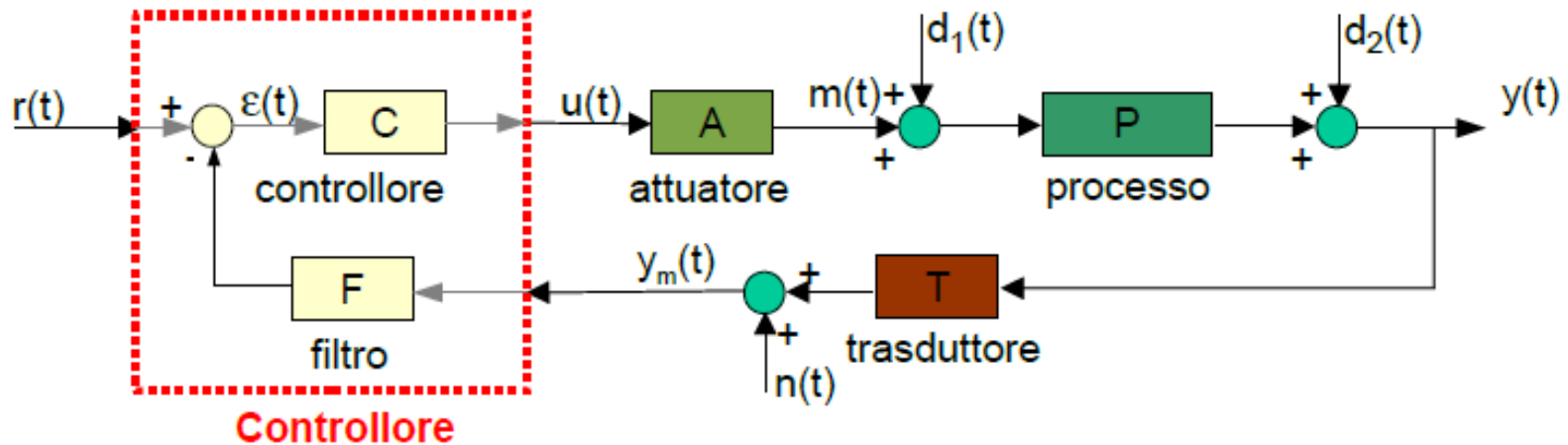


Regolatori industriali PID

- La legge di controllo di riferimento
- Le azioni elementari
- Le azioni combinate

La legge di controllo di riferimento



L'esigenza di controllare varie tipologie di impianti limitando i costi associati ai sistemi di automazione



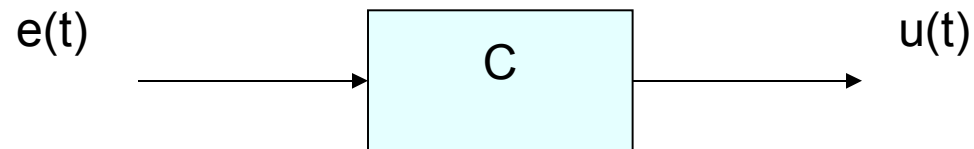
Regolatori/Controllori a struttura fissa con parametri variabili e tarabili in funzione delle esigenze



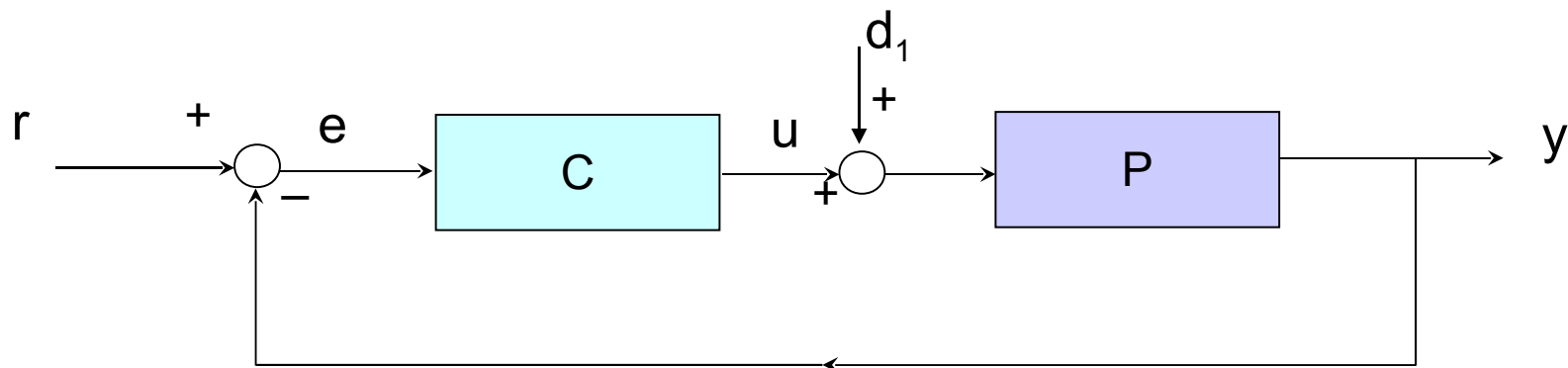
Regolatori industriali PID

La legge di controllo di riferimento

I regolatori industriali sono dei controllori a struttura fissa in cui l'uscita è una combinazione lineare di funzioni elementari del segnale in ingresso (l'errore)

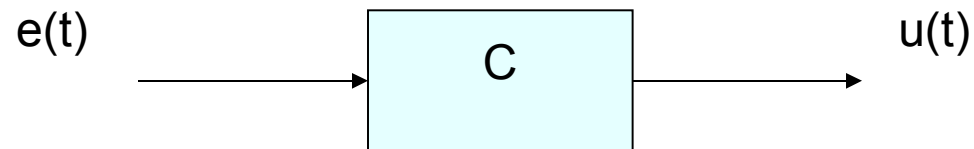


$$u(t) = k_P e(t) + k_I \int_0^t e(\tau) d\tau + k_D \frac{de(t)}{dt}$$
$$= u_P(t) + u_I(t) + u_D(t)$$



La legge di controllo di riferimento

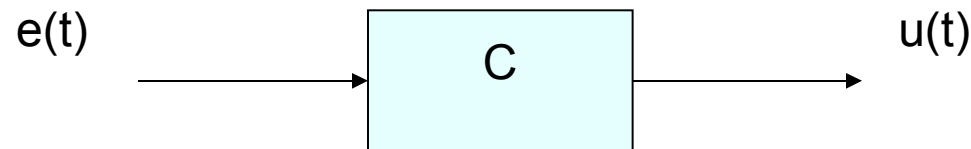
I regolatori industriali sono dei controllori a struttura fissa in cui l'uscita è una combinazione lineare di funzioni elementari del segnale in ingresso (l'errore)



$$\begin{aligned} U(s) &= k_P E(s) + \frac{k_I}{s} E(s) + s k_D E(s) \\ &= \left[k_P + \frac{k_I}{s} + s k_D \right] E(s) \\ &= \frac{k_I + s k_P + s^2 k_D}{s} E(s) \end{aligned}$$

La legge di controllo di riferimento

I regolatori industriali sono dei controllori a struttura fissa in cui l'uscita è una combinazione lineare di funzioni elementari del segnale in ingresso (l'errore)



$$\tau_I = \frac{k_P}{k_I}$$

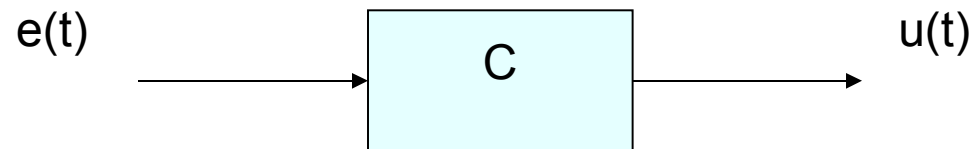
$$\tau_D = \frac{k_D}{k_P}$$

$$C_{PID}(s) = k_P \frac{1 + s\tau_I + s^2\tau_I\tau_D}{\tau_I s}$$

Il regolatore ideale è un sistema improprio, non realizzabile, che può essere approssimato inserendo un polo lontano nel controllore reale

La legge di controllo di riferimento

I regolatori industriali sono dei controllori a struttura fissa in cui l'uscita è una combinazione lineare di funzioni elementari del segnale in ingresso (l'errore)



$$\tau_I = \frac{k_P}{k_I}$$

$$\tau_D = \frac{k_D}{k_P}$$

$$C_{PID}(s) = k_P \frac{1 + s\tau_I + s^2\tau_I\tau_D}{\tau_I s}$$

$$N \geq 10$$

$$C_{PID_{reale}}(s) = k_P \frac{1 + s\tau_I + s^2\tau_I\tau_D}{\tau_I s \left(1 + \frac{\tau_D}{N} s \right)} E(s)$$

La legge di controllo di riferimento

Parametri dei regolatori industriali

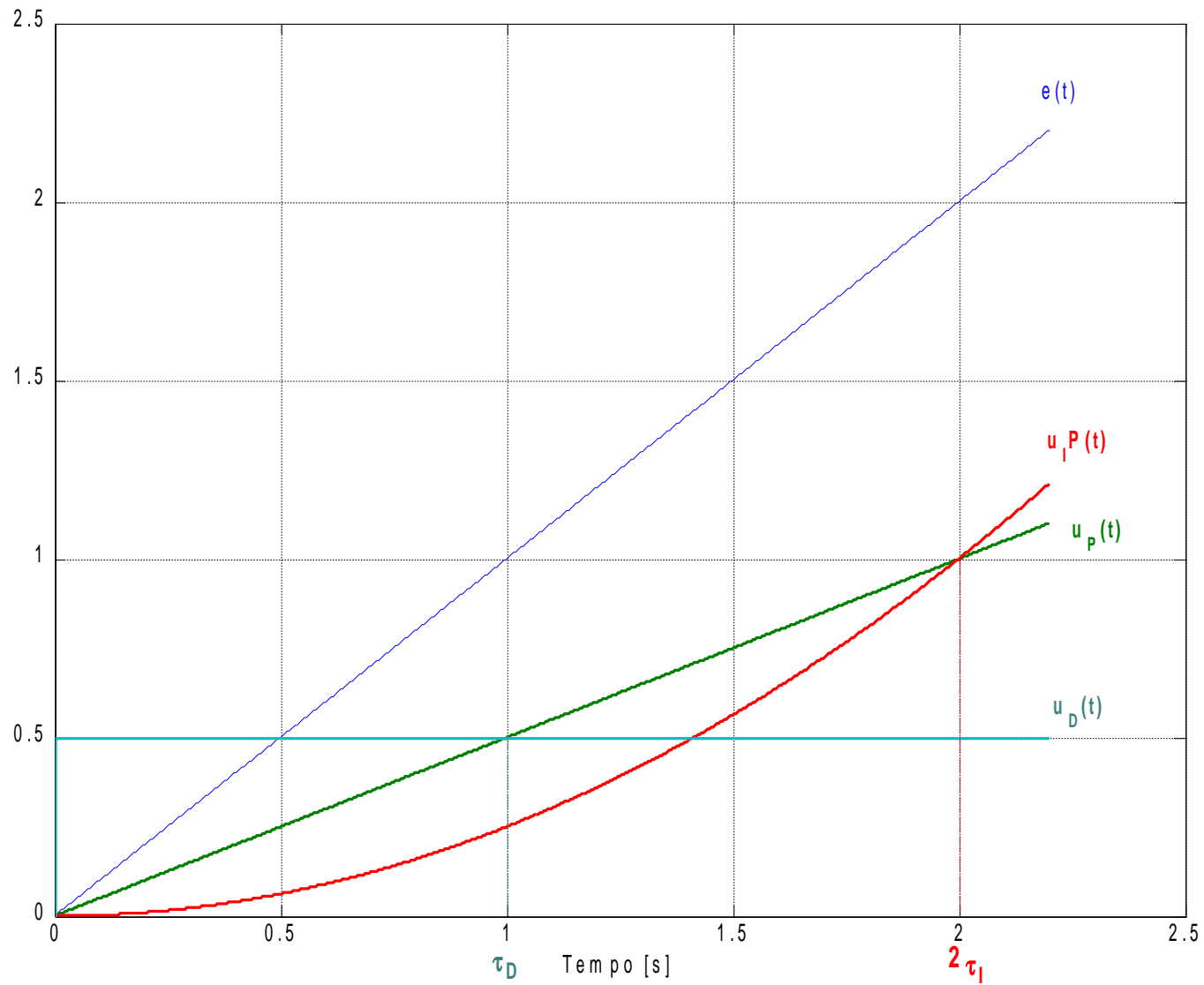
Banda proporzionale (B_p): è l'inverso del guadagno dell'azione proporzionale. Indica il range relativo entro cui un controllore con attuatore saturato si mantiene lineare

Tempo di anticipo (τ_D): indica la “durata” dell'effetto dell'azione derivativa

Tempo di intervento integrale (τ_I): indica il tempo di latenza dell'azione integrale

$$B_p = \frac{1}{k_P}; \quad \tau_D = \frac{k_D}{k_P}; \quad \tau_I = \frac{k_P}{k_I}$$

La legge di controllo di riferimento



Le azioni elementari

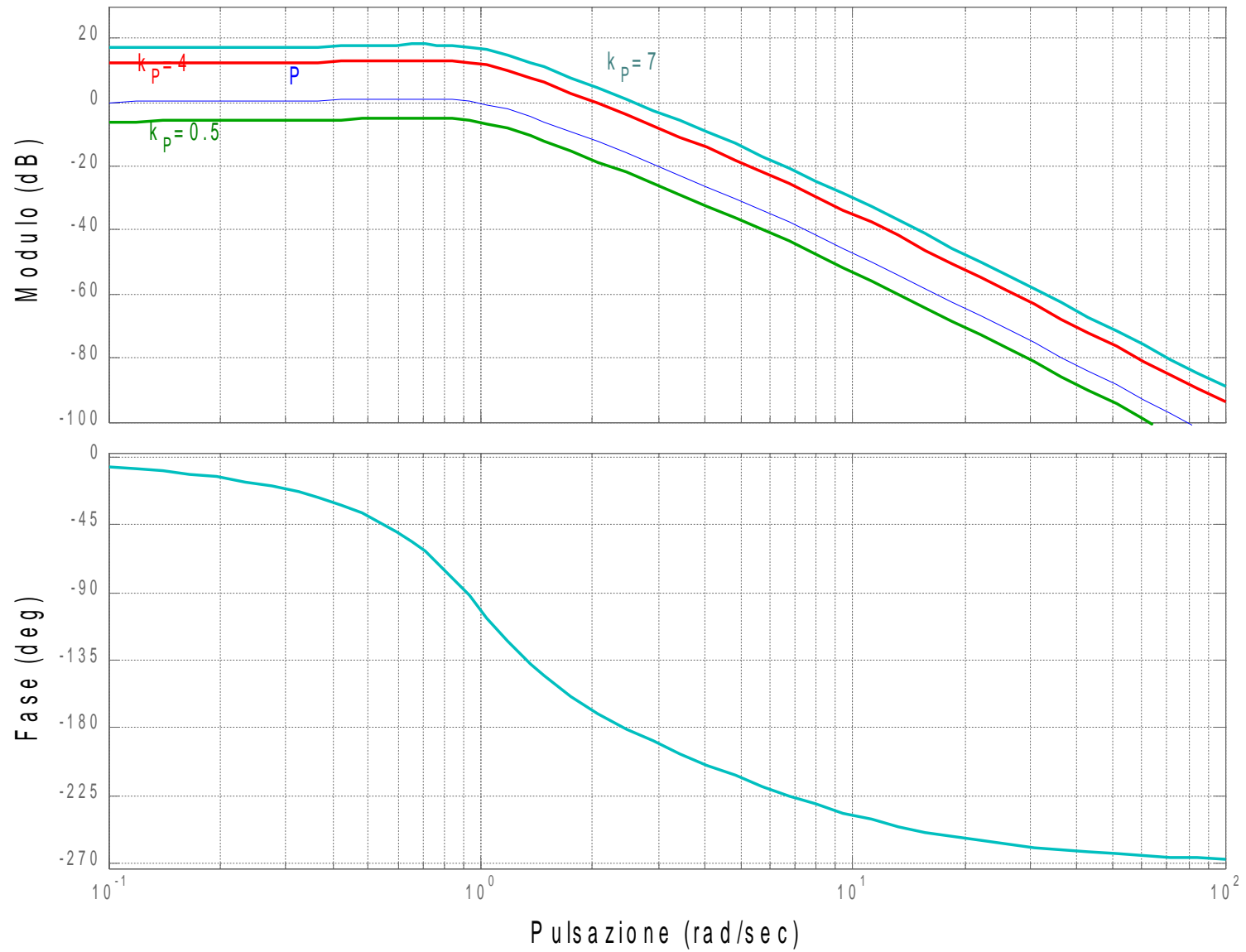
Azione proporzionale: *componente istantanea dell'azione di controllo*

- Incrementa la accuratezza del sistema di controllo
 - Incrementa le proprietà di reiezione ai disturbi in catena diretta
 - Aumenta la banda passante del sistema di controllo
-
- Riduce i margini di stabilità del sistema di controllo fino alla sua destabilizzazione
 - Potrebbe aumentare le oscillazioni della risposta indiciale del sistema di controllo
 - Potrebbe aumentare il tempo di assestamento del sistema di controllo

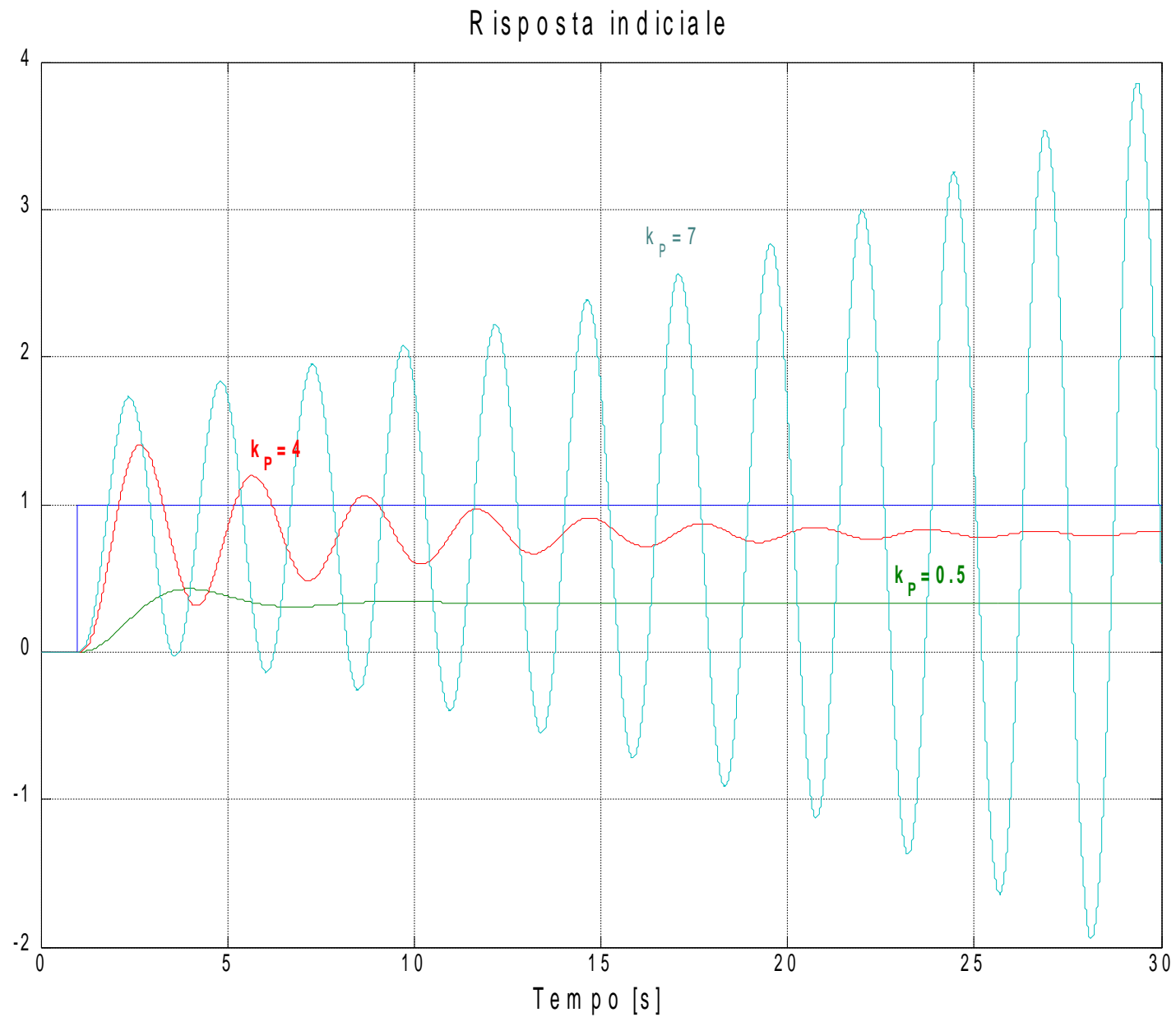
$$e(t) = \sin(\omega t) \rightarrow u(t) = -k_p \sin(\omega t)$$

Le azioni elementari

Risposta armonica di catena diretta



Le azioni elementari



Le azioni elementari

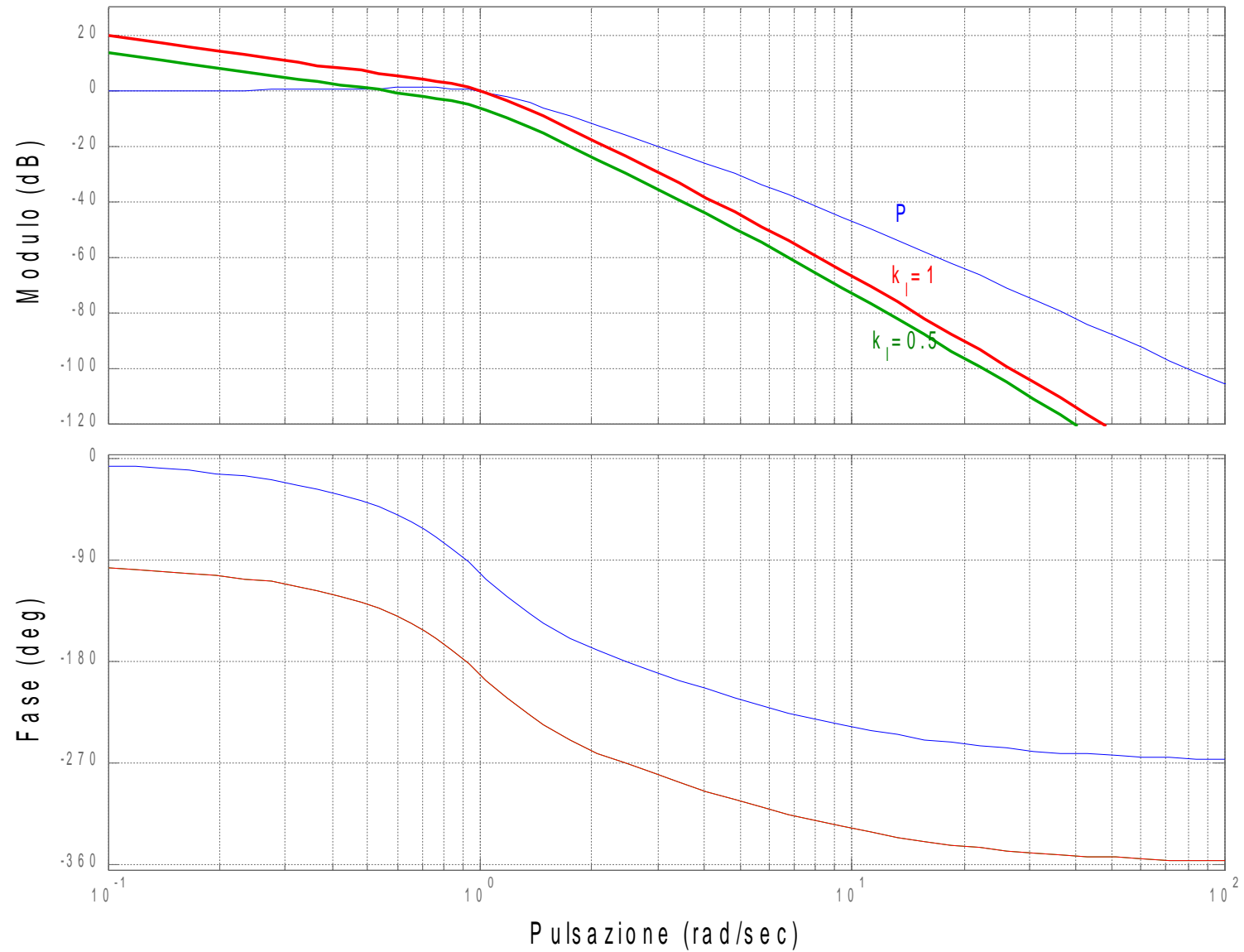
Azione integrale: *componente storica dell'azione di controllo*

- Incrementa la accuratezza del sistema di controllo per segnali in bassa frequenza
 - Riproduce fedelmente, a regime, segnali di riferimento costanti
 - Incrementa le proprietà di reiezione ai disturbi in bassa frequenza agenti in catena diretta
 - Reietta completamente, a regime, disturbi costanti
-
- Introduce un ritardo fisso di -90° sul ciclo aperto
 - Riduce i margini di stabilità del sistema di controllo fino alla sua possibile destabilizzazione
 - Potrebbe aumentare le oscillazioni della risposta indiciale del sistema di controllo
 - Potrebbe aumentare il tempo di assestamento del sistema di controllo

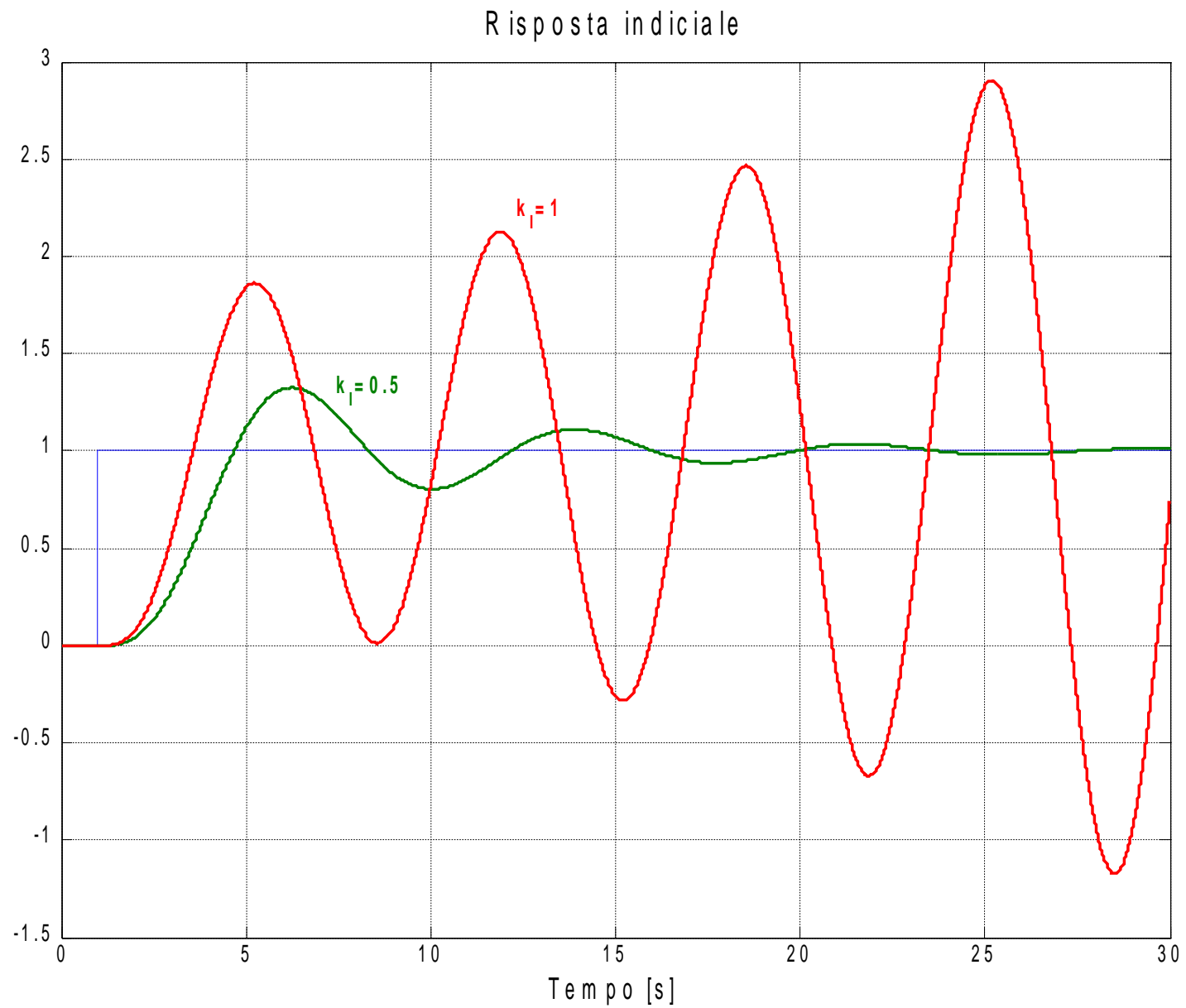
$$e(t) = \sin(\omega t) \quad \rightarrow \quad u(t) = -\frac{k_I}{\omega} \cos(\omega t) = \frac{k_I}{\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$$

Le azioni elementari

Risposta armonica di catena diretta



Le azioni elementari



Le azioni elementari

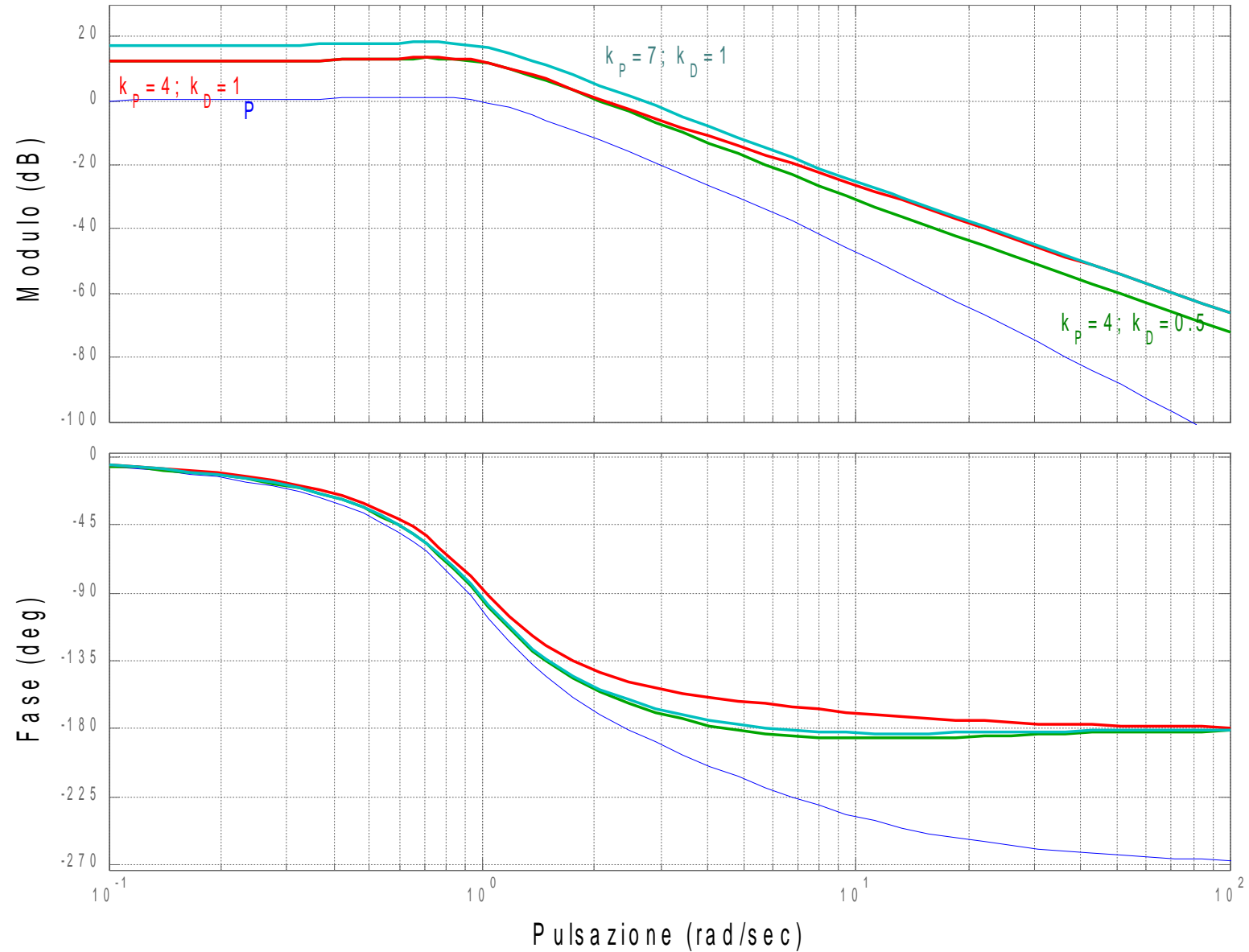
Azione derivativa: *componente anticipatrice dell'azione di controllo*

- Introduce un anticipo fisso di 90°
 - Migliora i margini di stabilità
 - Riduce la sovraelongazione della risposta indiciale del sistema di controllo
 - Riduce il tempo di assestamento del sistema di controllo
-
- Non utilizzabile singolarmente (non reagisce ad errori costanti anche grandi)
 - Aumenta la sensibilità al rumore di misura
 - Controllore non causale

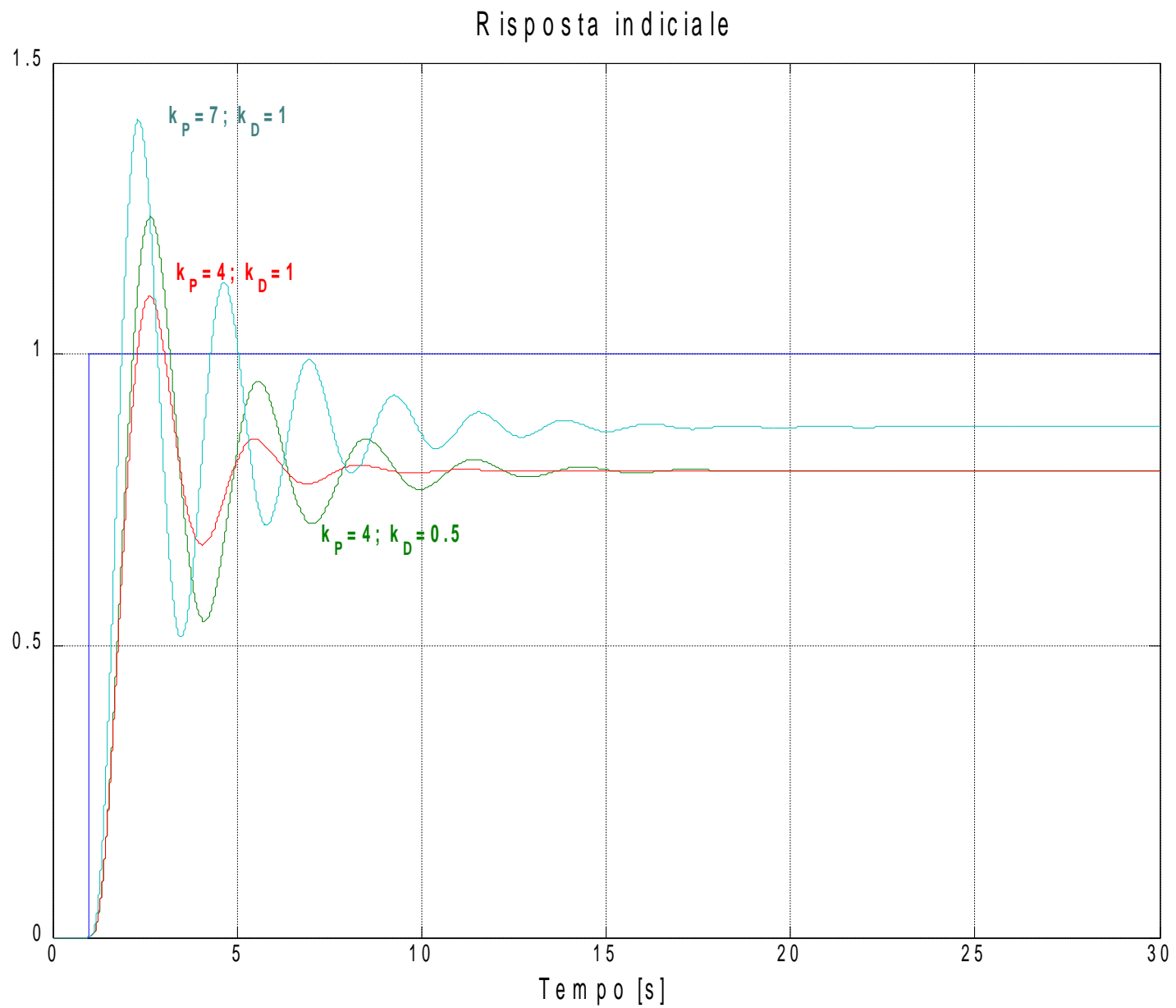
$$e(t) = \sin(\omega t) \quad \rightarrow \quad u(t) = k_D \omega \cos(\omega t) = k_D \omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$$

Le azioni elementari

Risposta armonica della catena diretta



Le azioni elementari



Le azioni combinate

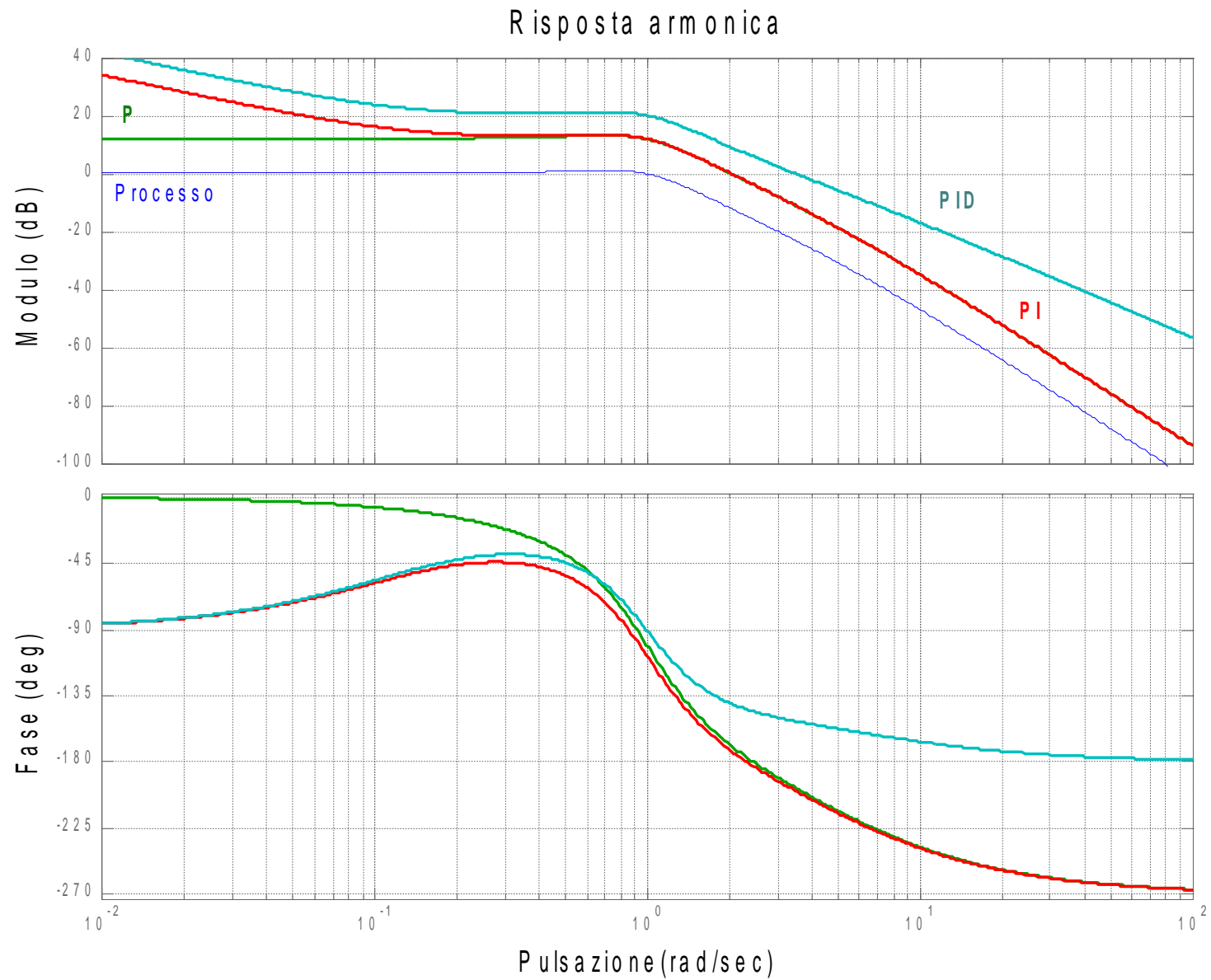
Azioni combinate: permettono di individuare il migliore compromesso tra i vantaggi e svantaggi di ogni singola componente

- Migliora la accuratezza
- Migliora la reiezione dei disturbi
- Migliora i margini di stabilità
- Riduce la sovraelongazione della risposta indiciale del sistema di controllo
- Riduce il tempo di assestamento del sistema di controllo
- Aumenta la banda passante del sistema di controllo
- Aumenta la prontezza della risposta indiciale

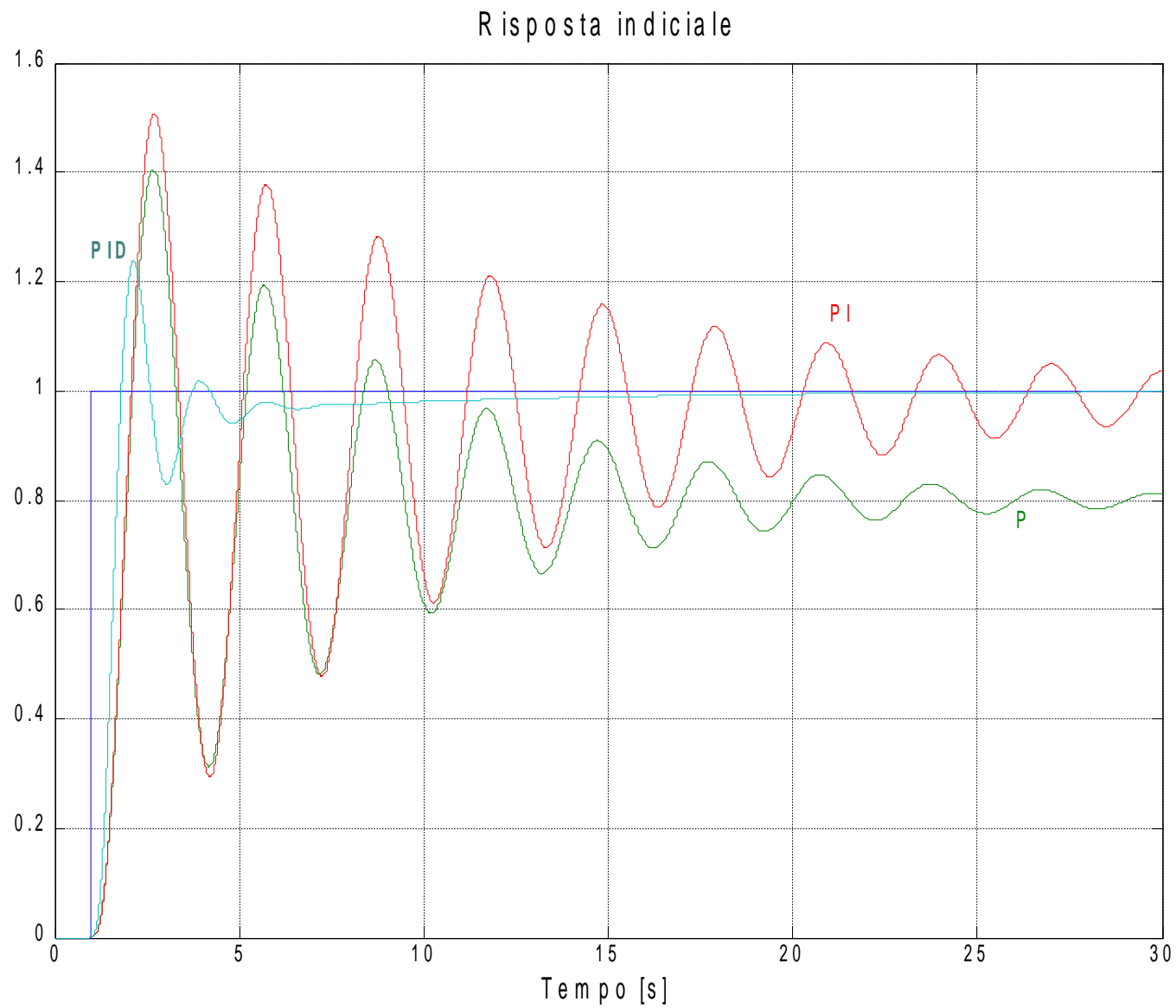
Esempio di taratura

P	$k_p = 4$	$k_I = 0$	$k_D = 0$
PI	$k_p = 4$	$k_I = 0.5$	$k_D = 0$
PID	$k_p = 10$	$k_I = 1.2$	$k_D = 3$

Le azioni combinate



Le azioni combinate



Riepilogo

- ✓ È stato introdotto un controllore a struttura fissa utilizzabile per il controllo dei sistemi dinamici
- ✓ È stato discusso l'effetto delle azioni di controllo elementari realizzabili con i controllori PID
- ✓ È stato mostrato come l'utilizzo combinato delle azioni elementari possa migliorare le prestazioni del sistema di controllo