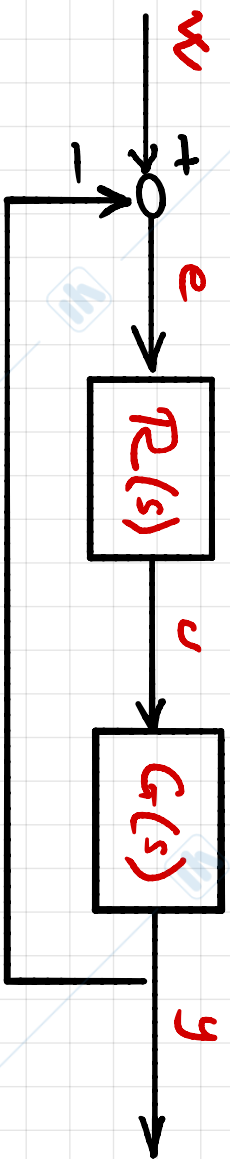


PROGETTO DEL REGOLAMENTO PER SISTEMI CON RITARDO

CONTROLLO DI SISTEMI CON RITARDO



$$G(s) = \underbrace{G'(s)}_{\text{RACIONALE}} e^{-zs}$$

ritardo

- CAUSE DEL RITARDO

- RITARDO DI TRASMISSIONE
- RITARDO DI ELABORAZIONE
- FENOMENI DI TRASPORTO

$$L(s) = P(s)G(s) \underbrace{e^{-zs}}_{L'(s)}$$

NON CAUCELABILE

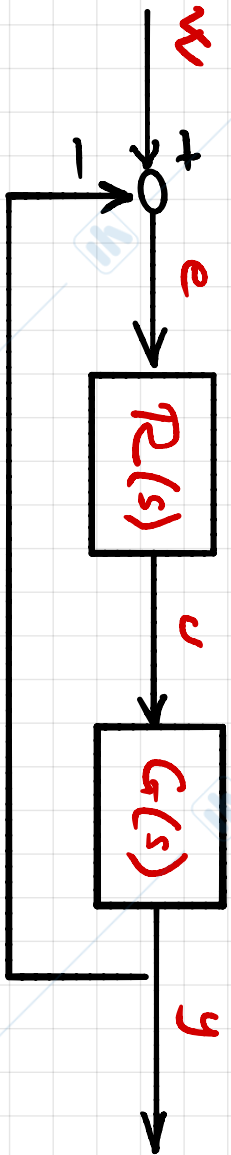
• DÀ UN CONTRIBUTO ALLA FASE

$$- \omega \tau \frac{180^\circ}{\pi}$$

- CONSEGUENZE:

- Perdita di Stabilità
- Degradamento Prestazioni

- Esempio 1



$$G(s) = \frac{e^{-4s}}{(1+s)^2}$$

- SPECIFICHE

(a) $e(\infty) = 0$ con $w(t) = \pm 15 \cos(t)$

(b) $\omega_c \geq 0.1$

(c) $\varphi_m \geq 30^\circ$

- PROGETTO

$$P(s) = \frac{0.2(1+s)}{s}$$

$\omega_c \approx 0.2$

$\varphi_m \approx 33^\circ$

IMPOSSIBILE
NUMERARE ω_c

- CONTROLLO DI SISTEMI CON RITARDO

$$G(s) = G'(s) e^{-\tau s}$$

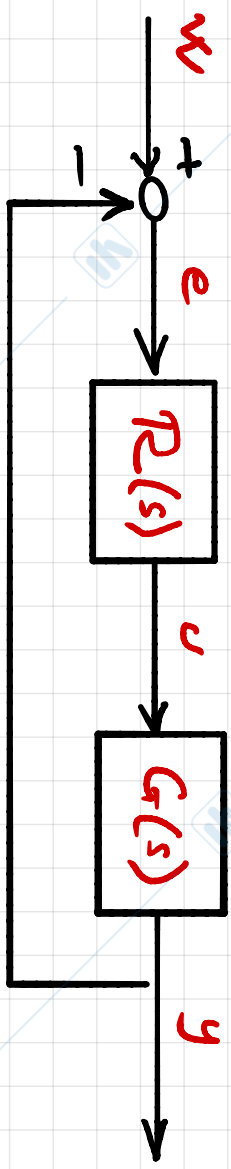
RAZIONARE

- LIMITARE PRESSIONI

- IN PRESENZA DI UN RITARDO $e^{-\tau s}$ VI SONO
LIMITAZIONI SU ω_c

- CON QUANTOVE REGOLATORE È IMPOSSIBILE
AVANZARE LA BANDA OLTRE $\omega_{max} \approx \frac{\pi}{2\tau}$

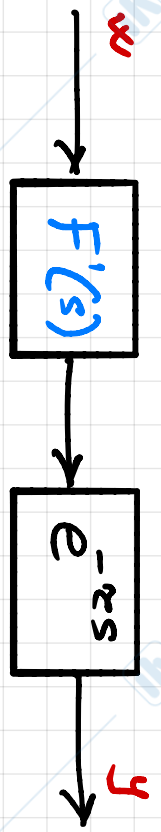
- SCHEMA A PRESSIONE DI SMITH



$$G(s) = G'(s)e^{-\tau s}$$

$$G_{yw}(s) = \frac{P(s)G'(s)e^{-\tau s}}{1 + P(s)G'(s)e^{-\tau s}} \stackrel{?}{=} \frac{P'(s)G'(s)}{1 + P'(s)G'(s)} e^{-\tau s}$$

$$\underbrace{\frac{P'(s)G'(s)}{1 + P'(s)G'(s)}}_{F'(s)}$$



RU SPONA ALLO SCARNO

ARBITRARIAMENTE VELOCE



Occorre che sia:

$$\frac{R(s)G'(s)e^{-\tau s}}{1+R(s)G'(s)e^{-\tau s}} = \frac{R'(s)G'(s)}{1+R'(s)G'(s)} e^{-\tau s}$$

$$R(s) [1+R'(s)G'(s)] = R'(s) [1+R(s)G'(s)e^{-\tau s}]$$

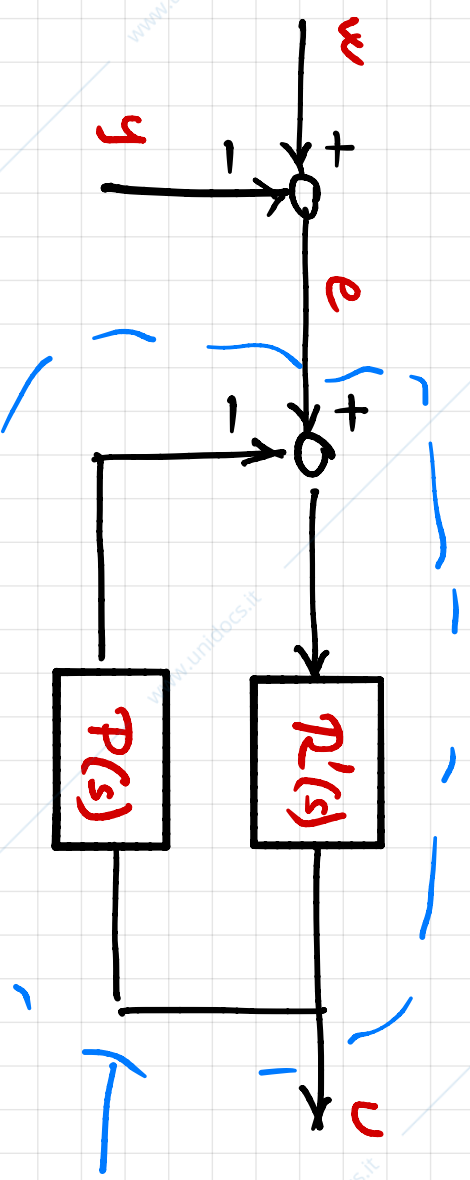
$$R(s) [1+R'(s)G'(s) - R'(s)G'(s)e^{-\tau s}] = R'(s)$$

$$\Rightarrow R(s) = \frac{R'(s)}{1+R'(s)G'(s)(1-e^{-\tau s})}$$

$$L'(s) = R'(s)G'(s)$$

- SCHEMA A BUCCHI

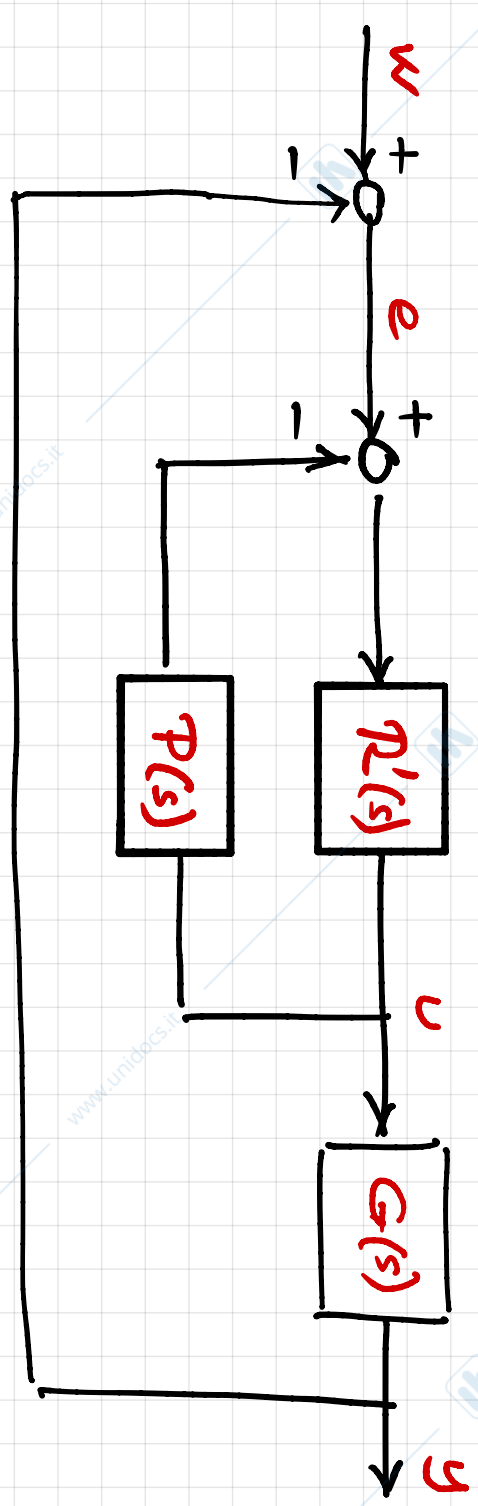
$$R(s) = \frac{R'(s)}{1 + R'(s)G(s)(1 - e^{-zs})}$$



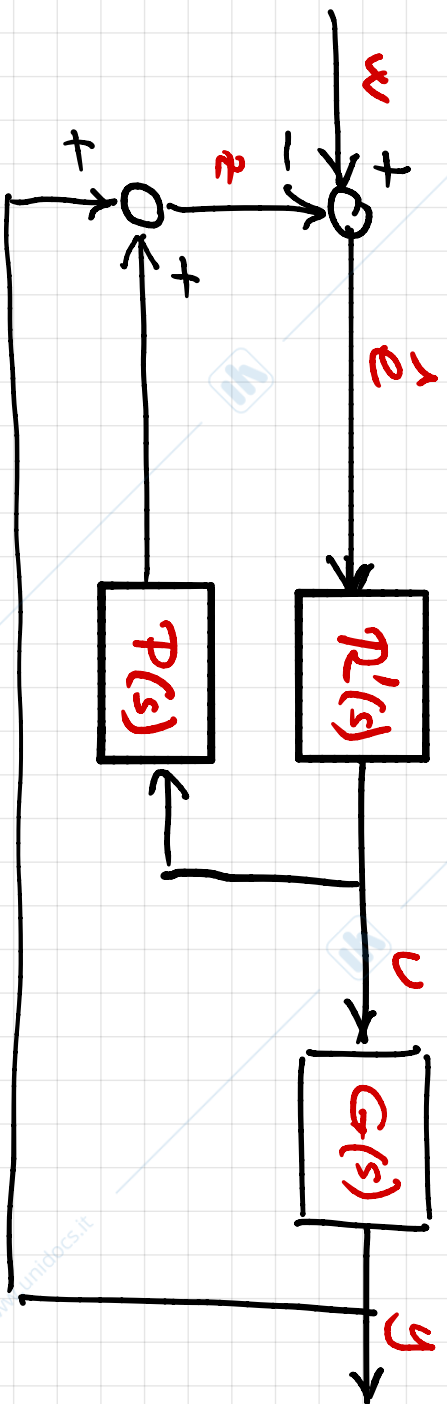
$$P(s) = G'(s)(1 - e^{-zs})$$

$R(s)$ COMPARAZIONE DI SMITH

- INTERPRETAZIONE



- INTERPRETAZIONE



$$G(s) = G'(s)e^{-\tau s}$$

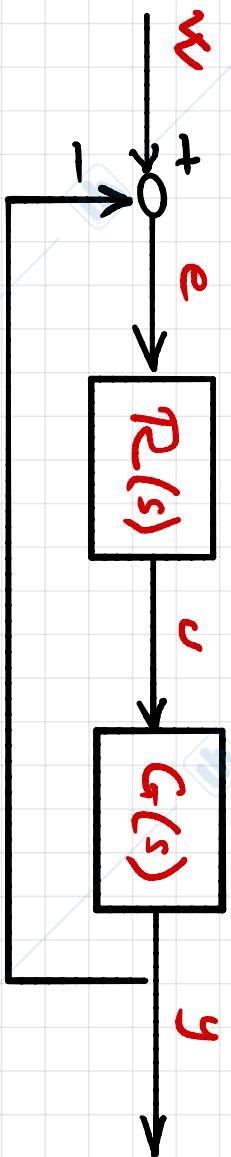
$$P(s) = G'(s)(1 - e^{-\tau s})$$

$$Z(s) = (P(s) + G'(s))U(s) = G'(s)U(s) = e^{\tau s} G(s)U(s) = e^{\tau s} Y(s)$$

$$\implies z(t) = y(t + \tau) \quad \text{PREVISIONE}$$

$e(t)$ RAPPRESENTA L'ERRORE "FUTURO"

- Esempio 1 - Schema Standard



$$G(s) = \frac{e^{-4s}}{(1+s)^2}$$

- Specifiche

(a) $e(\infty) = 0$ con $w(t) = \pm 1 \sin \omega t$

(b) $\omega_c \geq 0.1$

(c) $\varphi_m \geq 30^\circ$

- Progetto

$$P(s) = \frac{0.2(1+s)}{s}$$

$\omega_c \approx 0.2$
 $\varphi_m \approx 33^\circ$

- ESEMPIO 1 - SCHEMA A PRESSIONE DI SMITH

$$G(s) = \frac{e^{-4s}}{(1+s)^2} = \frac{1}{(1+s)^2} e^{-4s} \quad G'(s)$$

- PROGETTO DI $P'(s)$ SU $G'(s)$

$$P'(s) = \frac{3.5(1+s)}{s} \implies L'(s) = \frac{3.5}{s(1+s)}$$

$$P(s) = \frac{1}{(1+s)^2} (1 - e^{-4s})$$

$\omega_c' \approx 1.7$
 $\varphi_m' \approx 30^\circ$

- Simulazioni

- Risposta a $w(t) = \text{sca}(t)$

A

Schema Standard

B

Predittore di Smith (IDEALE)

C

Predittore di Smith con $\tau_c = 3.8 \neq \tau$

D

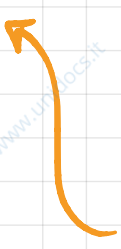
Predittore di Smith con appross. di

Padé

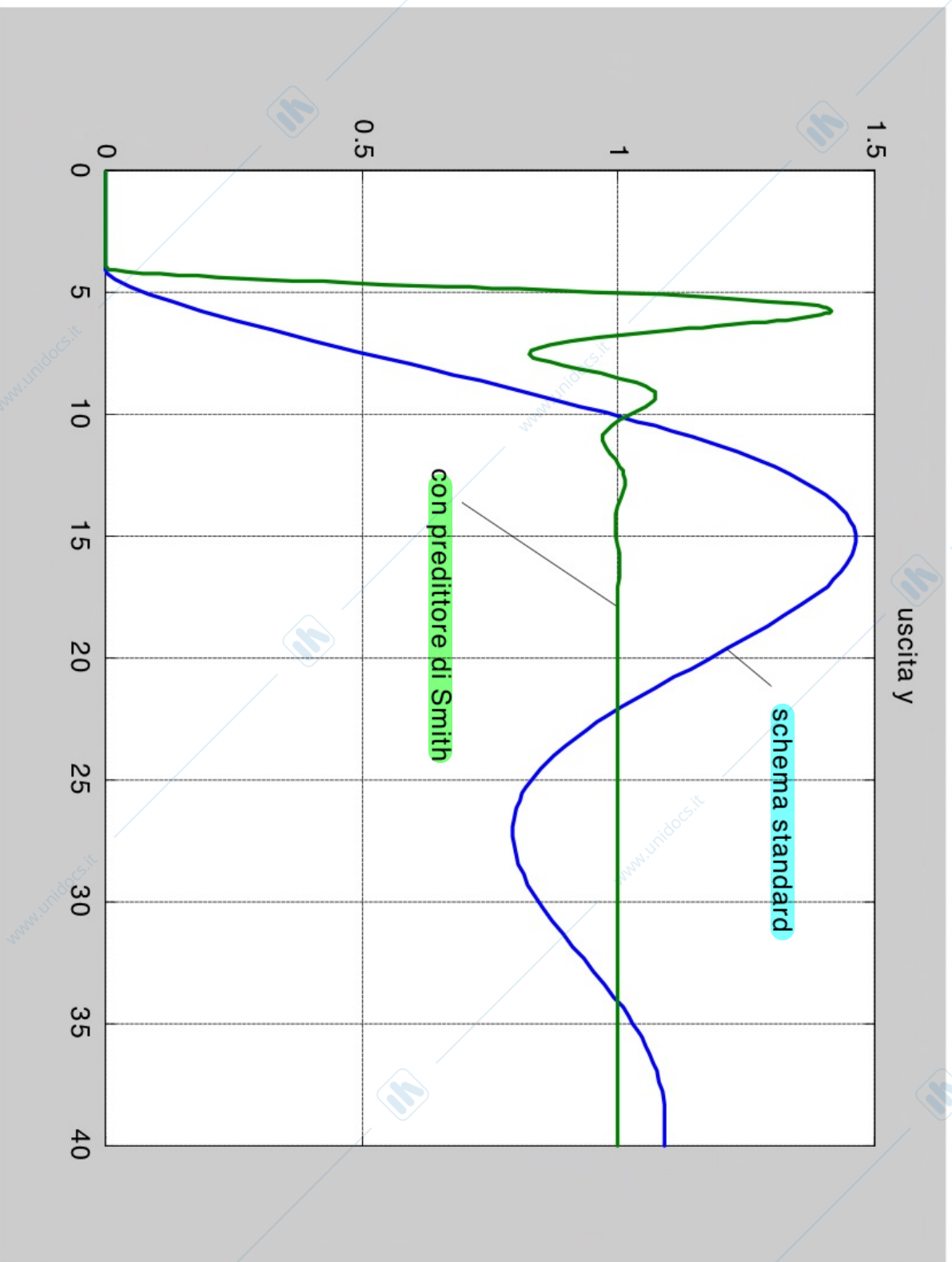
Analisi di Robustezza

$$e^{-4s} \approx \frac{1-2s}{1+2s}$$

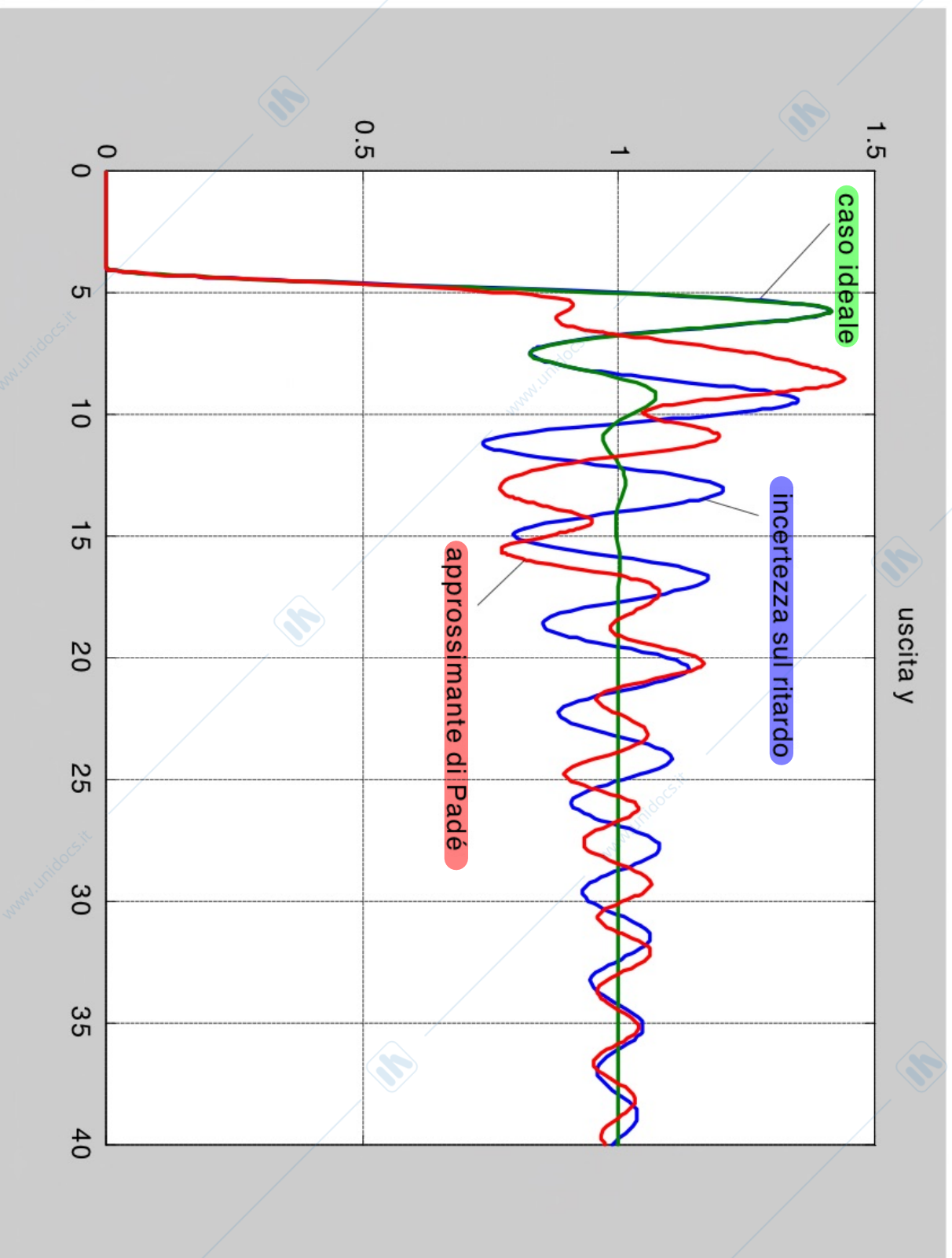
$$P(s) \approx G'(s) \left(1 - \frac{1-2s}{1+2s} \right) = \frac{4s}{(1+s)^2(1+2s)}$$



1. SCHEMA A PREDITTORE DI SMITH – CASO IDEALE



2. SCHEMA A PREDITTORE DI SMITH – ANALISI DI ROBUSTEZZA



- Approssimante di Padé

- Approssimazione Razionale di $H(s) = e^{-\tau s}$

$$H(s) = e^{-\tau s} = 1 - \tau s + \frac{\tau^2 s^2}{2!} - \dots \quad \text{Taylor}$$

$$\tilde{H}(s) = \frac{1 + as}{1 + bs} = 1 + (a - b)s + b(b - a)s^2 + \dots$$

$$\begin{cases} a - b = -\tau \\ b(b - a) = \frac{\tau^2}{2} \end{cases}$$

$$\implies \begin{cases} a = -\frac{\tau}{2} \\ b = \frac{\tau}{2} \end{cases}$$

$$\tilde{H}(s) = \frac{1 - s\tau/2}{1 + s\tau/2}$$

Approx.
Padé
ordine 1

CONFORMAZIONE

$$H(s) = e^{-\tau s}$$

$$|H(j\omega)| = 1, \forall \omega$$

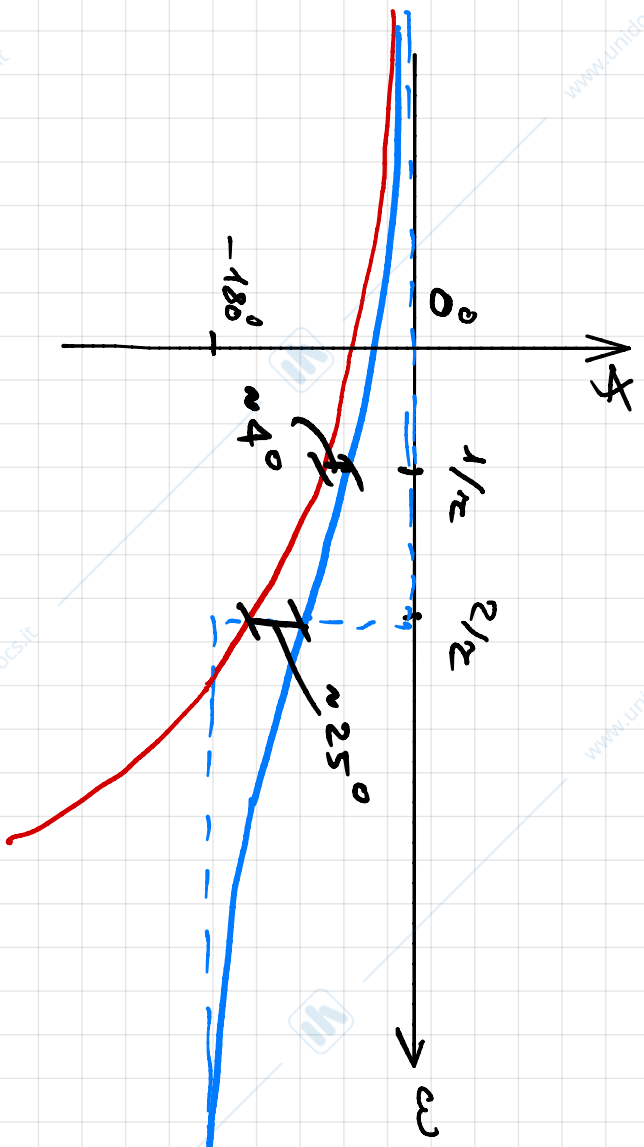
$$\angle H(j\omega) = -\omega \tau \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\tilde{H}(s) = \frac{1-s\tau/2}{1+s\tau/2}$$

$$|\tilde{H}(j\omega)| = 1, \forall \omega$$

$$\angle \tilde{H}(j\omega) = -2 \arctan \frac{\omega \tau}{2}$$

Buona Approx.
in $[0, 1/\tau]$



$-1/\omega \tau = \frac{1}{2}$

$-1/\omega \tau = \frac{2}{2}$

- $\angle H(j\omega) \approx -57^\circ$
- $\angle \tilde{H}(j\omega) = -2 \arctan \frac{1}{2} \approx -53^\circ$
- $\angle H(j\omega) \approx -115^\circ$
- $\angle \tilde{H}(j\omega) = -2 \arctan 1 = -90^\circ$