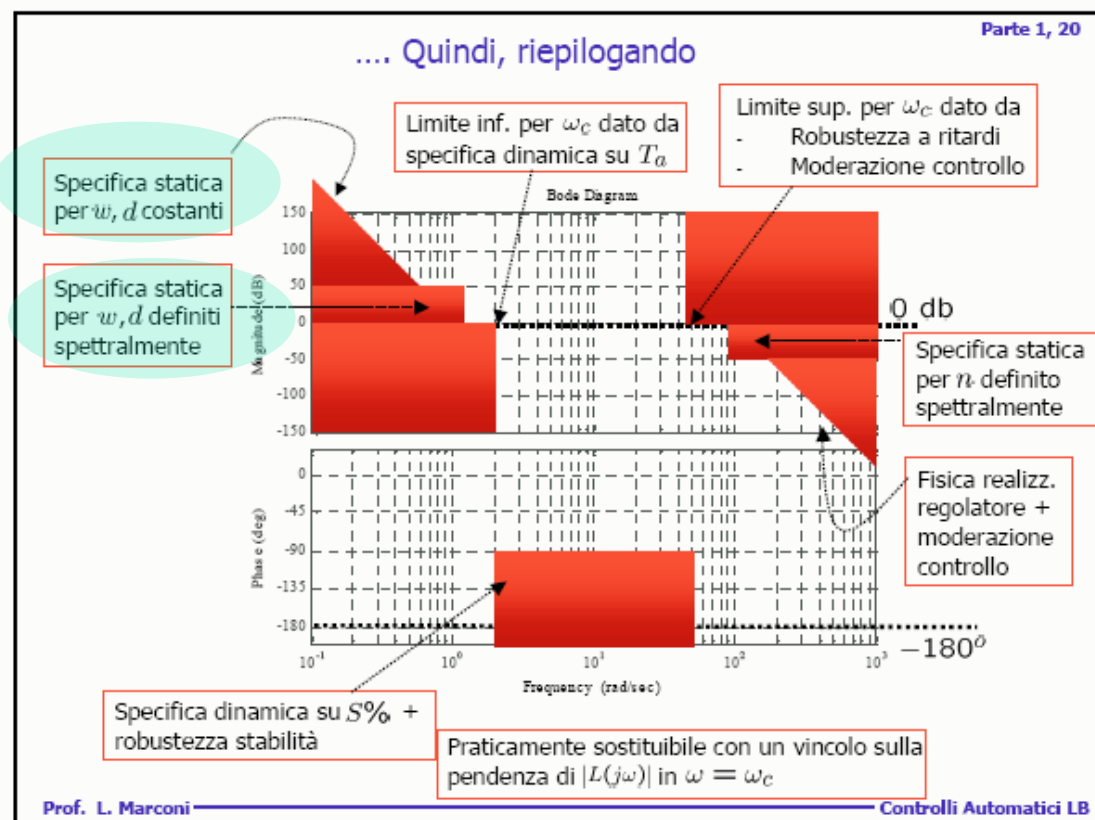
■ Progetto del regolatore statico:

Riferimento **w** e
disturbo **d**
costanti



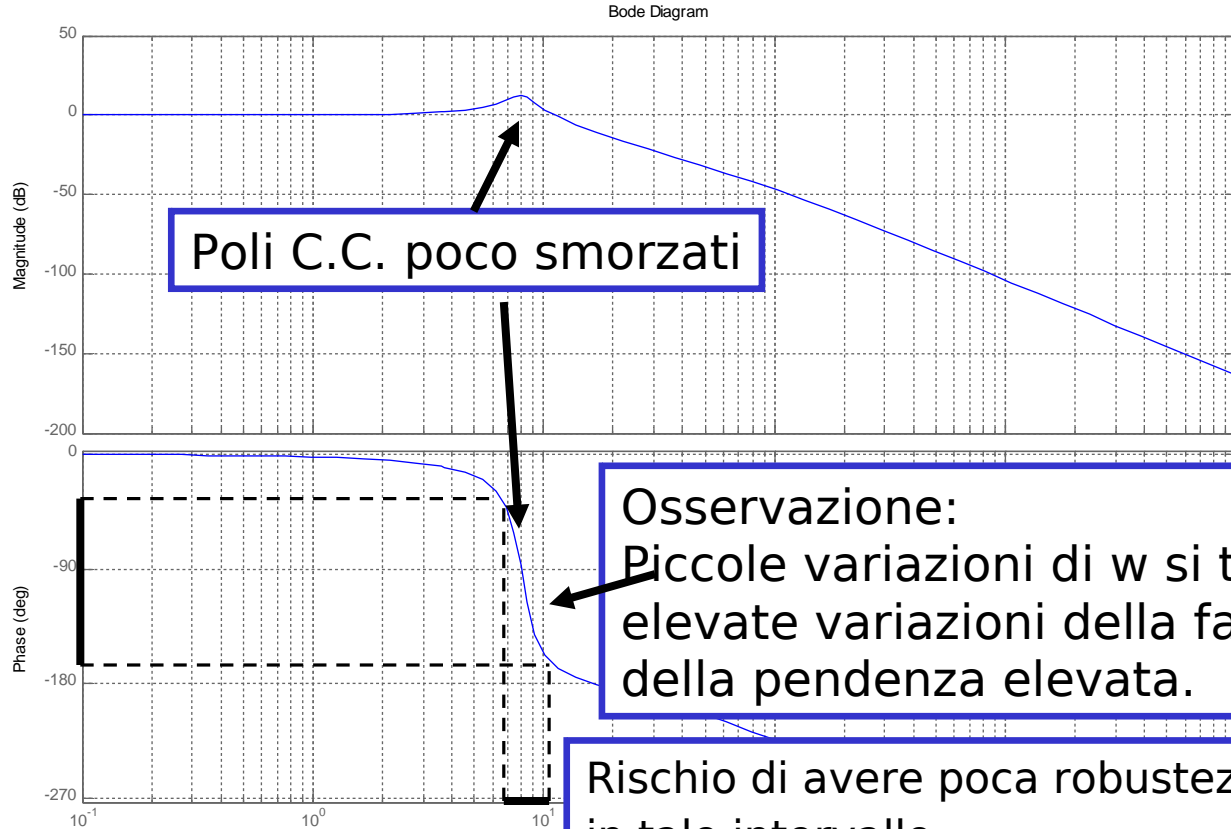
Prima Tipologia

■ Progetto del regolatore statico:



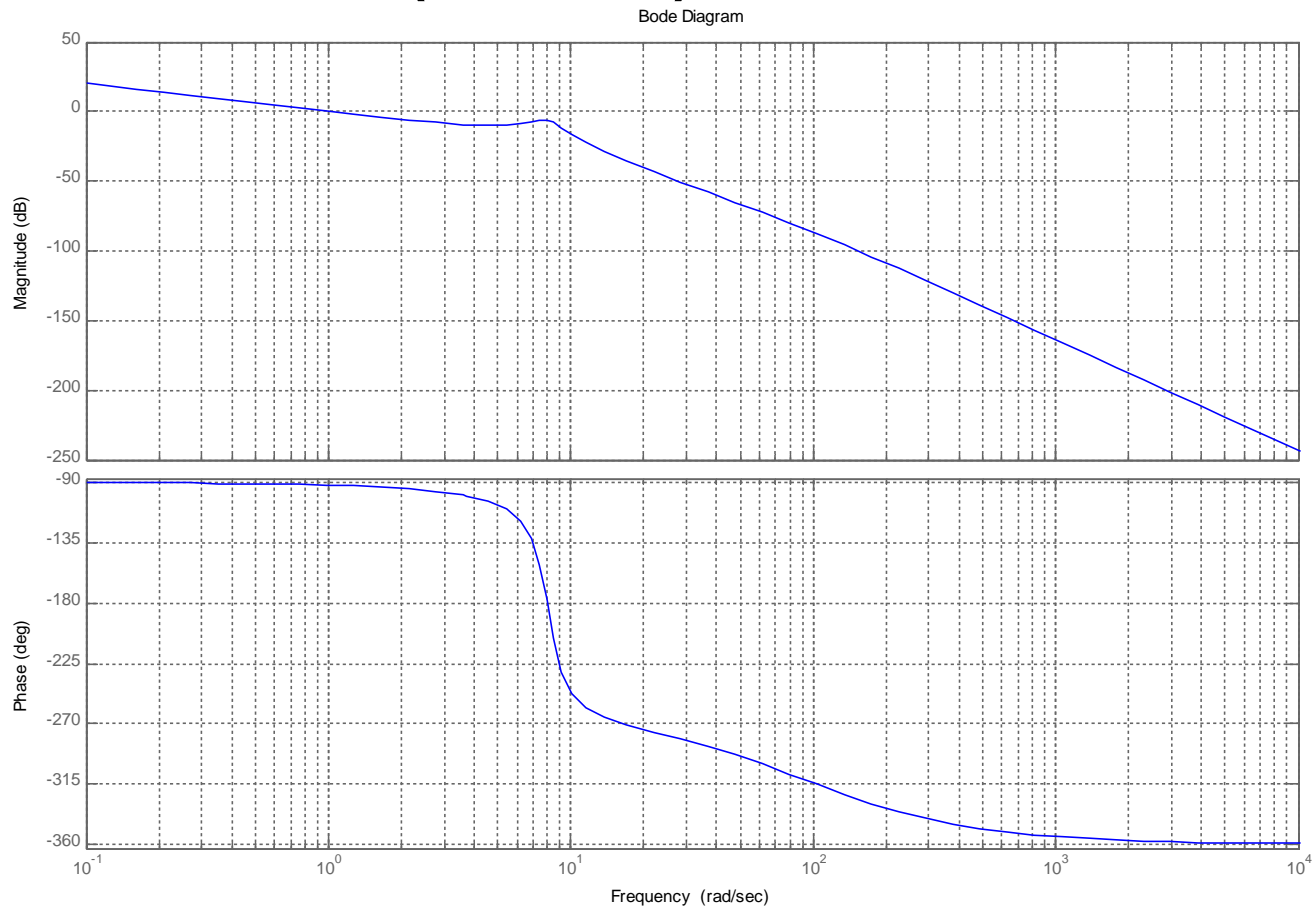
Prima Tipologia

- $\gg \text{bode}(G)$



Prima Tipologia

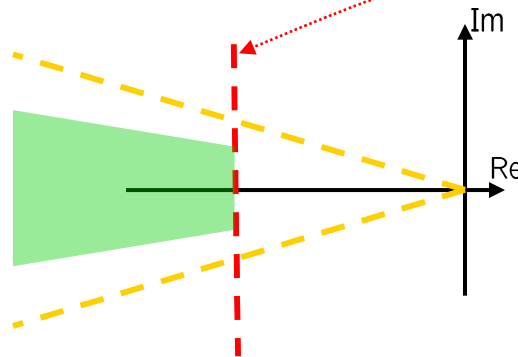
■ `>>bode(1/s*G)`



Prima Tipologia

- Progetto del regolatore dinamico:
 - (Specifiche dinamiche):
 - **1: massima sovraelongazione** della risposta al gradino di riferimento inferiore al 5%
 - **2: tempo di assestamento** al 1% inferiore a 0.6 s

$$S\% \leq S^*$$
$$\Downarrow S^* = 100e^{\frac{-\pi\delta^*}{\sqrt{1-\delta^{*2}}}}$$
$$\delta \geq \delta^*$$

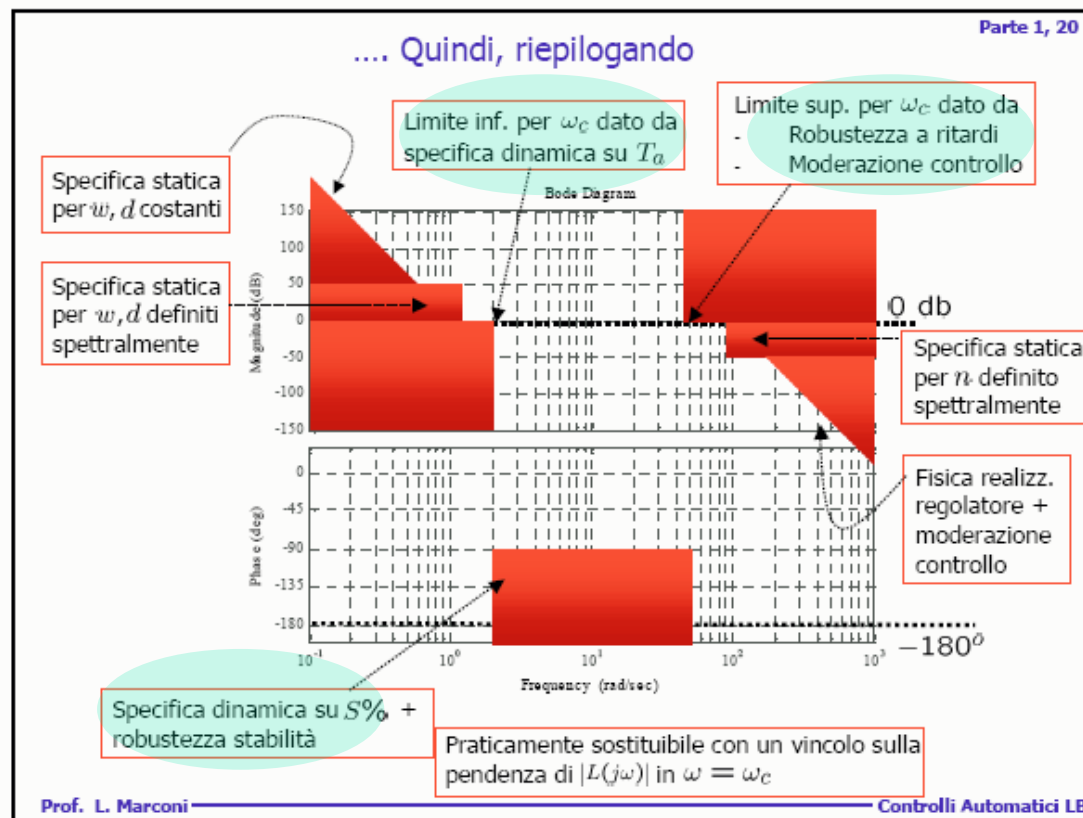


$$T_{a,1\%} \leq T^*$$
$$\Downarrow \delta\omega_n \geq \frac{4.6}{T^*}$$

- **3: margine di fase** superiore a 40 gradi per garantire robustezza

Prima Tipologia

■ Progetto del regolatore dinamico:





Prima Tipologia

- Progetto del regolatore dinamico:
 - Analisi dell'impiego di possibili schemi di controllo avanzato
 - Analisi delle specifiche sulla funzione di anello in funzione delle strategie adottate
 - Analisi e Sintesi del regolatore mediante gli scenari di riferimento

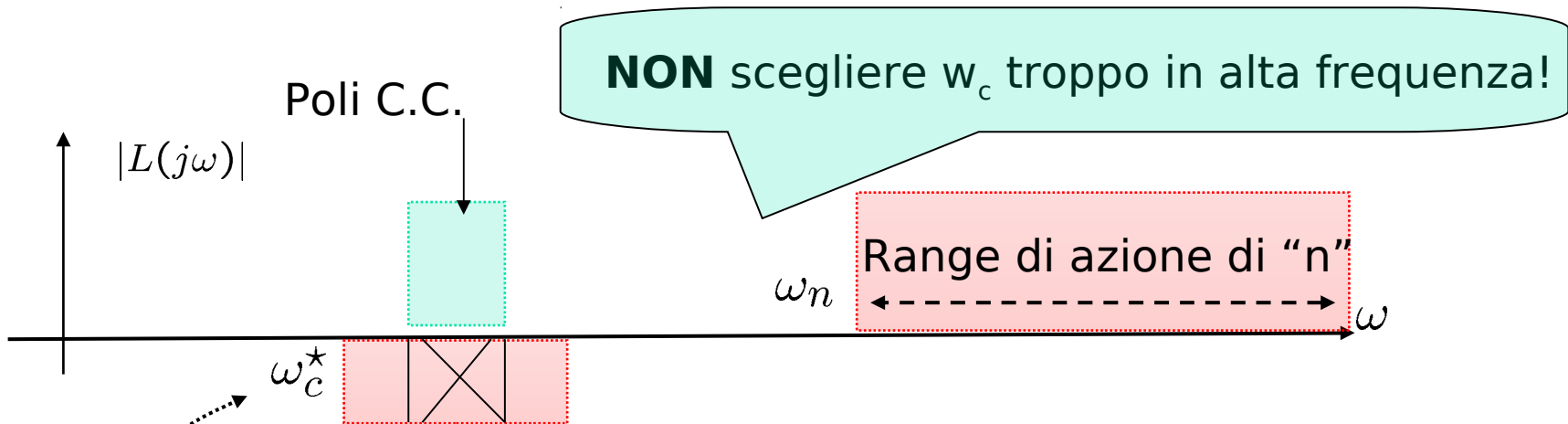


Prima Tipologia

- Rumore di misura
 - Attenzione al guadagno del regolatore ad alte frequenze (frequenze del rumore)
 - Studio della $Q(s)$
 - Scelta di strategie per limitare effetti del rumore
 - Poli in alta frequenza nel regolatore
 - Filtri sul ramo di retroazione (primo ordine, Butterworth)

Prima Tipologia

- **WARNING:** attenzione a soddisfare tutte le specifiche garantendo **robustezza** e **attenuazione del rumore** sulla variabile di controllo!



Valore desiderato per ω_c al fine di rispettare le specifiche dinamiche e moderare lo sforzo di controllo

WARNING:

Alcune specifiche potrebbero essere soddisfatte utilizzando schemi di controllo avanzati senza richiedere regolatori che amplificano molto la frequenza del rumore....



Prima Tipologia

- Analisi requisito:
 - La soluzione non deve presentare code di assestamento marcate
 - Analisi mediante luogo delle radici
 -



Prima Tipologia

- Dimensionamento dell'attuatore
 - Osservazione dei valori di controllo di regime (riferimento, disturbi a gradino e disturbi sinusoidali inseriti nella simulazione ai rispettivi valori massimi e nel caso peggiore (segno))
 - Osservazione dei valori di controllo necessari a gestire il transitorio
 - Dimensionamento appropriato
 - Garantire sempre il funzionamento corretto del sistema a regime!
 - **Non sovradimensionare!** Grave errore di progetto!



Prima Tipologia

- La soluzione una volta dimensionato l'attuatore soddisfa le specifiche?
- E sottodimensionando l'attuatore di un 20/30%?
 - Valutare l'impiego di schemi di controllo avanzati per ridurre il fenomeno del wind-up.



Prima Tipologia

- Si immagini di implementare la legge di controllo su di un **sistema digitale**
 - Scelta del tempo di campionamento
 - Scelta del metodo di discretizzazione
- **Verifica del progetto mediante Matlab/Simulink**

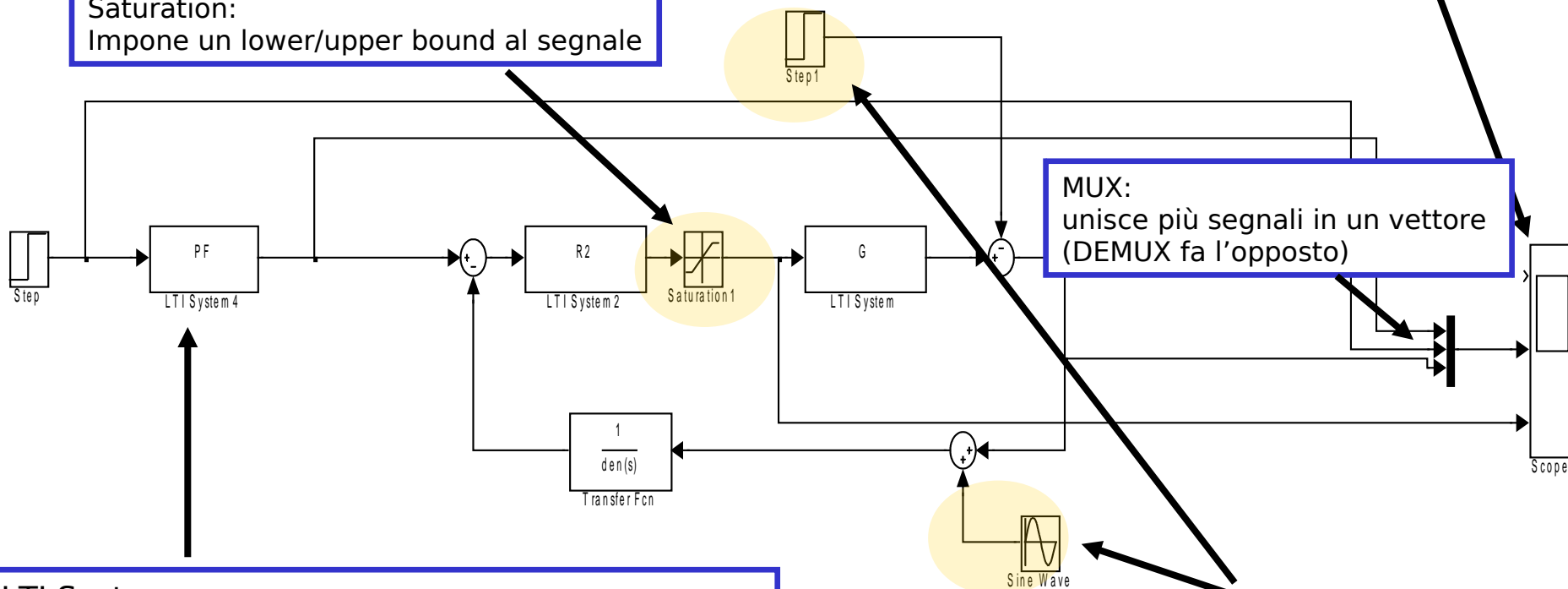
Prima Tipologia

SCOPE

- permette di plottare i segnali
- permette di salvare gli array nel workspace

Saturation:

Impone un lower/upper bound al segnale



MUX:

unisce più segnali in un vettore (DEMUX fa l'opposto)

LTI System

(Control System Toolbox):

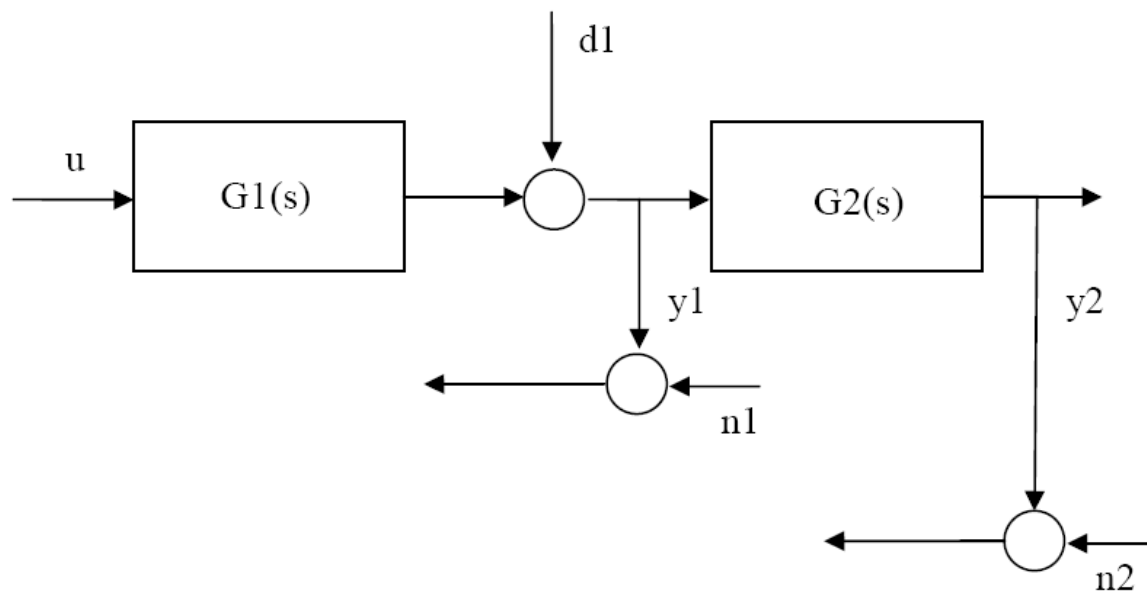
VANTAGGIO: possibilità di importare le funzioni di trasferimento definite in Matlab (file .m)

Sources

- gradino (possibilità di settare ampiezza..)
- sinusoide (ampiezza, pulsazione, fase)

Seconda Tipologia

Si consideri il sistema descritto dallo schema a blocchi



in cui le funzioni di trasferimento sono

$$G1(s) = \frac{18}{(s^2 + 18s)} \quad G2(s) = \frac{1}{(s + p)}.$$

dove p è un parametro incerto che soddisfa la seguente relazione: $p \in [1, 3]$.



Seconda Tipologia

Specifiche
statiche

Si richiede di progettare un regolatore in cascata che soddisfi le seguenti specifiche (per ogni valore del parametro p):

- Anello interno:
 - Attenuazione superiore a 10 volte di un disturbo sinusoidale sull'uscita $d1(t)$ di ampiezza massima pari a 3.0 con pulsazione inferiore a 10 rad/s
 - Margine di fase superiore a 40 gradi, per garantire robustezza
- Anello esterno:
 - Errore a regime nullo in presenza di ingresso di riferimento a gradino di ampiezza massima pari a 1.5
 - Assenza di sovraelongazione e oscillazioni nella risposta al gradino di riferimento
 - Tempo di assestamento al 5% della risposta al gradino di riferimento inferiore a 0.7s.
 - Margine di fase superiore a 50 gradi, per garantire robustezza

Specifiche
dinamiche

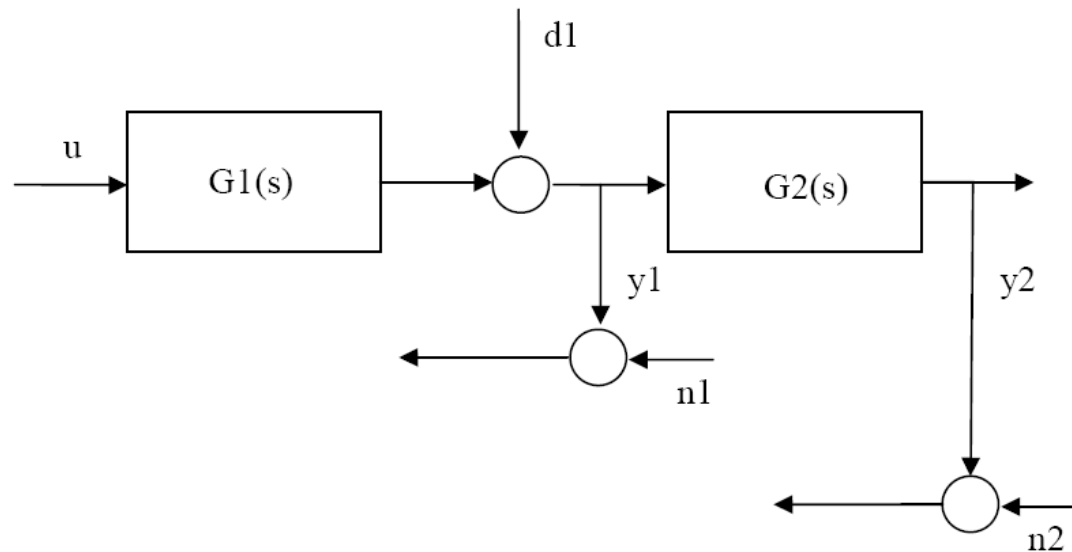
Sulla misura $y1$ è sovrapposto un rumore di misura sinusoidale a frequenza 4000 rad/s di ampiezza massima 0.03; sulla misura $y2$ è sovrapposto un rumore sinusoidale a frequenza 4000rad/s di ampiezza massima 0.01.

Come criterio di progetto generale si imponga di limitare l'azione di controllo. La soluzione proposta non deve presentare marcate code di assestamento, al variare di p .

Dimensionare l'attuatore (saturazione dell'azione di controllo $u(t)$) al fine di garantire il funzionamento a regime (in presenza contemporanea del riferimento, dei disturbi e del rumore) e valutare di quanto deve essere sovradimensionato per gestire il transitorio.

Seconda Tipologia (2)

Si consideri il sistema descritto dallo schema a blocchi



in cui le funzioni di trasferimento sono

$$G1(s) = \frac{2200}{(s+p)(s+220)} \quad G2(s) = \frac{7}{s(s+7)}$$

in cui p è un parametro incerto che soddisfa la seguente relazione: $p \in [20, 35]$. Si richiede di progettare un regolatore in cascata che soddisfi le seguenti specifiche:

Seconda Tipologia (2)

Specifiche
statiche

- Anello interno:
 - Attenuazione superiore a 80 volte di un disturbo sinusoidale sull'uscita $y_1(t)$ a pulsazione inferiore a 1 rad/s e di ampiezza massima pari a 3.0.
 - Margine di fase superiore a 40 gradi, per garantire robustezza.
- Anello esterno:
 - Errore a regime nullo in presenza di ingresso di riferimento a gradino di ampiezza massima pari a 1.5.
 - Assenza di sovraelongazione e oscillazioni nella risposta al riferimento a gradino.
 - Tempo di assestamento al 5% della risposta al riferimento a gradino inferiore a 0.4s.
 - Margine di fase superiore a 40 gradi, per garantire robustezza.

Specifiche
dinamiche

Sulla misura $y_1(t)$ è sovrapposto un rumore di misura sinusoidale a frequenza 8000 rad/s e ampiezza massima 0.2, mentre sulla misura $y_2(t)$ è sovrapposto un rumore di misura sinusoidale a frequenza 8000 rad/s e ampiezza massima 0.02.

Come criterio di progetto generale si imponga di limitare l'azione di controllo. La soluzione proposta non deve presentare marcate code di assestamento.

Dimensionare l'attuatore al fine di garantire il funzionamento a regime (in presenza contemporanea del riferimento, dei disturbi e del rumore) e valutare di quanto deve essere sovradimensionato per gestire il transitorio.



Seconda Tipologia

- **WARNING:**
 - **Attenzione al parametro incerto:**
 - Attenzione al guadagno statico della funzione di anello per il soddisfacimento delle specifiche statiche.
 - Attenzione alle code di assestamento dovute a non perfette cancellazioni.
 - **Verificare il progetto per valori differenti del parametro incerto.**



Seconda Tipologia

- Progetto del regolatore statico:
 - (Specifiche statiche:)

disturbo **d**
definito
spettralmente

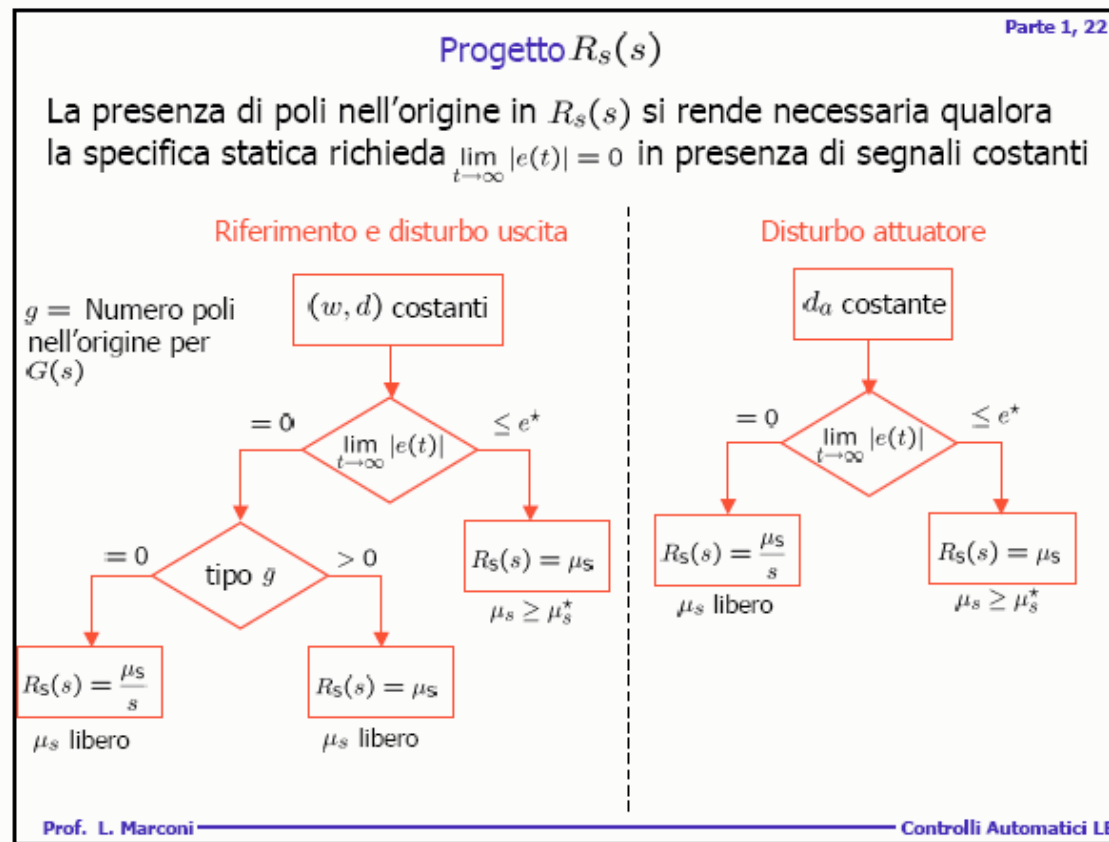
- Anello interno:
 - **1: attenuazione disturbo sinusoidale sull'uscita** pari a 10 volte con disturbo a frequenza ≤ 10 rad/s e ampiezza pari a 5

Riferimento **w** e
disturbo **d**
costanti

- Anello esterno
 - **1: errore a regime nullo** in presenza di riferimento a gradino e disturbo sull'uscita a gradino

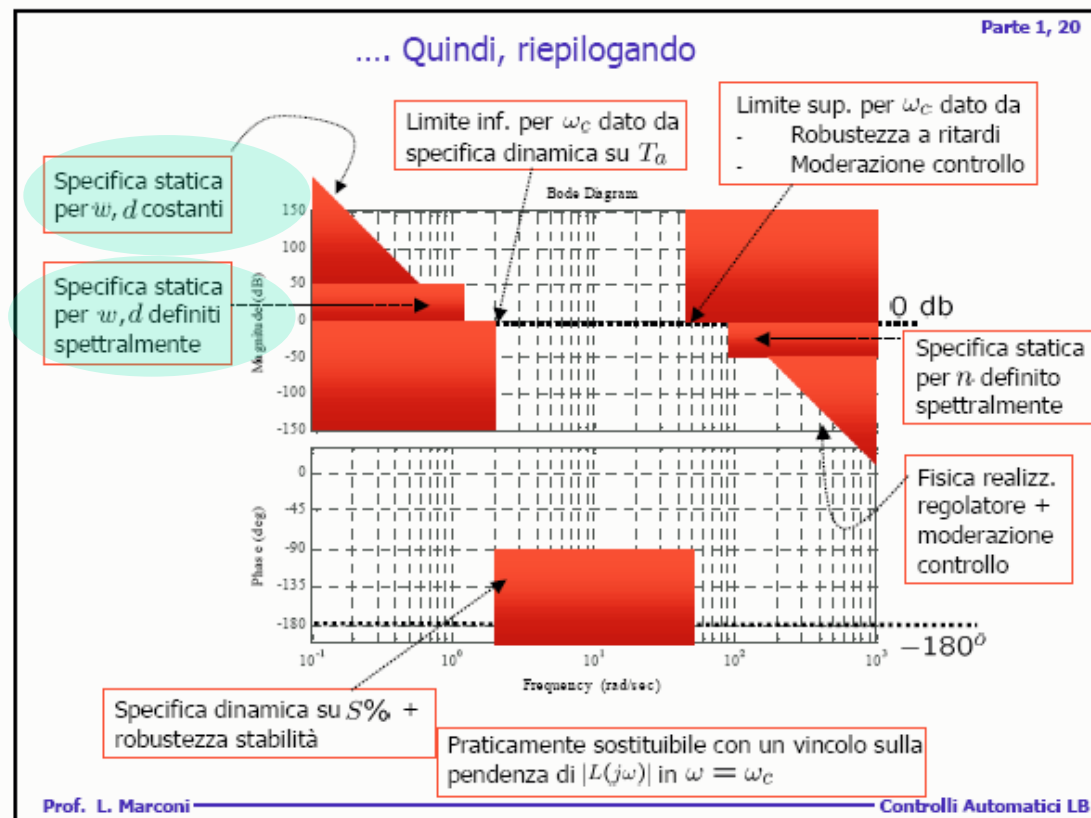
Seconda Tipologia

- Progetto del regolatore statico:



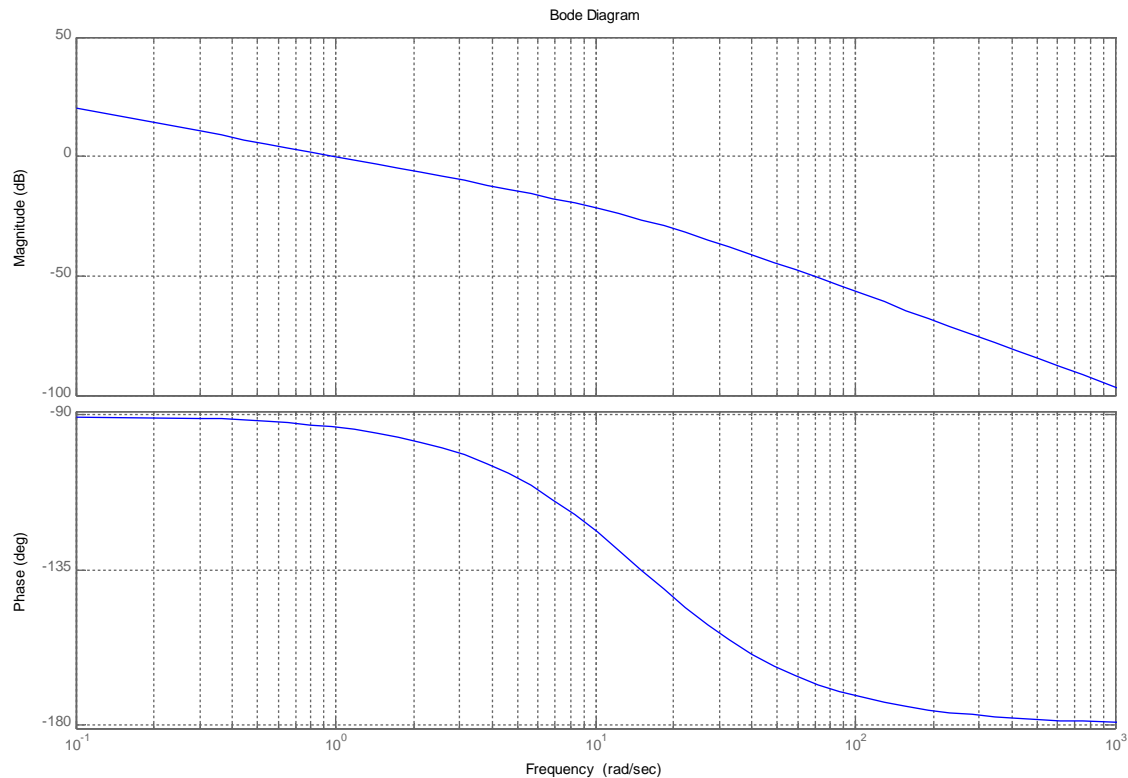
Seconda Tipologia

■ Progetto del regolatore statico:



Seconda Tipologia

■ >> bode(G)

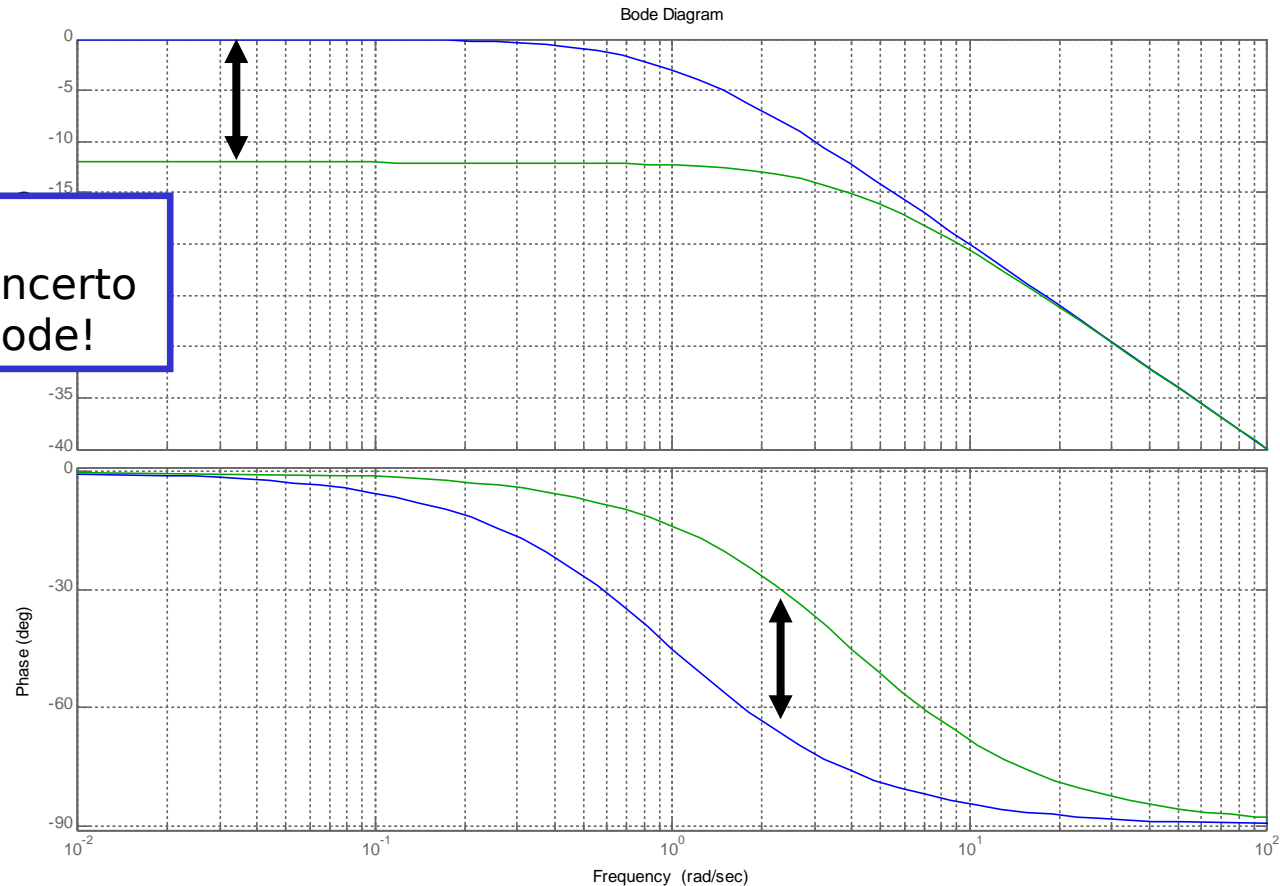


Seconda Tipologia

- >>bode(G2)

WARNING:

notate come il parametro incerto
influenzi il diagramma di Bode!



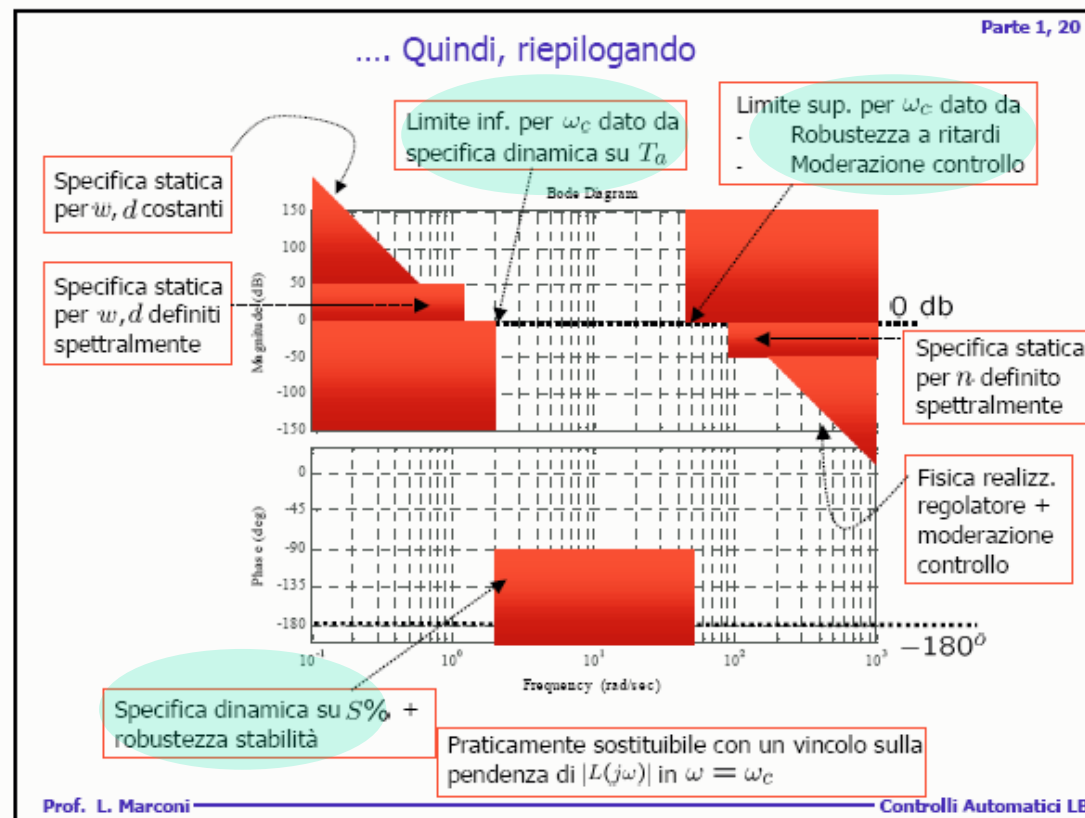


Seconda Tipologia

- Progetto del regolatore dinamico:
 - (Specifiche dinamiche:)
 - Anello interno:
 - **1: margine di fase** superiore a 40 gradi per garantire robustezza
 - **2: garantire disaccoppiamento frequenziale** tra inner loop e outer loop
 - Anello esterno
 - **1: assenza sovraelongazione** della risposta al gradino di riferimento
 - **2: tempo di assestamento** al 5% inferiore a 0.7 s
 - **3: margine di fase** superiore a 40 gradi per garantire robustezza

Seconda Tipologia

■ Progetto del regolatore dinamico:





Seconda Tipologia

- Progetto del regolatore dinamico (inner and outer loops):
 - Analisi dell'impiego di possibili schemi di controllo avanzato
 - Analisi delle specifiche sulla funzione di anello in funzione delle strategie adottate
 - Analisi e Sintesi del regolatore mediante gli scenari di riferimento



Seconda Tipologia

- Rumore di misura (inner and outer loops)
 - Attenzione al guadagno del regolatore ad alte frequenze (frequenze del rumore)
 - Studio della $Q(s)$
 - Scelta di strategie per limitare effetti del rumore
 - Poli in alta frequenza nel regolatore
 - Filtri sul ramo di retroazione (primo ordine, Butterworth)
- **WARNING:** Nel progetto di regolatori in cascata attenzione particolare alla variabile di controllo del loop interno che risente inevitabilmente anche del rumore sulla misura del loop esterno e generalmente ha guadagno maggiore ad alte frequenze!



Seconda Tipologia

- Analisi requisito:
 - Come criterio generale limitare l'azione di controllo
 - Che influenze ha il requisito sul progetto del regolatore?



Seconda Tipologia

- Analisi requisito:
 - La soluzione non deve presentare code di assestamento marcate
 - Analisi mediante luogo delle radici
 -



Seconda Tipologia

- Dimensionamento dell'attuatore
 - Osservazione dei valori di controllo di regime (riferimento, disturbi a gradino e disturbi sinusoidali)
 - Osservazione dei valori di controllo necessari a gestire il transitorio
 - Dimensionamento appropriato
 - Garantire sempre il funzionamento corretto del sistema a regime!
 - Non sovradimensionare! Grave errore di progetto!



Seconda Tipologia

- La soluzione una volta dimensionato l'attuatore soddisfa le specifiche?
- E sottodimensionando l'attuatore di un 20/30%?
 - Valutare l'impiego di schemi di controllo avanzati per ridurre il fenomeno del wind-up.

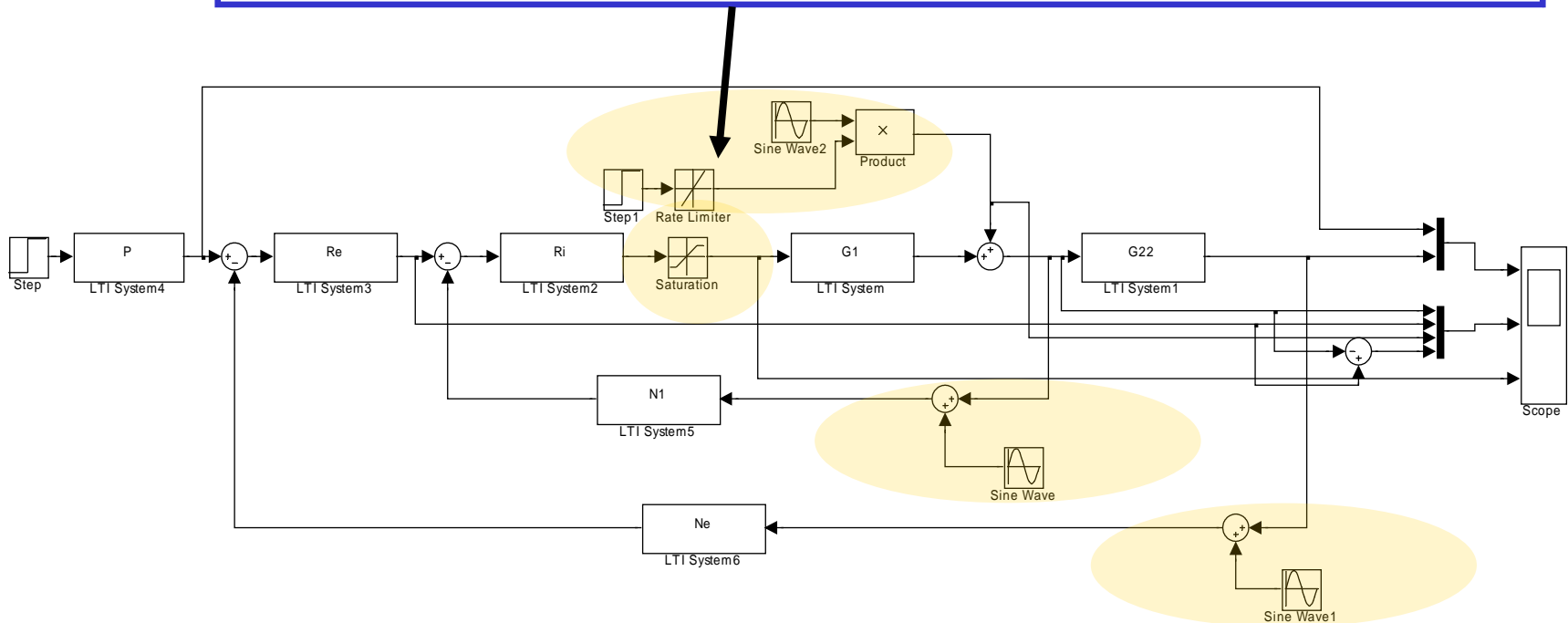


Seconda Tipologia

- Si immagini di implementare la legge di controllo su di un **sistema digitale**
 - Scelta del tempo di campionamento
 - Scelta del metodo di discretizzazione
- **Verifica del progetto mediante Matlab/Simulink**

Seconda Tipologia

Per fare entrare in “modo smooth” il rumore (prodotto con gradino a istante desiderato)





Terza tipologia

Si consideri il sistema descritto dalla funzione di trasferimento

$$G(s) = \frac{48600}{(s+90)^2 (s+15)(s+0.4)}$$

Specifiche
statiche

Si richiede di progettare un regolatore che soddisfi le seguenti specifiche:

- Errore a regime nullo in presenza di ingresso di riferimento a gradino di ampiezza massima pari a 2.0.
- Attenuazione superiore a 20 volte di un disturbo sinusoidale sull'uscita $y(t)$ a pulsazione inferiore a 0.08 rad/s e di ampiezza massima pari a 1.5.
- Assenza di sovraelongazione e oscillazioni nella risposta al riferimento a gradino.
- Tempo di assestamento al 1% della risposta al riferimento a gradino inferiore a 0.7s.
- Margine di fase superiore a 40 gradi, per garantire robustezza.

Sulla misura è sovrapposto un rumore di misura sinusoidale a frequenza 120 rad/s e ampiezza massima 0.05.

La soluzione proposta non deve presentare marcate code di assestamento.

Specifiche
dinamiche

Dimensionare l'attuatore al fine di garantire il funzionamento a regime (in presenza contemporanea del riferimento, dei disturbi e del rumore) e valutare di quanto deve essere sovradimensionato per gestire il transitorio.



Terza Tipologia

- Progetto del regolatore statico:
 - (Specifiche statiche:)

Riferimento w e
disturbo d
costanti

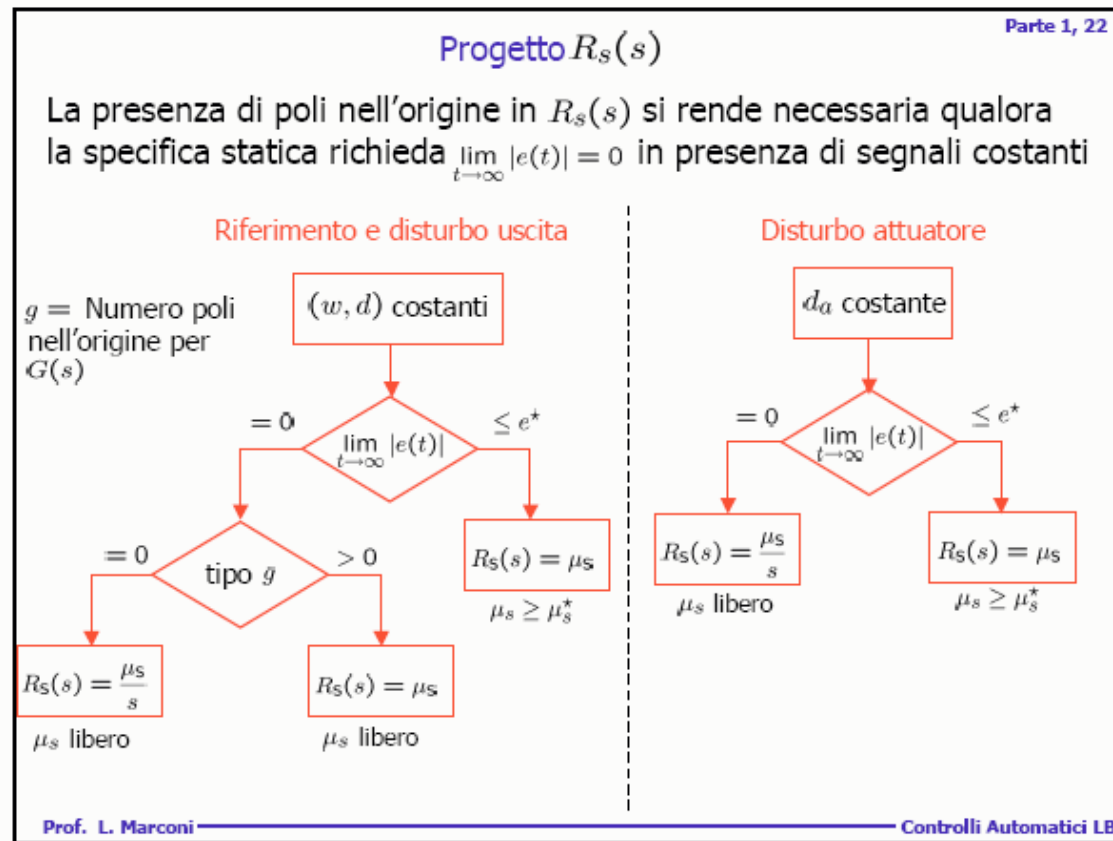
- **1: errore a regime nullo** in presenza di riferimento a gradino e disturbo sull'uscita a gradino

disturbo d
definito
spettralmente

- **2: attenuazione disturbo sinusoidale sull'uscita** pari a 20 volte con disturbo a frequenza ≤ 0.2 rad/s e ampiezza massima pari a 1

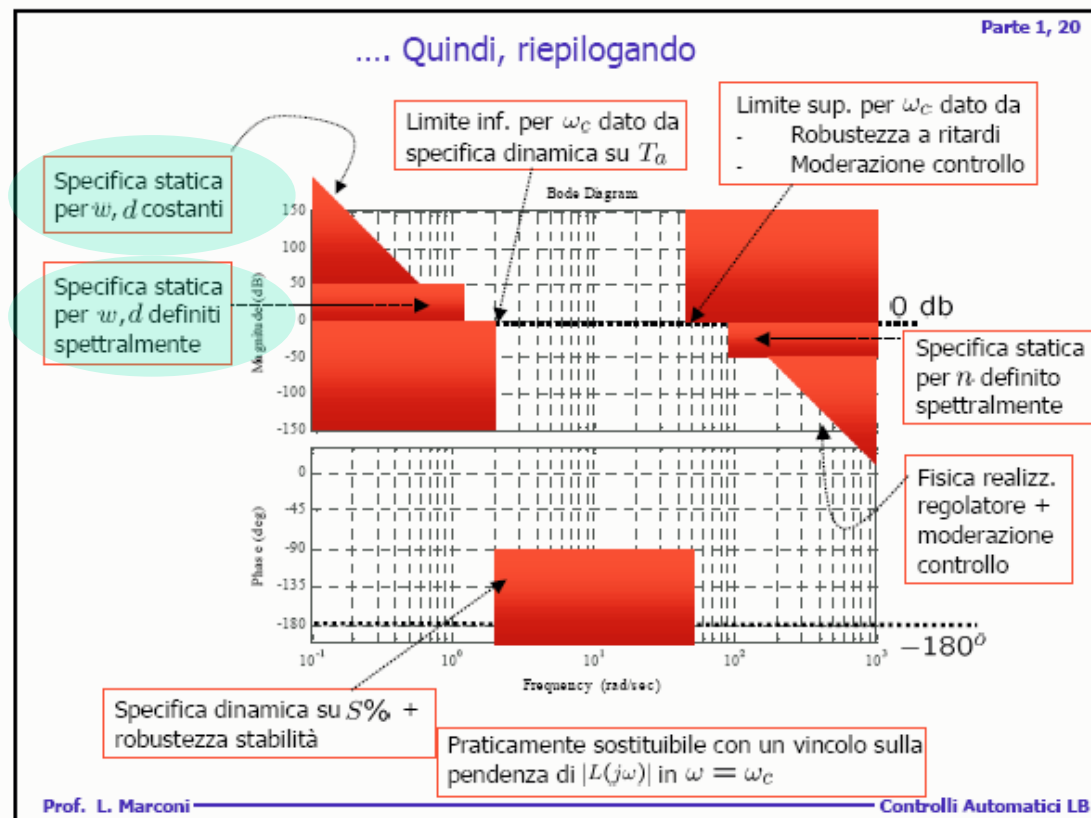
Terza Tipologia

- Progetto del regolatore statico:



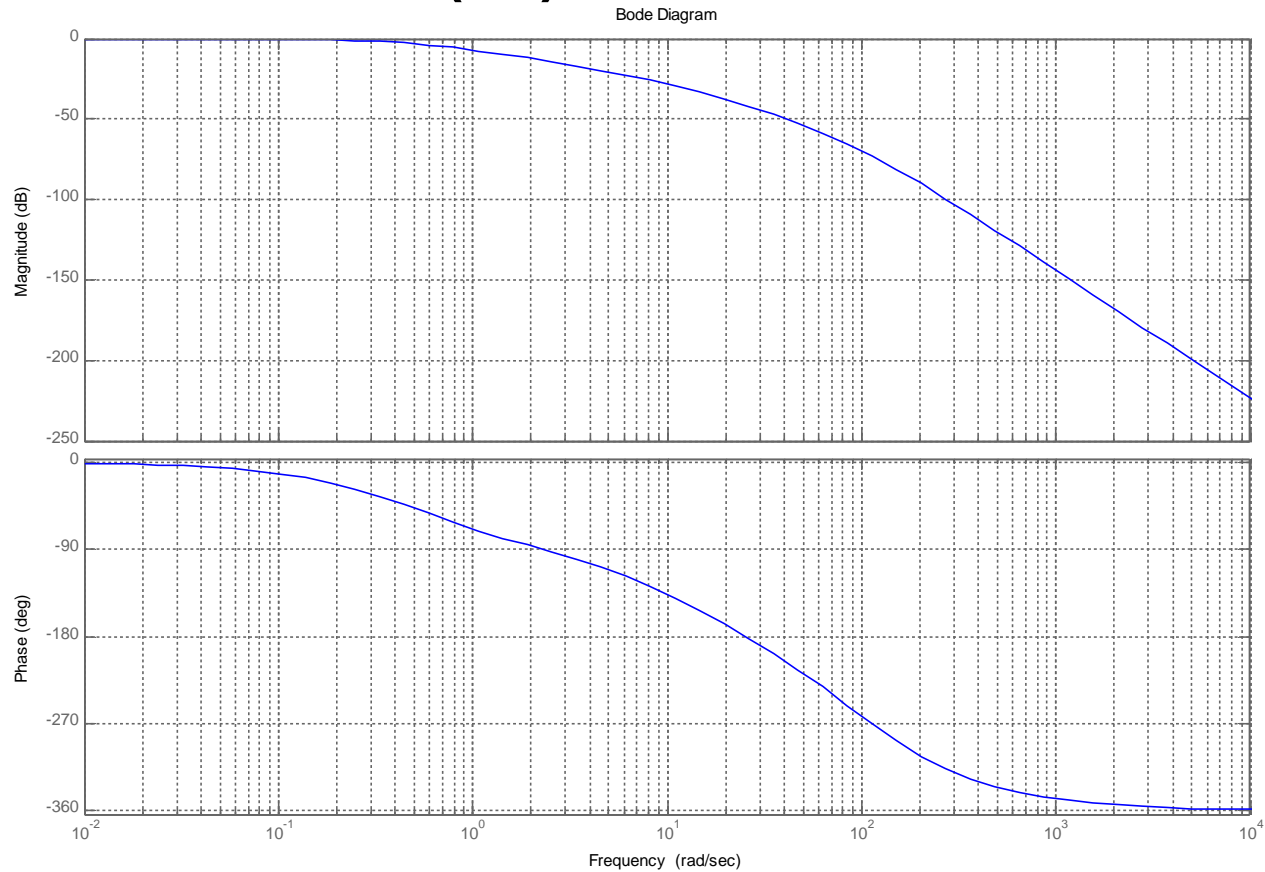
Terza Tipologia

■ Progetto del regolatore statico:



Terza Tipologia

■ >>bode(G)

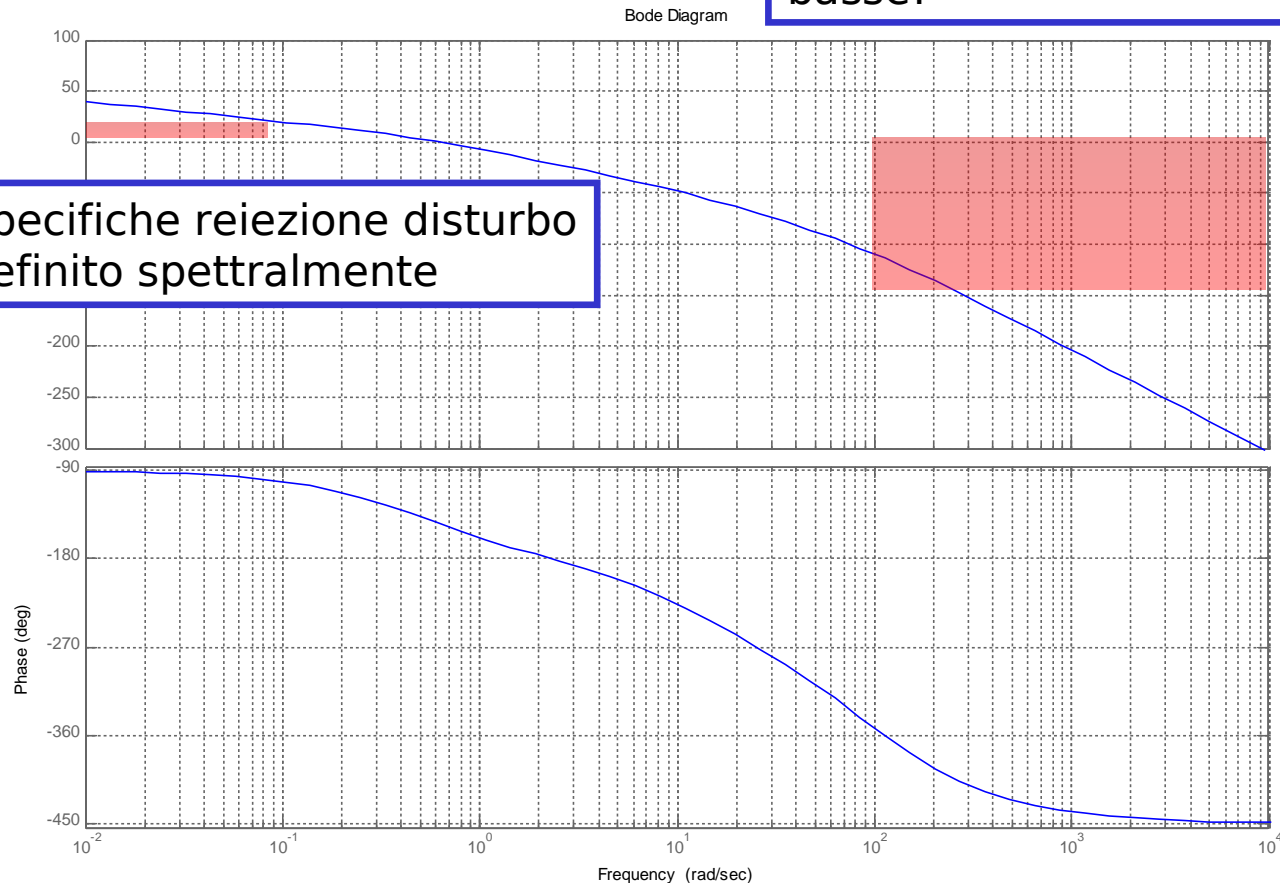


Terza Tipologia

■ $\gg \text{bode}(1/s * G)$

Attenzione al rumore n:
interviene a frequenze (relativamente)
basse!

Specifiche reiezione disturbo
definito spettralmente



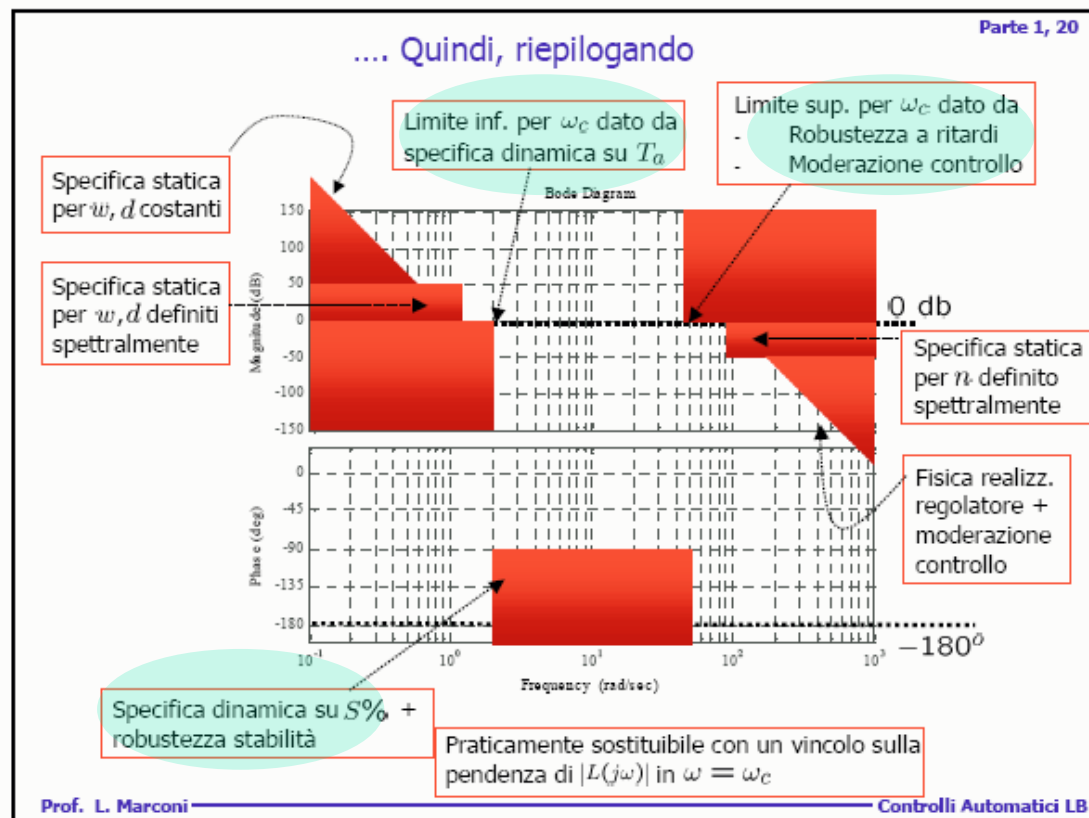


Terza Tipologia

- Progetto del regolatore dinamico:
 - (Specifiche dinamiche:)
 - **1: assenza di sovraelongazione** della risposta al gradino di riferimento
 - **2: tempo di assestamento** al 1% inferiore a 0.7 s
 - **3: margine di fase** superiore a 40 gradi per garantire robustezza

Terza Tipologia

■ Progetto del regolatore dinamico:

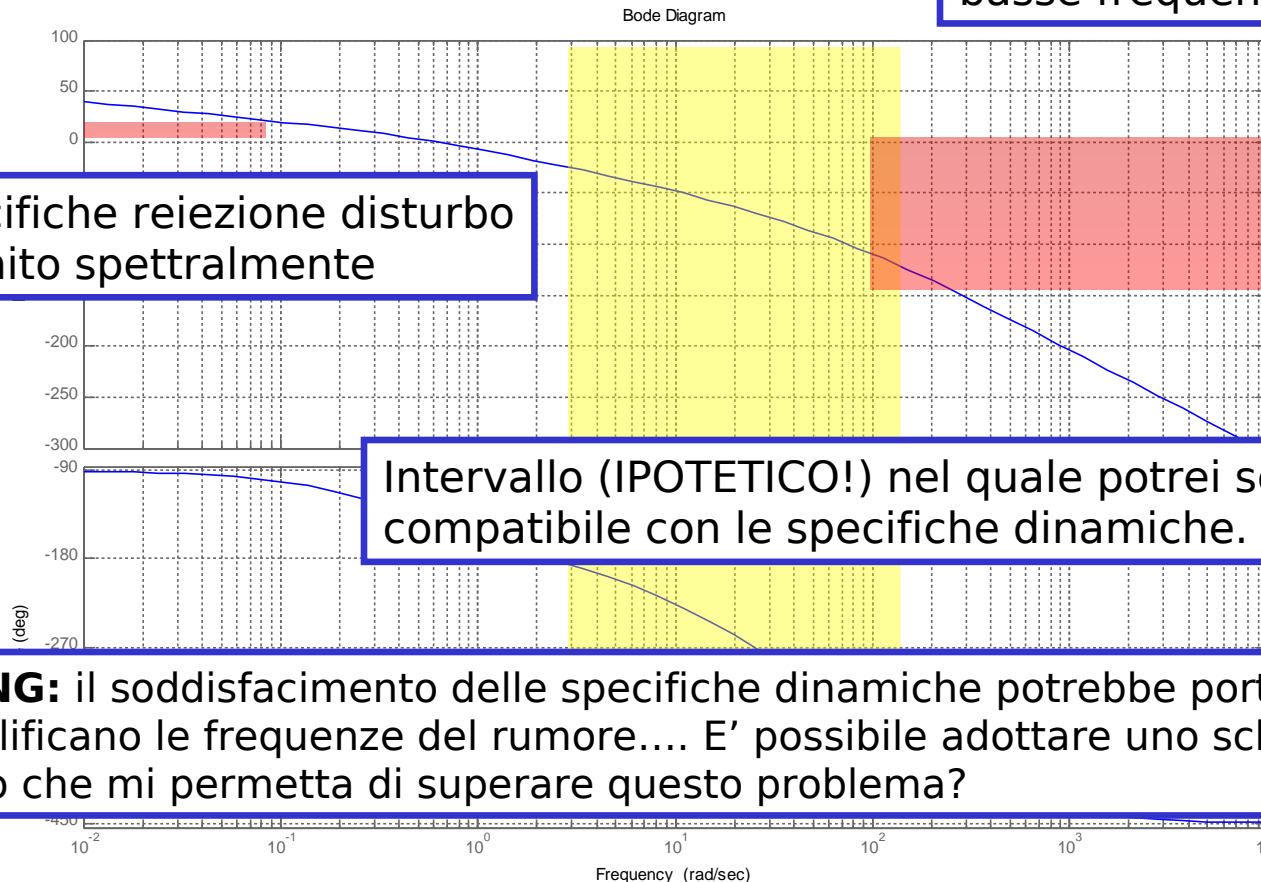


Terza Tipologia

■ $\gg \text{bode}(1/s * G)$

Attenzione al rumore n :
interviene a (relativamente)
basse frequenze!

Specifiche reiezione disturbo
definito spettralmente



Intervallo (IPOTETICO!) nel quale potresti scegliere w_c
compatibile con le specifiche dinamiche.

WARNING: il soddisfacimento delle specifiche dinamiche potrebbe portarmi a regolatori che amplificano le frequenze del rumore.... E' possibile adottare uno schema di controllo avanzato che mi permetta di superare questo problema?

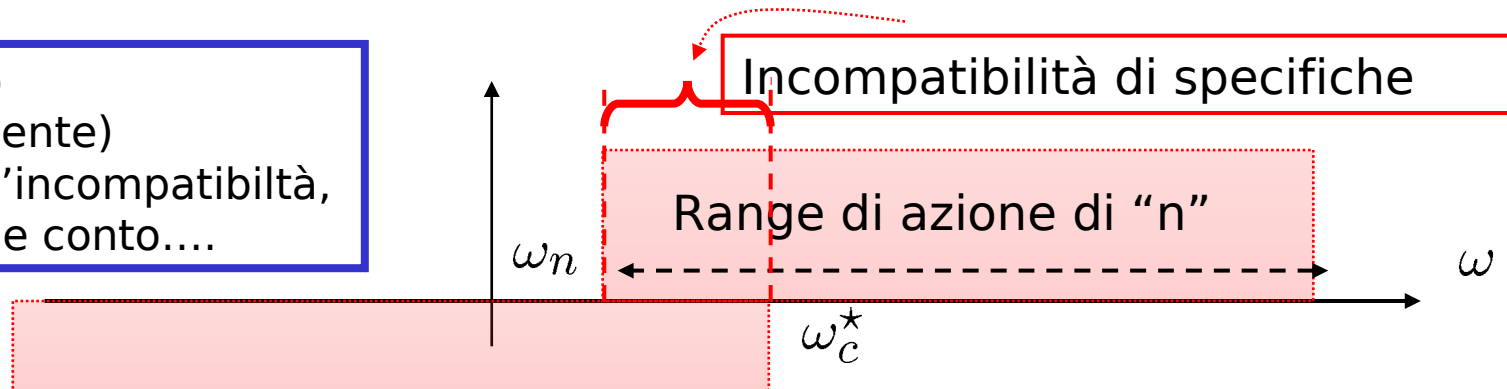
Terza Tipologia

■ Possibili suggerimenti....

Scenario significativo di controllo

- Presenza di specifiche “severe” su attenuazione di disturbi di tipo “n” e/o presenza di ritardi nel sistema controllato che limitano la massima pulsazione di attraversamento imponibile ad essere $\omega_c < \omega_n$ (limitando quindi la massima velocità di risposta del sistema)
- Presenza di specifiche sul tempo di assestamento nella risposta al riferimento che richiederebbero una pulsazione di attraversamento $\omega_c > \omega_c^*$ superiore a quella imposta dai vincoli sopra ($\omega_c^* > \omega_n$)

Nel caso specifico
(vedi slide precedente)
non è così netta l’incompatibilità,
ma è bene tenerne conto....





Terza Tipologia

- Progetto del regolatore dinamico:
 - Analisi dell'impiego di possibili **schemi di controllo avanzato**
 - Analisi delle specifiche sulla funzione di anello in funzione delle strategie adottate
 - Analisi e Sintesi del regolatore mediante gli scenari di riferimento



Terza Tipologia

- Rumore di misura
 - Attenzione al guadagno del regolatore ad alte frequenze (frequenze del rumore)
 - Studio della $Q(s)$
 - Scelta di strategie per limitare effetti del rumore
 - Poli in alta frequenza nel regolatore
 - Filtri sul ramo di retroazione (primo ordine, Butterworth)



Terza Tipologia

- Analisi requisito:
 - La soluzione non deve presentare code di assestamento marcate
 - Analisi mediante luogo delle radici
 -



Terza Tipologia

- Dimensionamento dell'attuatore
 - Osservazione dei valori di controllo di regime (riferimento, disturbi a gradino e disturbi sinusoidali inseriti nella simulazione ai rispettivi valori massimi e nel caso peggiore (segno))
 - Osservazione dei valori di controllo necessari a gestire il transitorio
 - Dimensionamento appropriato
 - Garantire sempre il funzionamento corretto del sistema a regime!
 - Non sovradimensionare! Grave errore di progetto!



Terza Tipologia

- La soluzione una volta dimensionato l'attuatore soddisfa le specifiche?
- E sottodimensionando l'attuatore di un 20/30%?
 - Valutare l'impiego di schemi di controllo avanzati per ridurre il fenomeno del wind-up.



Terza Tipologia

- Si immagini di implementare la legge di controllo su di un **sistema digitale**
 - Scelta del tempo di campionamento
 - Scelta del metodo di discretizzazione
- **Verifica del progetto mediante Matlab/Simulink**

Terza Tipologia

