

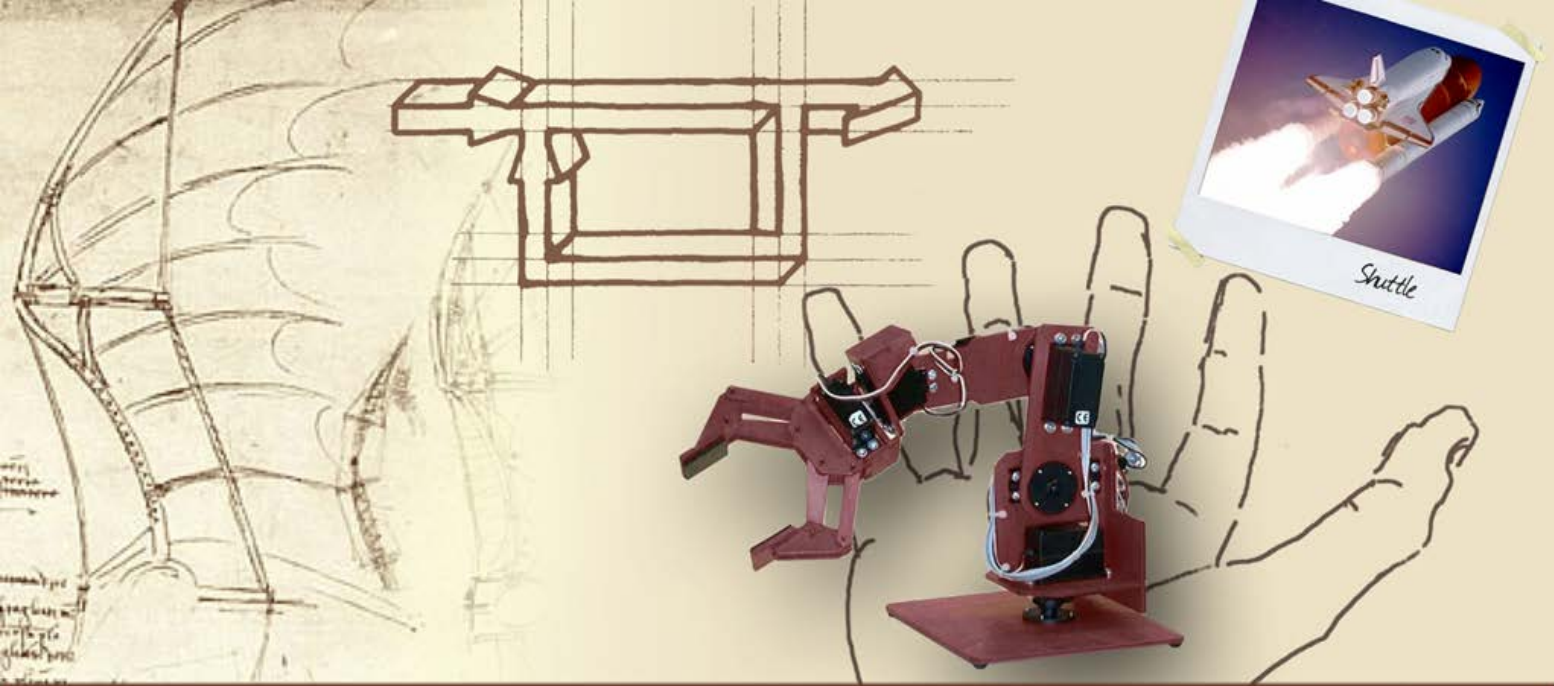
## Introduzione e strumenti

**Le specifiche di progetto**



## Le specifiche di progetto

- Le specifiche come “desiderata”
- Specifiche di stabilità e di stabilità robusta
- Specifiche sul comportamento in regime permanente
- Specifiche sulla risposta in transitorio
- Altre specifiche



**Le specifiche di progetto**

**Le specifiche come "desiderata"**



## Introduzione (1/2)

- ▶ Il **problema del controllo** è stato definito come l'imposizione di un **funzionamento desiderato** ad un **processo** assegnato
- ▶ Il **funzionamento desiderato** è stato espresso richiedendo che l'andamento nel tempo della **variabile controllata (uscita)** coincida il più possibile con quello di un opportuno **segnale di riferimento** (variabile o costante)



## Introduzione (2/2)

- Nella realtà non è possibile avere l'esatta coincidenza fra uscita e riferimento: l'uscita **insegue** il riferimento **entro tolleranze**, tali da garantire comunque il corretto funzionamento del sistema dal punto di vista pratico

Le **specifiche di progetto** definiscono il  
"modo in cui l'uscita deve inseguire  
il riferimento"



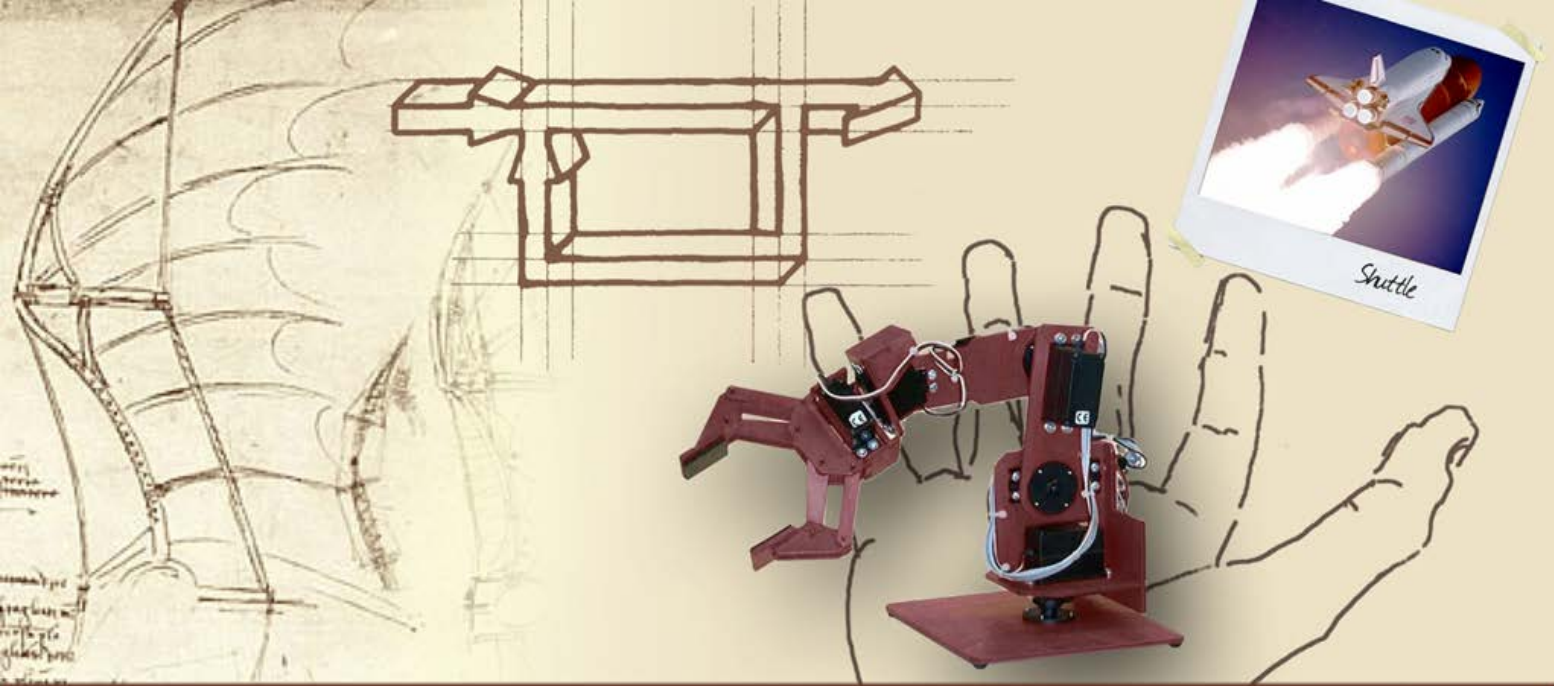
## Le specifiche come “desiderata”

- Le condizioni che dovranno essere soddisfatte, affinché nella pratica l’inseguimento risulti soddisfacente, vengono definite dalle **specifiche di progetto** tenendo conto
  - Dei **desiderata** imposti dal particolare compito che deve essere eseguito
  - Della presenza di disturbi e di vincoli tecnologici nel sistema



## Le principali specifiche

- Le principali **specifiche di progetto** riguardano:
  - La stabilità del sistema controllato
  - La robustezza della stabilità e del controllo in generale
  - La precisione dell'inseguimento (in regime permanente e durante il transitorio)
  - La capacità di reiettare disturbi
  - La "forma" della risposta del sistema in transitorio
  - L'attività sulla variabile di comando
- Opportune specifiche possono essere formulate anche in riferimento alla **risposta in frequenza** del sistema controllato



## Le specifiche di progetto

**Specifiche di stabilità e  
di stabilità robusta**



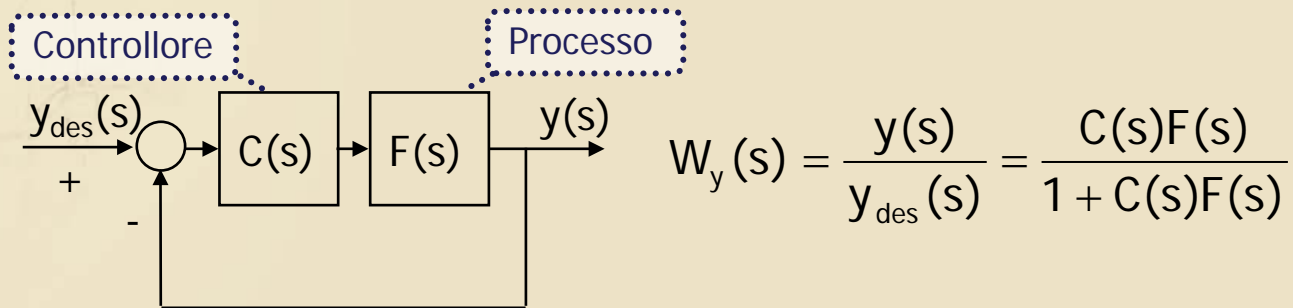


## Specifiche di stabilità (1/2)

- Condizione **necessaria** affinché l'uscita possa inseguire il riferimento assegnato è che **il sistema controllato sia asintoticamente stabile**
  - La semplice stabilità non è sufficiente: qualunque perturbazione parametrica, seppure di piccola entità, potrebbe impedire all'uscita di tornare a "coincidere" con il riferimento

## Specifiche di stabilità (2/2)

- Nel caso di un sistema in retroazione, **la funzione di trasferimento ad anello chiuso  $W_y(s)$  deve pertanto essere asintoticamente stabile**



➔ Tutti i poli di  $W_y(s)$  devono avere parte reale strettamente minore di zero



## Specifiche di stabilità robusta (1/2)

- **L'asintotica stabilità** del sistema controllato deve essere mantenuta anche **in presenza di perturbazioni e variazioni dei parametri** del sistema, che possano alterarne l'effettivo comportamento rispetto al modello utilizzato per il progetto del compensatore: si parla in tal caso di **stabilità robusta**
- Per quantificare la **robustezza del controllo**, saranno introdotti opportuni **indicatori di robustezza** (parametri, funzioni), oggetto di possibili specifiche di progetto



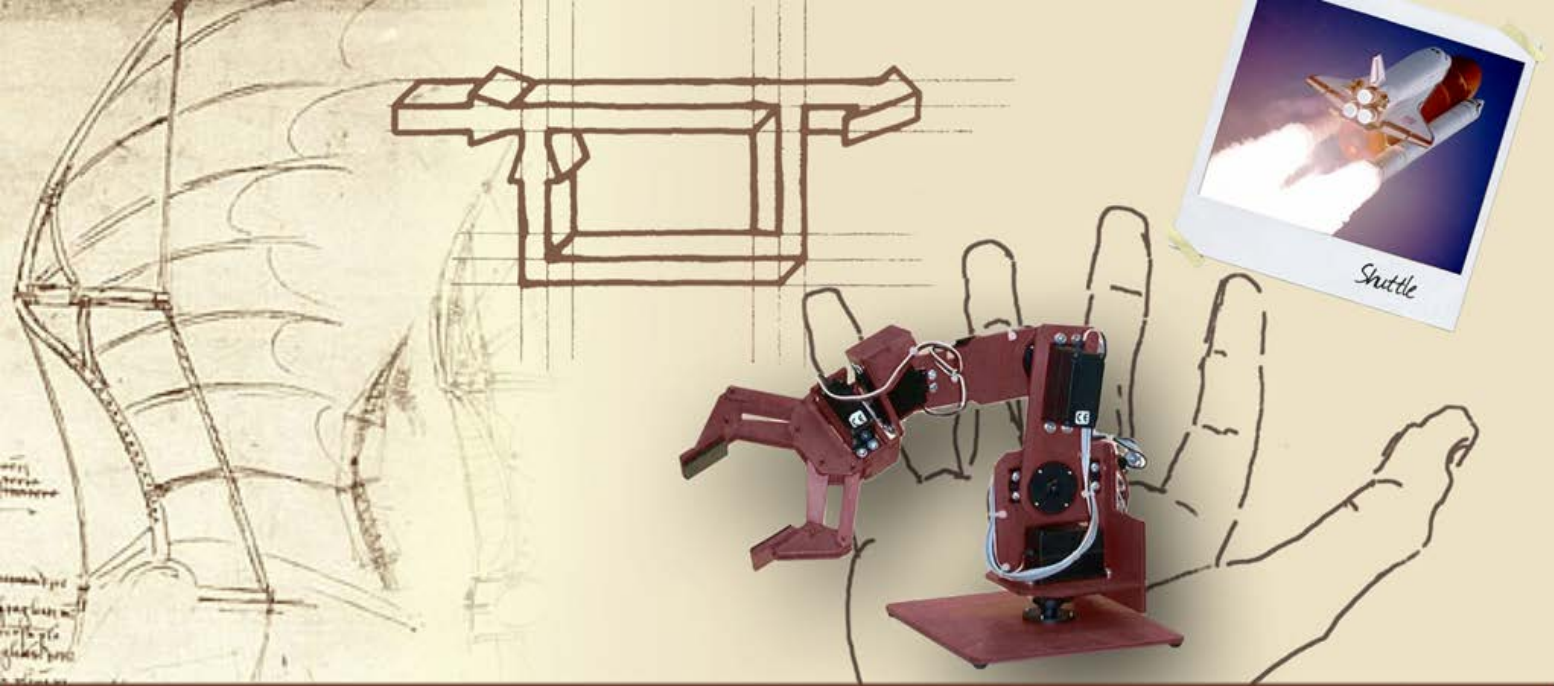
## Specifiche di stabilità robusta (2/2)

Variazioni dei parametri della  $F(s)$ ; scarsa accuratezza del modello del processo

Variazioni dei parametri della  $C(s)$ ; problemi nella realizzazione pratica del compensatore

Variazioni del comportamento nel tempo ed in frequenza del sistema controllato

Definizione di **margin** di **stabilità** e della **sensibilità** rispetto alle variazioni



## Le specifiche di progetto

**Specifiche sul comportamento  
in regime permanente**



## Specifiche in regime permanente: precisione

- L'imposizione della stabilità del sistema controllato garantisce il raggiungimento della condizione di **regime permanente**
- La **precisione** con cui l'uscita insegue il riferimento in tale condizione è oggetto di specifica
- Le **specifiche di precisione in regime permanente** vengono definite rispetto a famiglie di segnali canonici di riferimento di interesse pratico, quali i **segnali polinomiali** ed i **segnali sinusoidali**

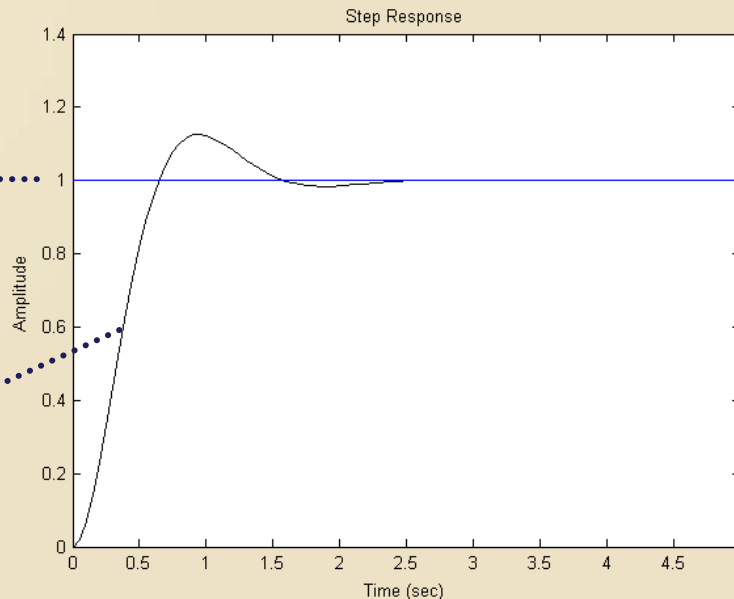
# Specifiche di precisione: esempi (1/2)

- Esempio: richiesta di **errore di inseguimento nullo** in regime permanente ad un **riferimento costante (gradino)**

$$e = y_{\text{des}} - y$$

$$y_{\text{des}} = 1$$

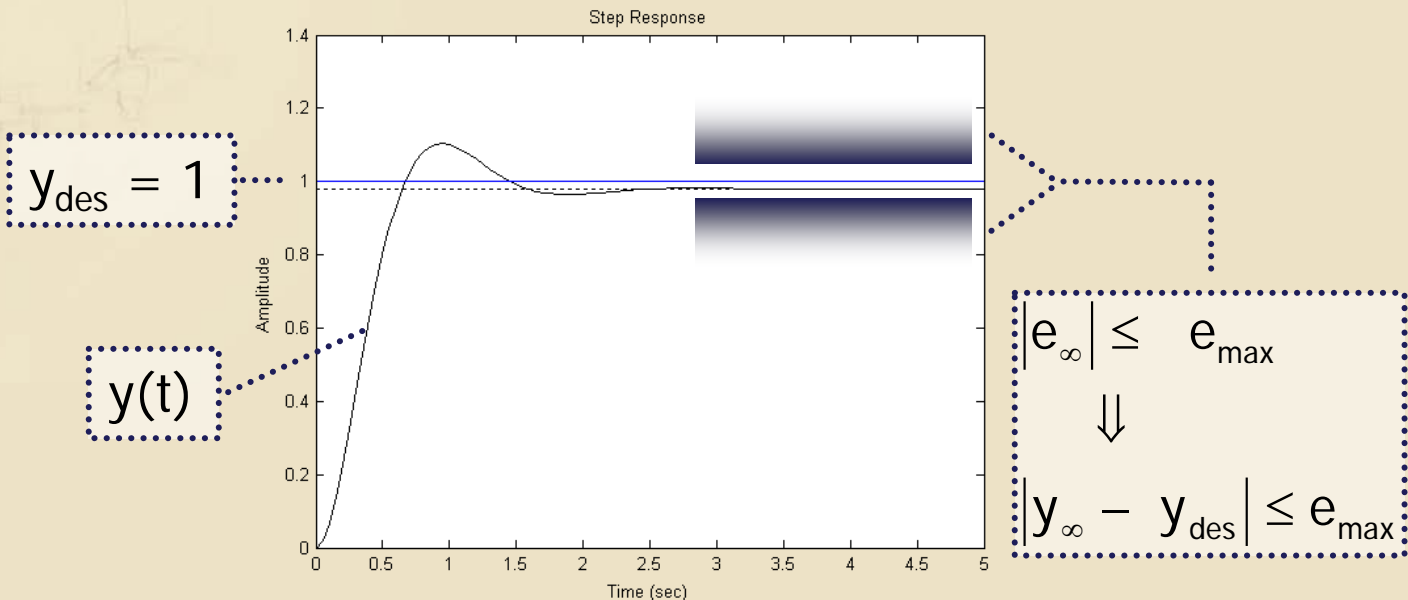
$$y(t)$$



$$e_{\infty} = 0$$
$$\Downarrow$$
$$y_{\infty} = y_{\text{des}}$$

## Specifiche di precisione: esempi (2/2)

- Esempio: richiesta di **errore di inseguimento limitato** in regime permanente ad un **riferimento costante (gradino)**

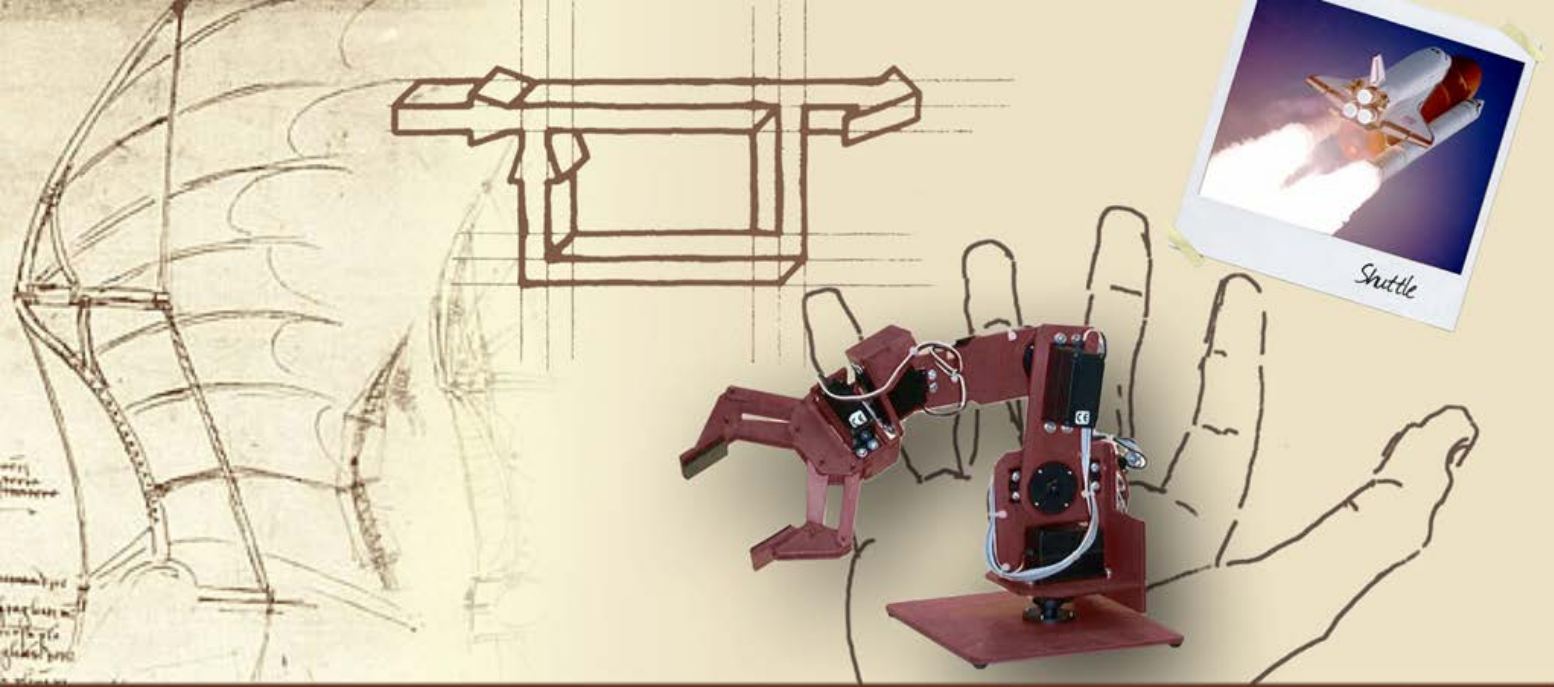






## Reiezione di disturbi in regime permanente

- Il comportamento del sistema può essere influenzato dalla presenza di **disturbi** (agenti sul processo, di misura, di attuazione, ecc.)
- **Effetti** indesiderati dei disturbi possono rimanere anche **in regime permanente**, alterando le caratteristiche di precisione del sistema
- Opportune specifiche possono essere definite sulla capacità del sistema in regime permanente
  - Di reiettare completamente gli effetti dei disturbi
  - Di limitarne gli effetti entro valori limite accettabili



**Le specifiche di progetto**

**Specifiche sulla risposta in transitorio**



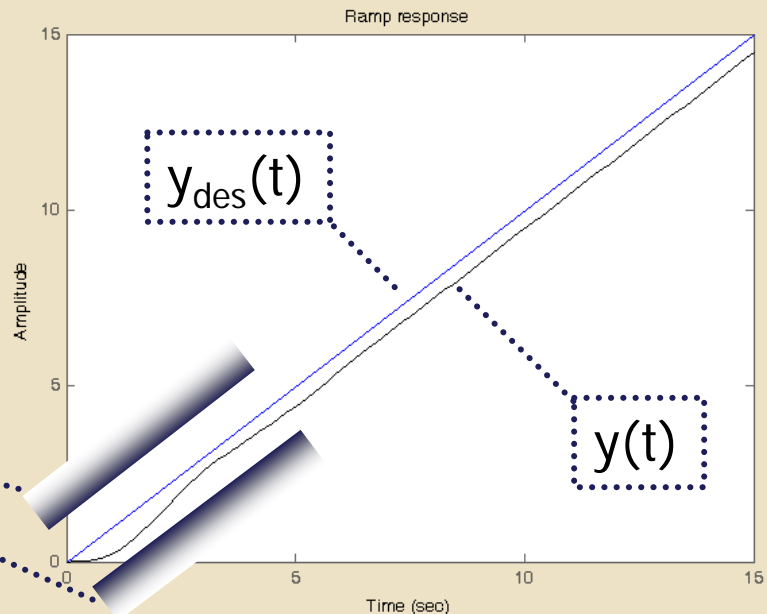
## Specifiche sulla risposta in transitorio

- Le **specifiche** sul comportamento della risposta del sistema **durante il transitorio** possono:
  - Essere definite senza considerare un particolare riferimento
  - Essere formulate rispetto ad un segnale di riferimento considerato “critico” nella valutazione delle prestazioni del sistema controllato, quale il **riferimento a gradino** (solitamente assunto unitario per semplicità)

# Specifiche sulla precisione in transitorio

- Una **specifica sulla precisione durante il transitorio** si traduce nella richiesta che l'errore di inseguimento non superi mai in modulo un valore prefissato:

Errore massimo di  
inseguimento

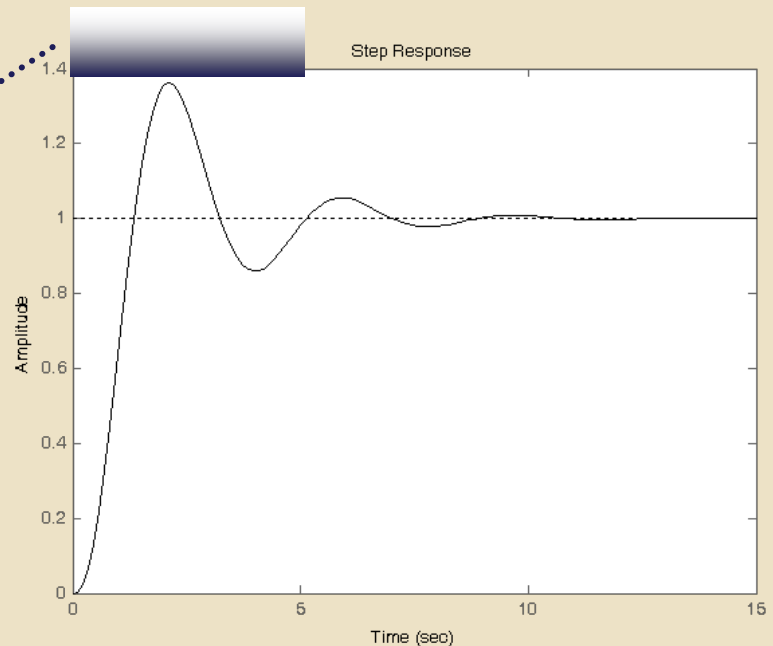


# Specifiche sulla risposta al gradino (1/4)

- Le principali **specifiche** sul comportamento della **risposta al gradino unitario durante il transitorio** possono riguardare:

- La presenza di oscillazioni:  
**sovraelongazione massima**

$$\hat{s} = \frac{y_{\max} - y_{\infty}}{y_{\infty}}$$



## Specifiche sulla risposta al gradino (2/4)

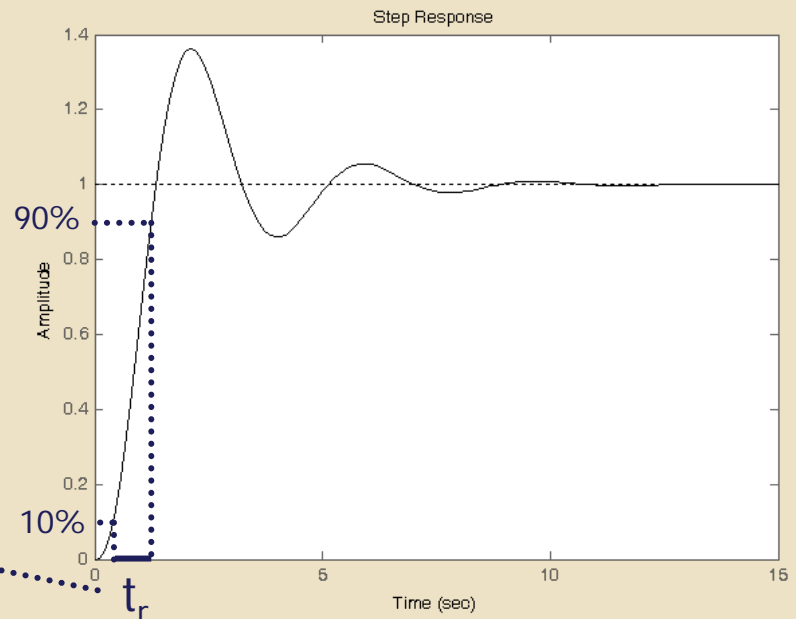
- Le principali **specifiche** sul comportamento della **risposta al gradino unitario durante il transitorio** possono riguardare:

- La prontezza di risposta del sistema:

**tempo di salita**

$$t_r = t_{90\%} - t_{10\%}$$

1<sup>a</sup> definizione



## Specifiche sulla risposta al gradino (3/4)

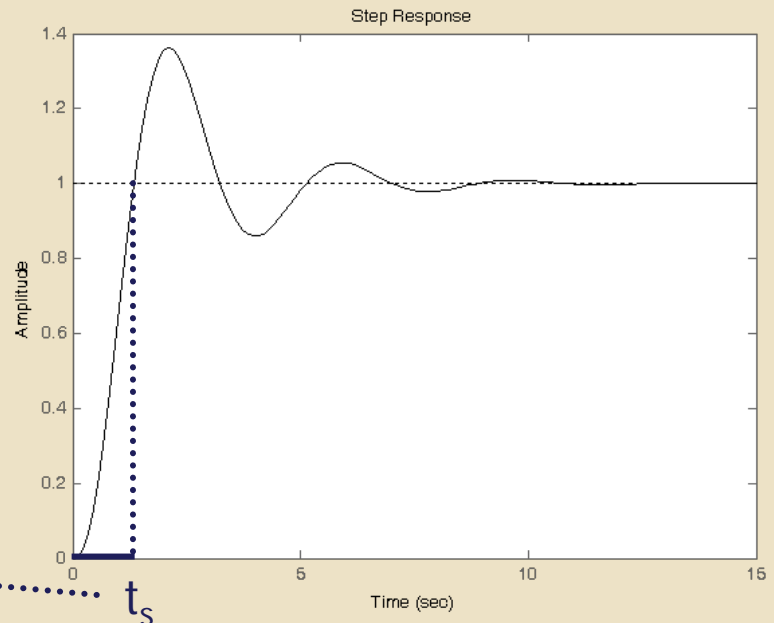
- Le principali **specifiche** sul comportamento della **risposta al gradino unitario durante il transitorio** possono riguardare:

- La prontezza di risposta del sistema:

**tempo di salita**

$$t_s = \min(t : y(t_s) = y_\infty)$$

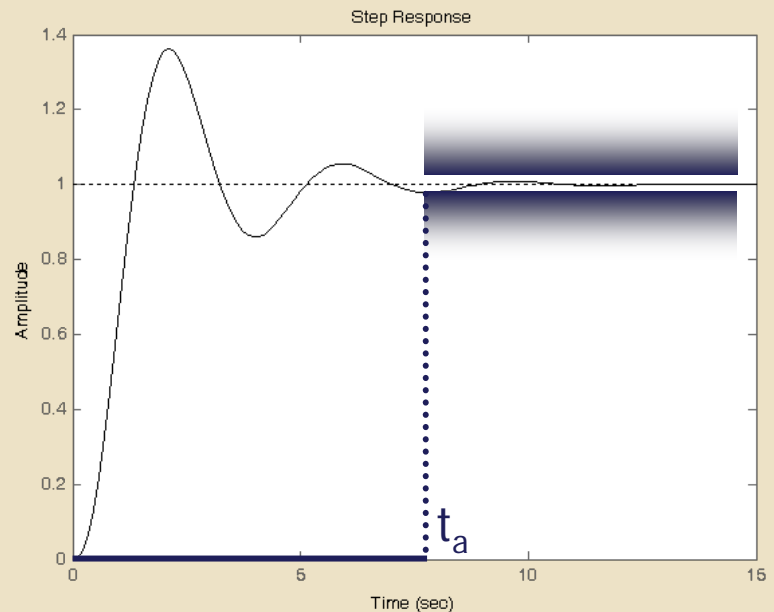
2<sup>a</sup> definizione



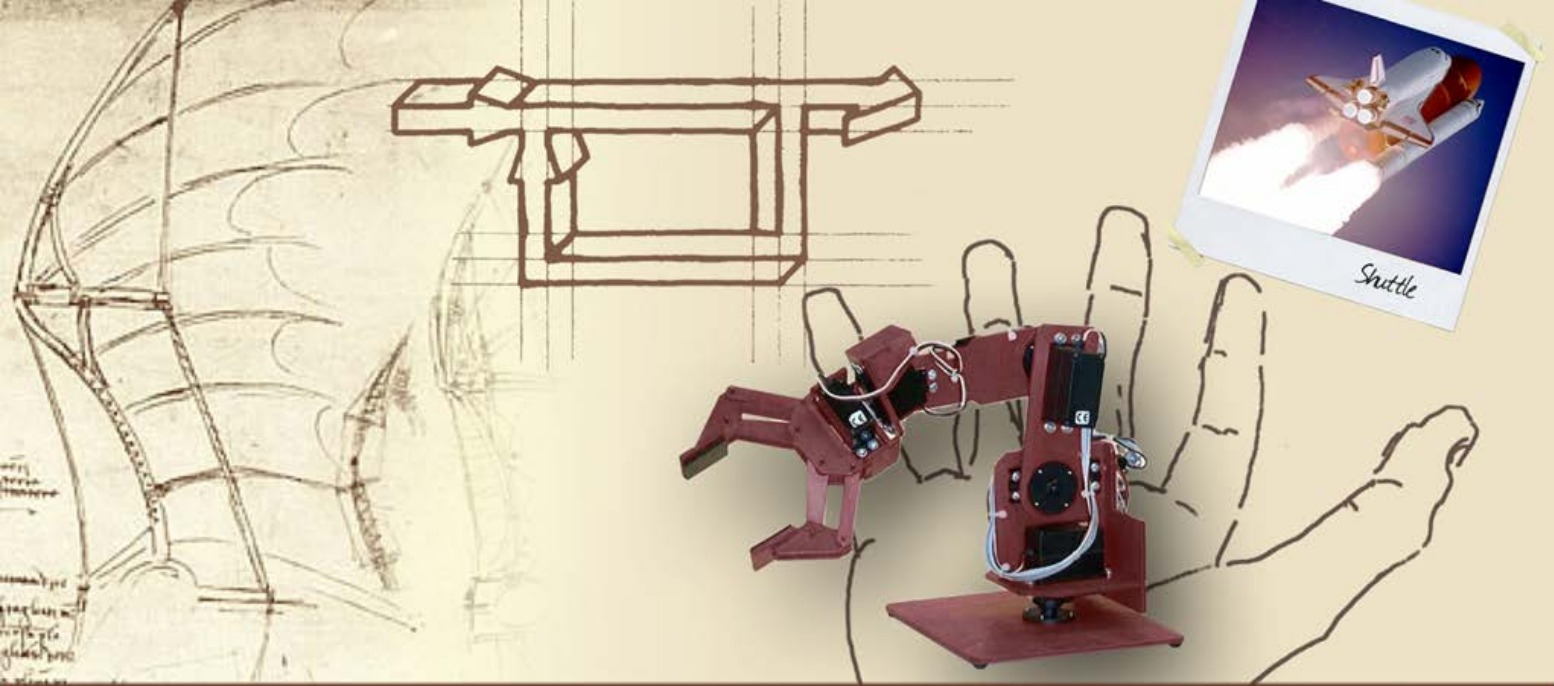
# Specifiche sulla risposta al gradino (4/4)

► Le principali **specifiche** sul comportamento della **risposta al gradino unitario durante il transitorio** possono riguardare:

- Il tempo impiegato per raggiungere “in pratica” il regime permanente: **tempo di assestamento**







**Le specifiche di progetto**

**Altre specifiche**



## Specifiche sulla risposta in frequenza (1/2)

- Possono essere assegnate **specifiche** di progetto direttamente **sul comportamento in frequenza del sistema controllato**, rappresentato dalla funzione

$$W(j\omega)$$

**risposta in frequenza del sistema ad anello chiuso**

- Il sistema controllato è visto in tal caso come un **filtro** (generalmente passabasso, a volte passabanda), di cui si vogliono assegnare le principali caratteristiche, quali **banda passante**, **picco di risonanza**, ecc.



## Specifiche sulla risposta in frequenza (2/2)

- **Obiettivi** principali della assegnazione di specifiche sul comportamento in frequenza del sistema controllato possono essere:
  - Un buon inseguimento di segnali di riferimento sinusoidali entro una pulsazione massima e/o in generale di segnali aventi contenuto in frequenza entro una banda di interesse
  - L'attenuazione di disturbi sinusoidali e/o a banda larga, mediante specifiche sulla fdt fra il disturbo e l'uscita del sistema



## Specifiche sulla attività sul comando

- Le caratteristiche tecnologiche dell'azionamento possono determinare **vincoli e limitazioni sull'andamento della variabile di comando**, quali
  - Valore massimo in modulo della variabile di comando, con conseguente  **saturazione del comando**
  - **“Slew rate” massimo** (velocità massima di variazione della variabile di comando)
- Tali limitazioni devono essere tenute in conto nel progetto del controllore, che genera la variabile di controllo applicata all'azionamento