TECNODAYS

Terni - 18-20 Ottobre 2000

Un'esperienza statunitense di trasferimento tecnologico: **tecniche anti-windup**

Luca Zaccarian, *Università di Roma, Tor Vergata*

Andrew R. Teel, *University of California, Santa Barbara (CA), USA*

Jacek J. Marcinkowski, *Newport Corporation (Irvine (CA), USA*

Indice della presentazione

▷ Sistema Elite 3^{TM} di Newport Corporation (Irvine, CA)

- Descrizione hardware
- Sistema di controllo lineare
- Saturazione e "windup"

▷ Un po' di teoria

- Sistemi di compensazione "anti-windup"
- $\mathcal{L}_2$ anti-windup esteso

▷ Risultati sperimentali

- Risposta a shock
- Risposta a carico/scarico
- Risposta all'accensione

Sistema Elite 3

▷ Newport Corporation: **El**ectronic **I**solation **Te**chnology

▷ 3 or 4 moduli per isolare il piano del tavolo per

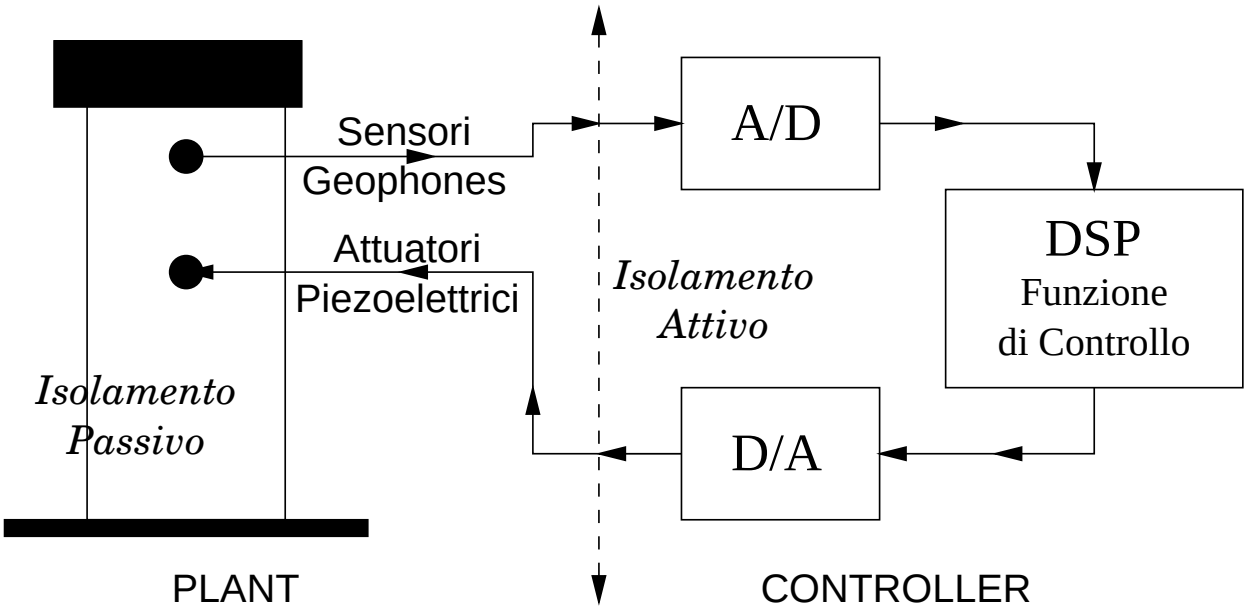
- sistemi di posizionamento ad alta precisione
- microscopia ad alta risoluzione

▷ Riprogettazione della protezione anti-windup

A.R. Teel, L. Zaccarian, and J. Marcinkowski. Active vibration isolation systems with nonlinear compensation to account for actuator saturation. *Provisional Patent Application*, August 3, 1999.

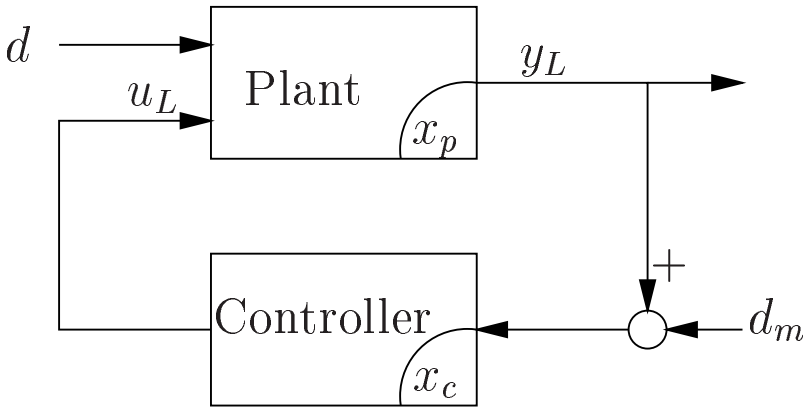
Elite 3: Struttura degli isolatori

▷ Isolamento attivo e passivo

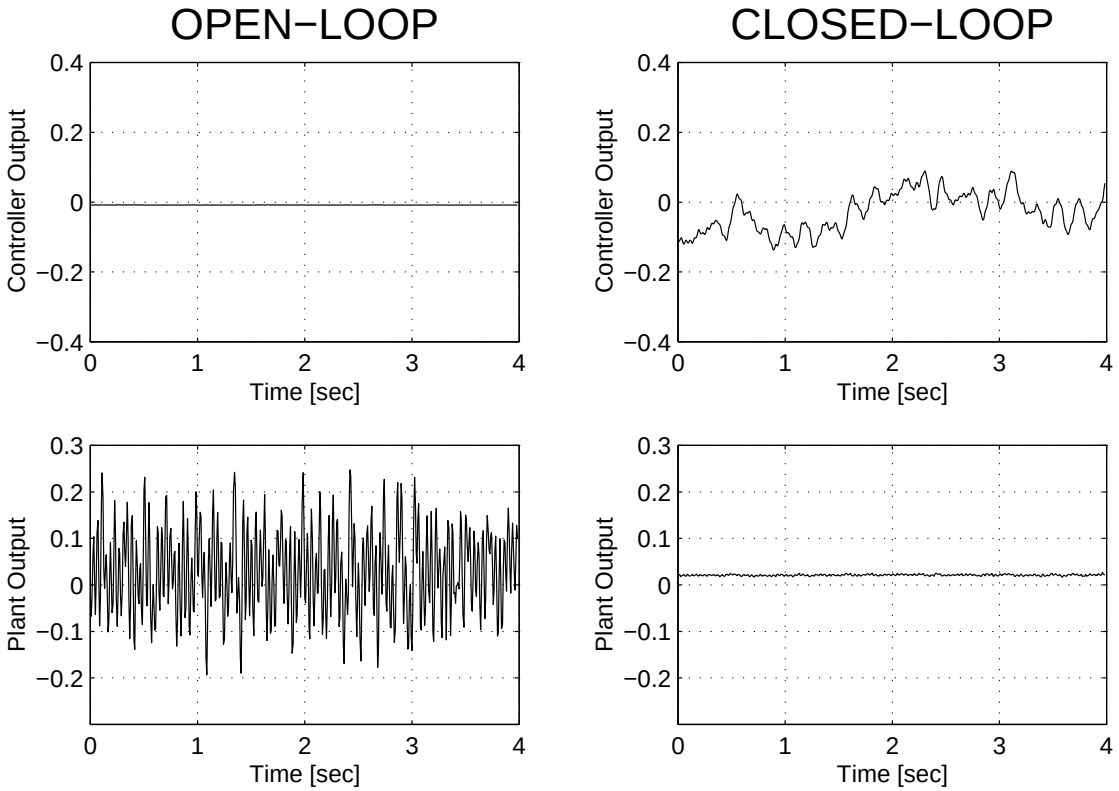


Prestazione nominale

▷ Disturbo in ingresso $d =$ vibrazione ambientale
Disturbo all'uscita $d_m =$ rumore di misura

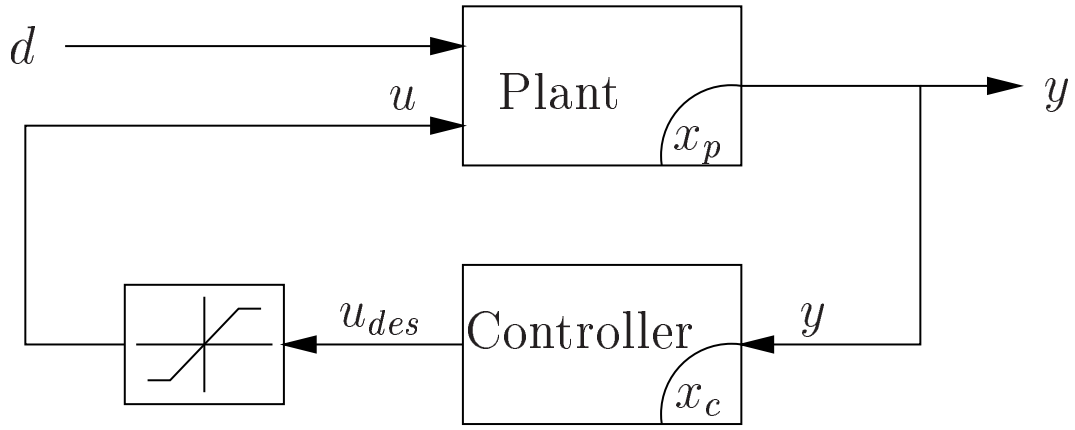


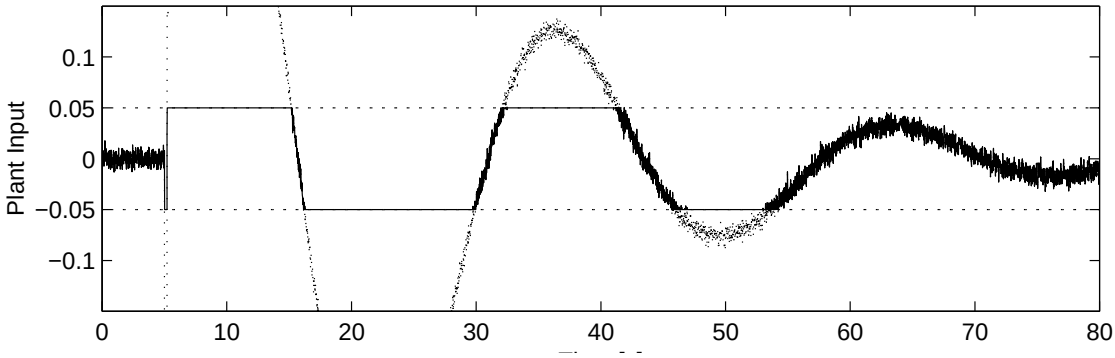
▷ Prestazione a regime (7.5 Khz RTI)



Saturazione e "windup"

▷ L'ingresso non può superare i limiti fisici





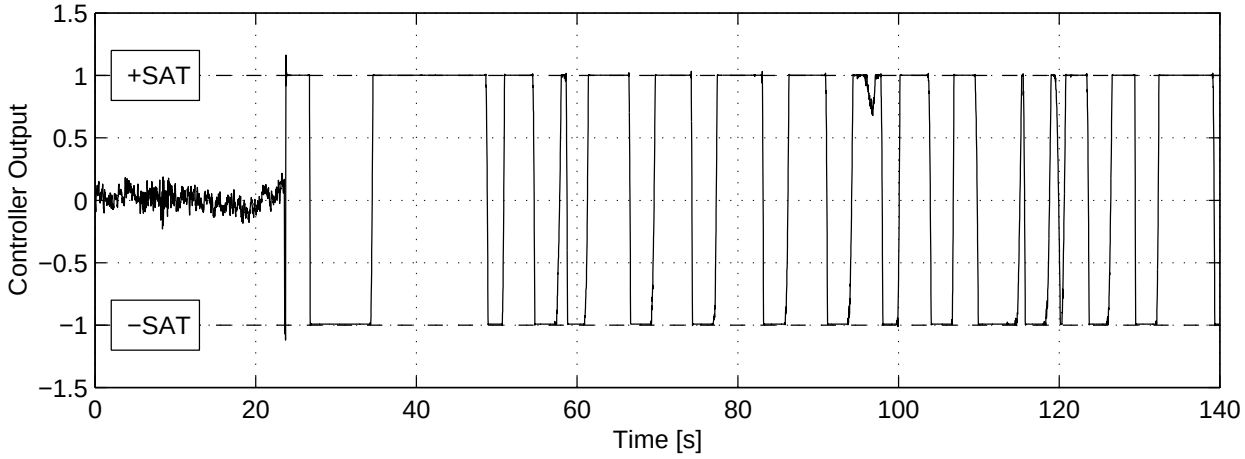
▷ Le conseguenze su Elite 3

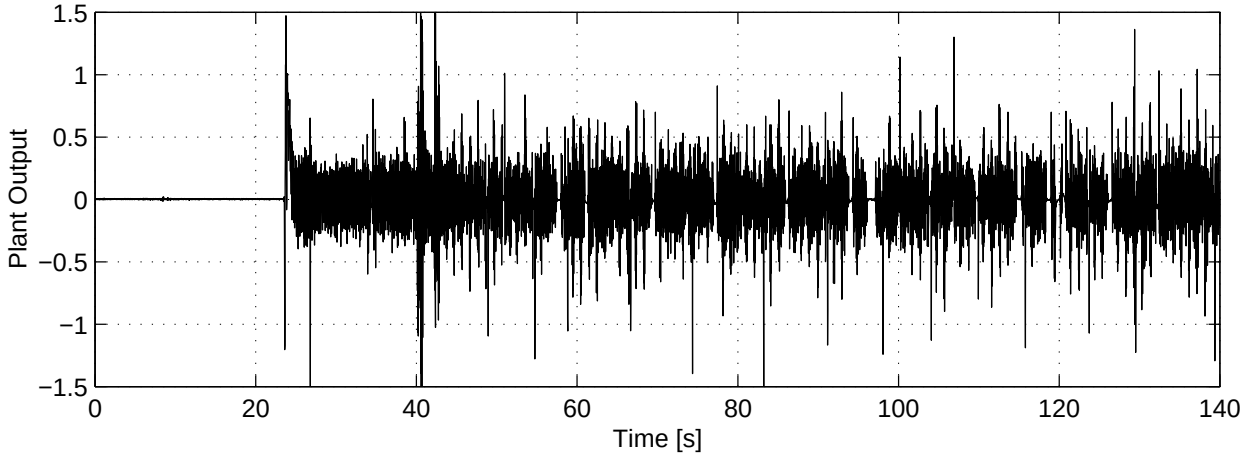
- comportamento imprevedibile
- perdita di isolamento in seguito a shock
- perdita di isolamento in seguito a carico/scarico
- perdita di isolamento all'accensione

Elite 3: Effetti del windup

▷ La risposta del sistema senza anti-windup è imprevedibile

▷ Di solito innesca oscillazioni persistenti



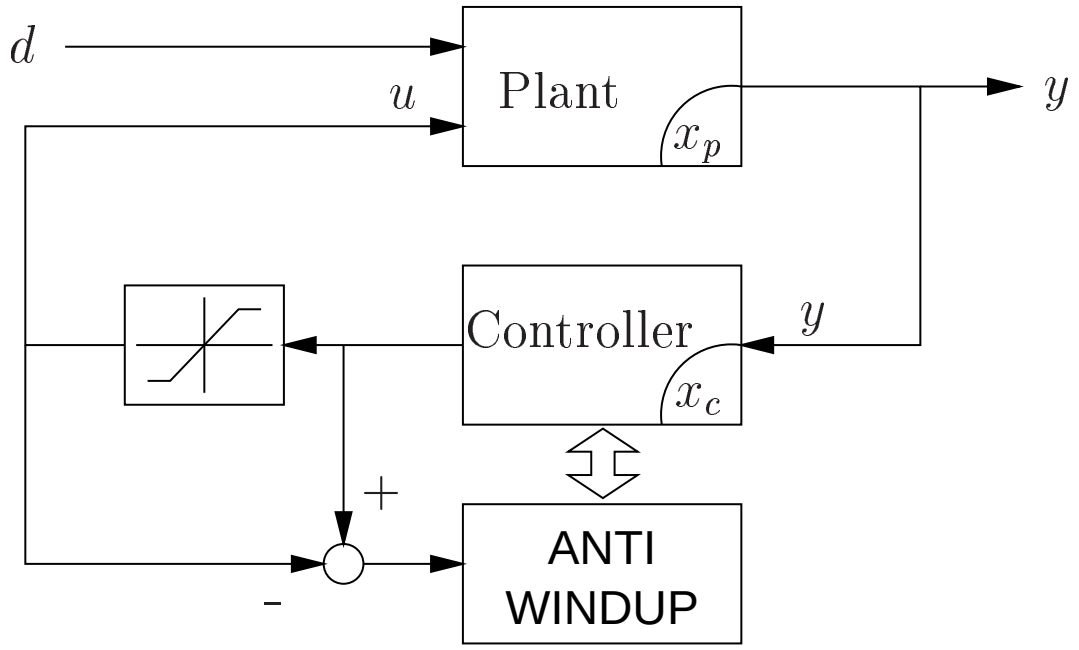


▷ Tecnica anti-windup precedente

- L'isolamento viene recuperato (lentamente)
- Nessuna specifica di prestazione

Compensazione Anti-windup

▷ Schema concettuale

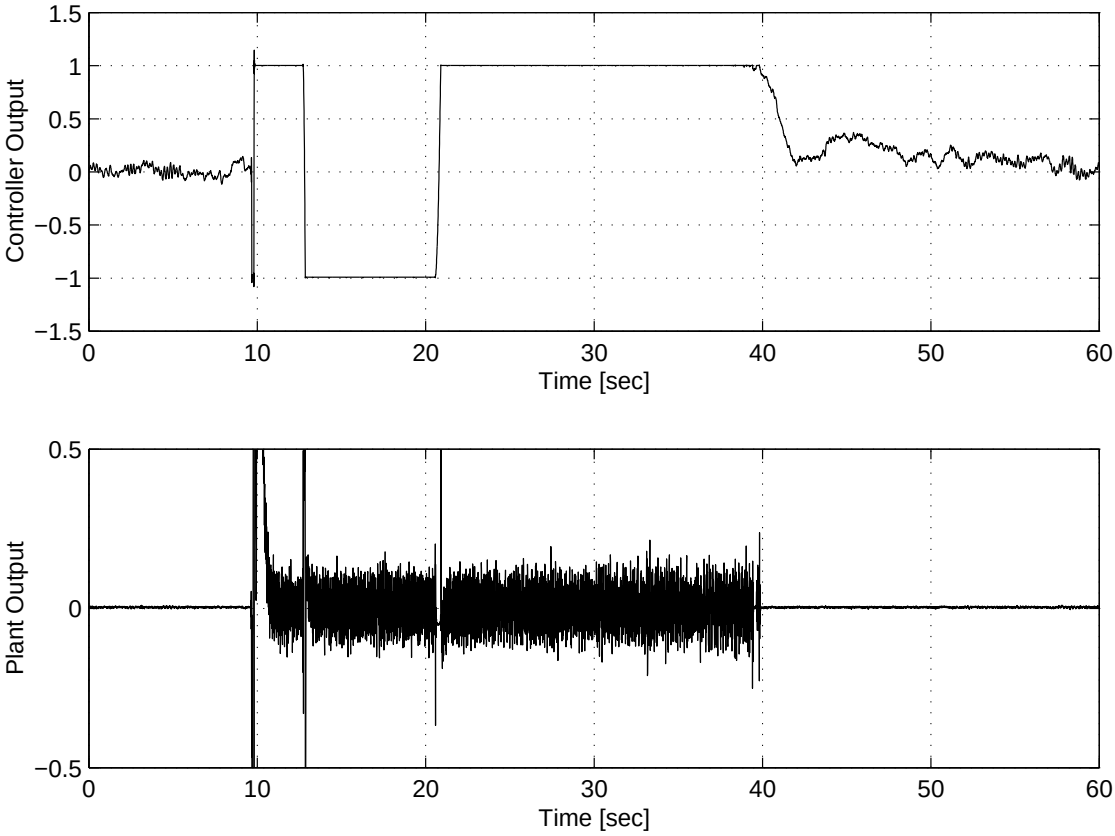


▷ Modifiche al sistema di controllo che

- si attivano solo dopo la saturazione
- decadono qualora il sistema rientri permanentemente nei limiti dell'ingresso

Anti-windup: tecniche esistenti

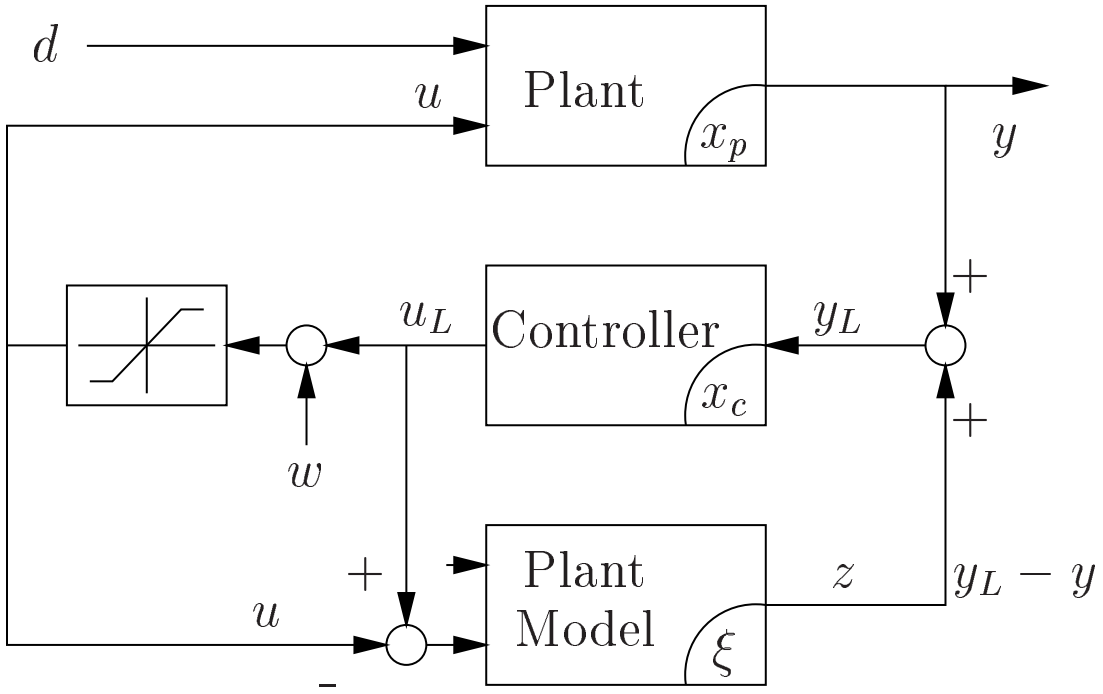
▷ Esperimento: Massa che cade accanto al tavolo



▷ Perdita di isolamento per 30 secondi

$\mathcal{L}_2$ anti-windup esteso

▷ Introdurre il sistema aggiuntivo ξ per garantire
- il controllore è ben condizionato
- la stabilità e la prestazione vengono recuperati



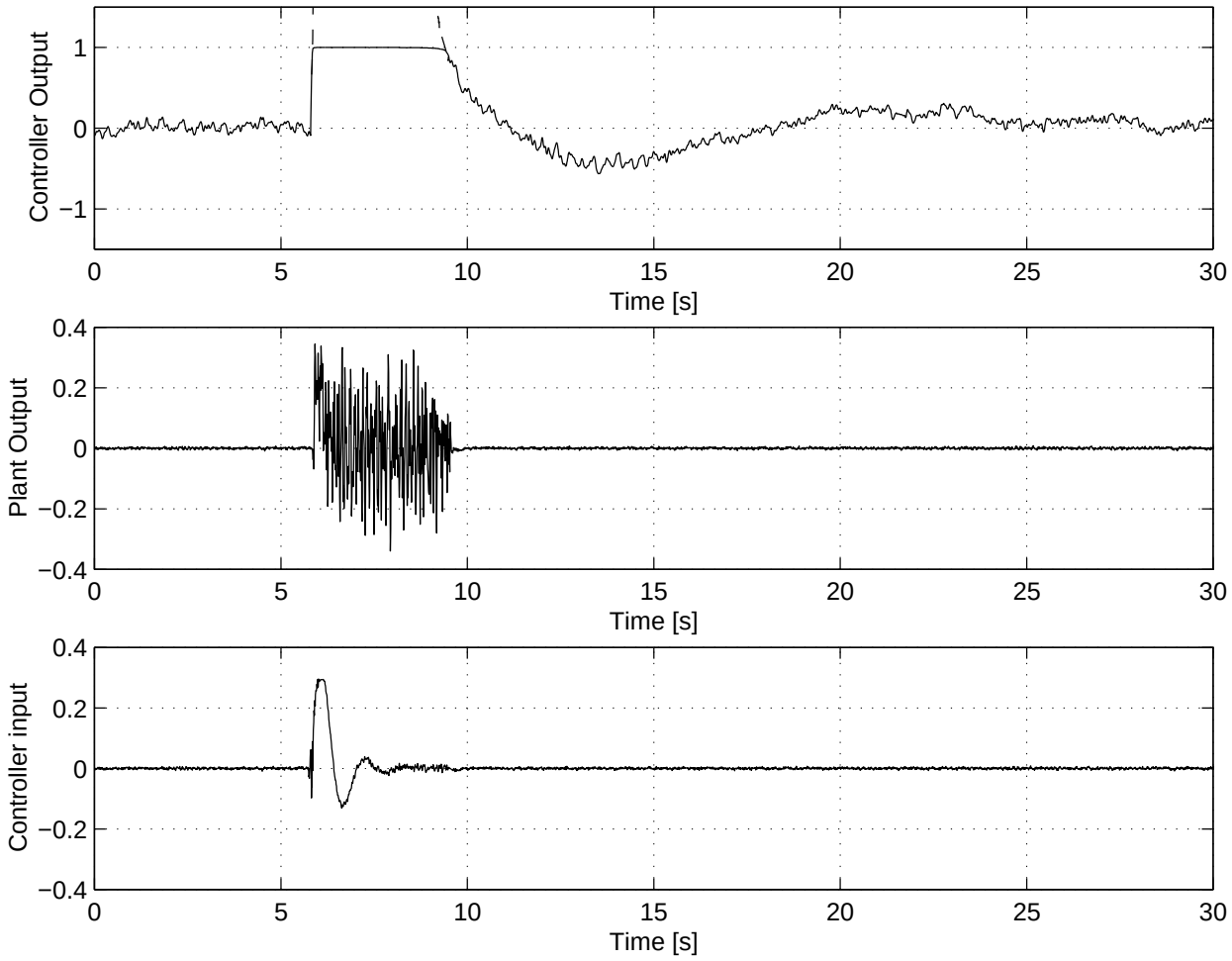
$$\begin{aligned} \dot{x}_p &= A_p\, x_p + B_p\, u + B_d\, d \\ y &= C_p\, x_p + D_p\, u + D_d\, d \end{aligned} \quad \Bigg| \quad \begin{aligned} \dot{x}_c &= A_c\, x_c + B_c\, y_L \\ u_L &= C_c\, x_c + D_c\, y_L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\xi} &= A_p\, \xi + B_p\, (u_L - \mathrm{sat}(u_L + w)) \\ y_L - y = z &= C_p\, \xi + D_p\, (u_L - \mathrm{sat}(u_L + w)) \end{aligned}$$

▷ $z \to 0$ implica $y \to y_L$

Elite 3 con protezione anti-windup

▷ Esperimenti: Massa che cade accanto al tavolo

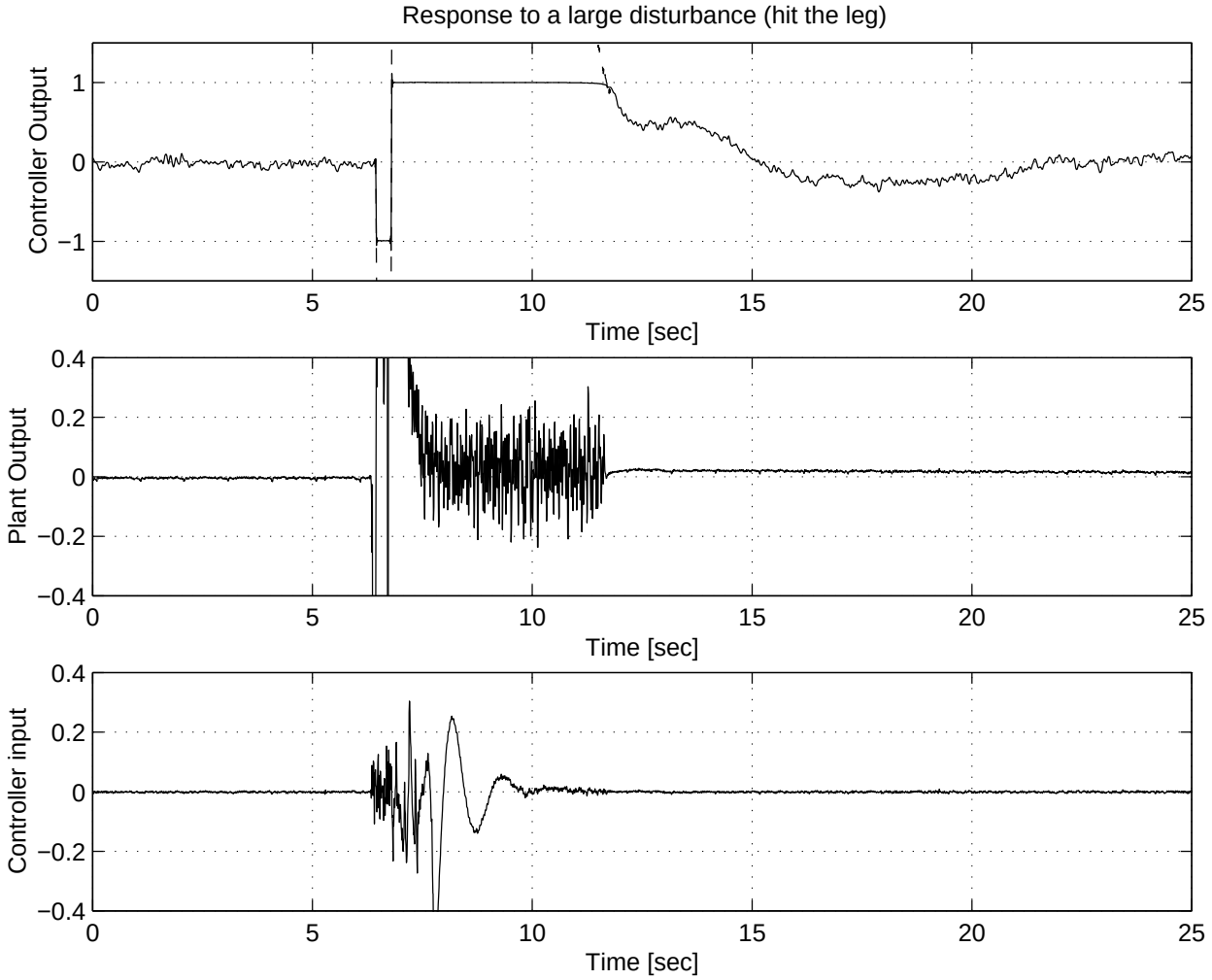


▷ Risultati:

- Tempo di recupero isolamento: 3.5 secondi
- Stabilità e prestazione garantite
- Comportamento ON/OFF

Elite 3: condizioni estreme

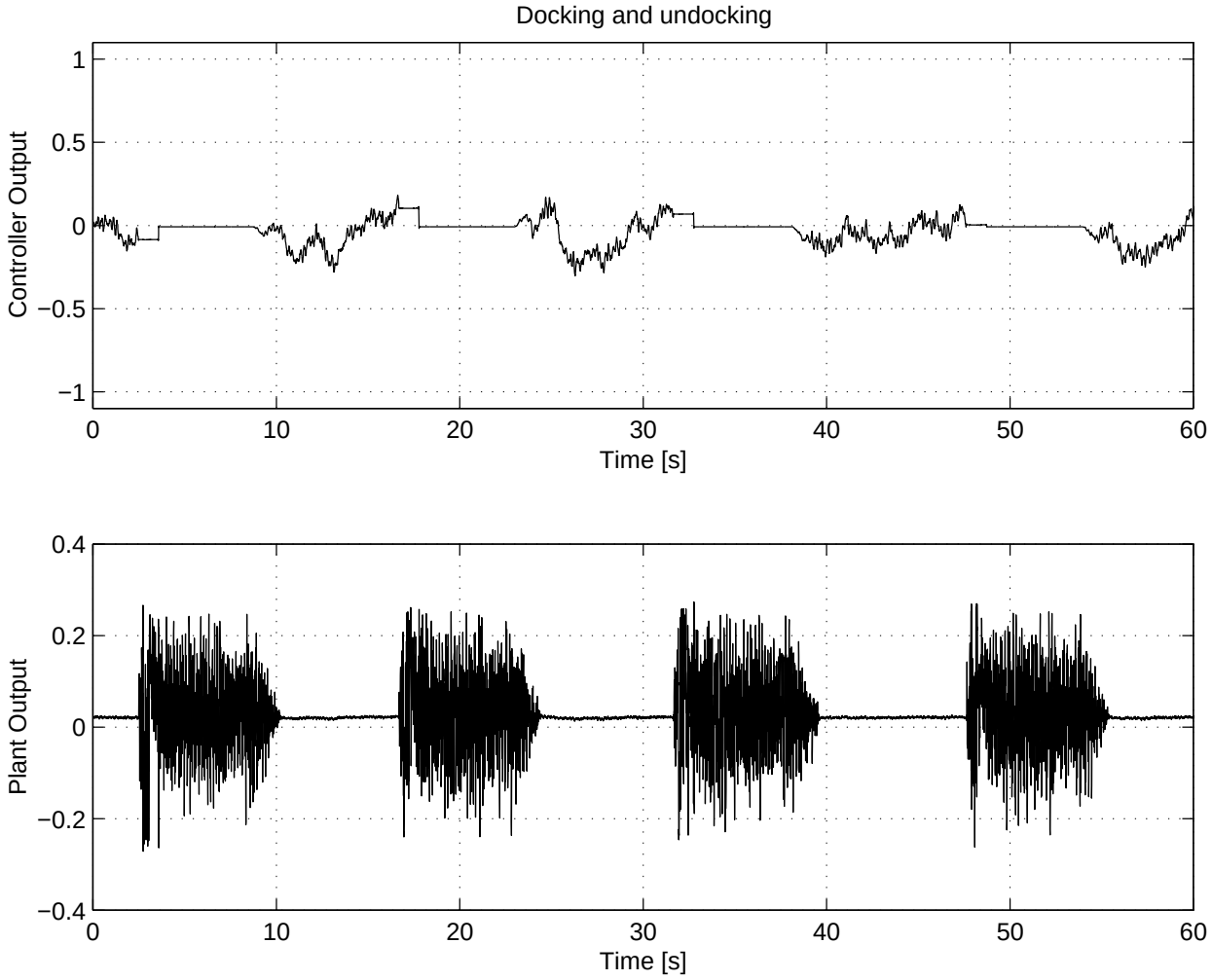
▷ Bastonata su una gamba del tavolo



▷ Il tempo di recupero non eccede mai 5 secondi

Elite 3: carico/scarico

▷ Il tavolo viene bloccato e sbloccato per caricare/scaricare oggetti

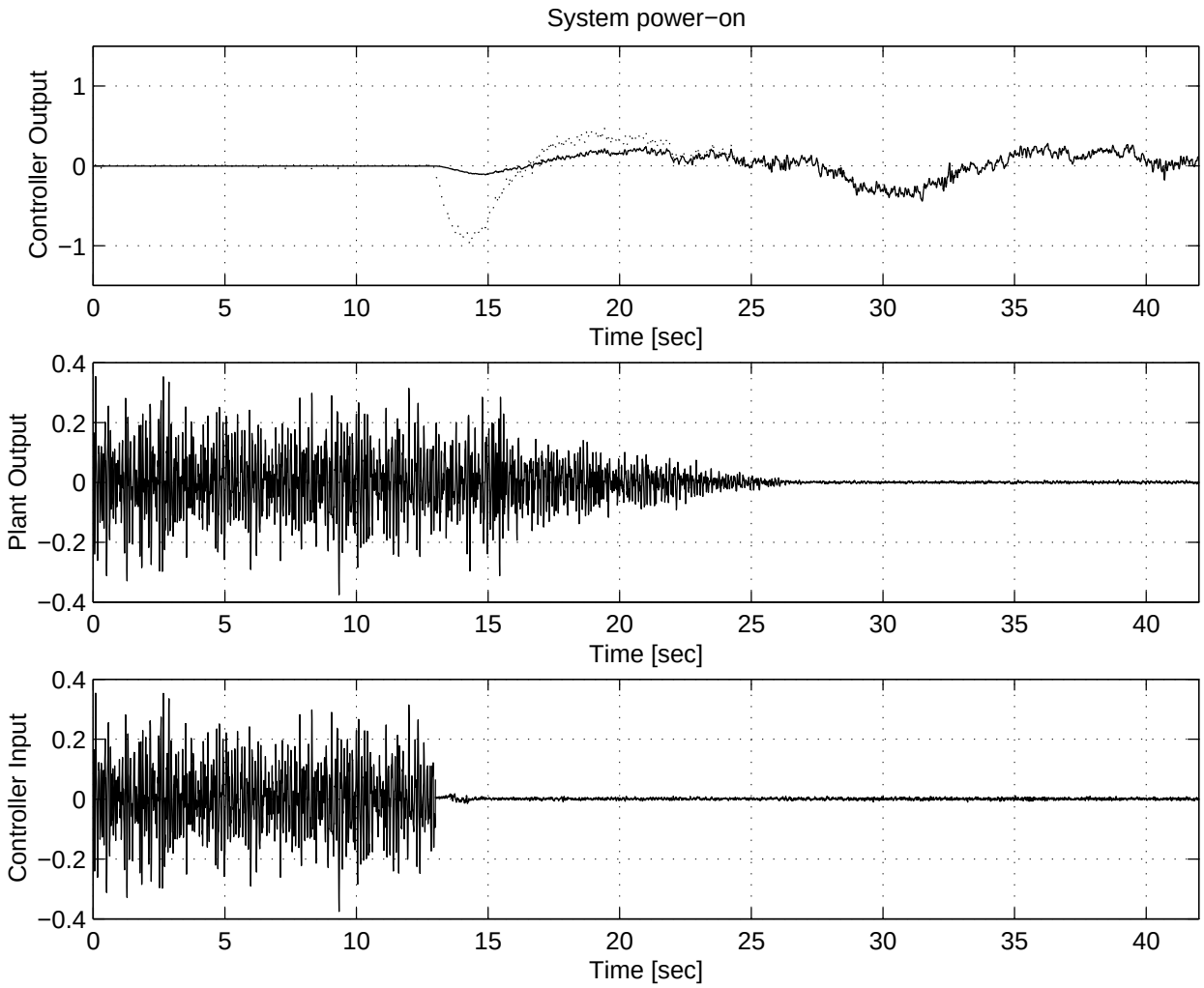


▷ Prestazione:

- Tempo di recupero isolamento: 1 secondo
- Risposta estremamente consistente

Elite 3: Accensione

▷ Attivazione graduale del controllore



Conclusioni

Che cosa è stato ottenuto?

▷ $\mathcal{L}_2$ anti-windup esteso per un sistema industriale di attenuazione attiva di vibrazioni
$\Rightarrow$ riduzione drastica del tempo di recupero di isolamento

- in seguito a shock
- in seguito a carico/scarico
- all'accensione

Qual'è la conclusione metodologica?

▷ Applicazione industriale di risultati di ricerca teorica

- dà garanzie di stabilità e prestazione basate su solide argomentazioni
- migliora le prestazioni rispetto a soluzioni intuitive

▷ L'esperienza su sistemi industriali
$\Rightarrow$ stimola nuovi temi di ricerca

- di utilità immediata per la produzione
- a volte difficili, certamente molto stimolanti