

Sistemi di Controllo

Prof. Giuseppe Oriolo

Introduzione

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INFORMATICA
AUTOMATICA E GESTIONALE ANTONIO RUBERTI



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ambito

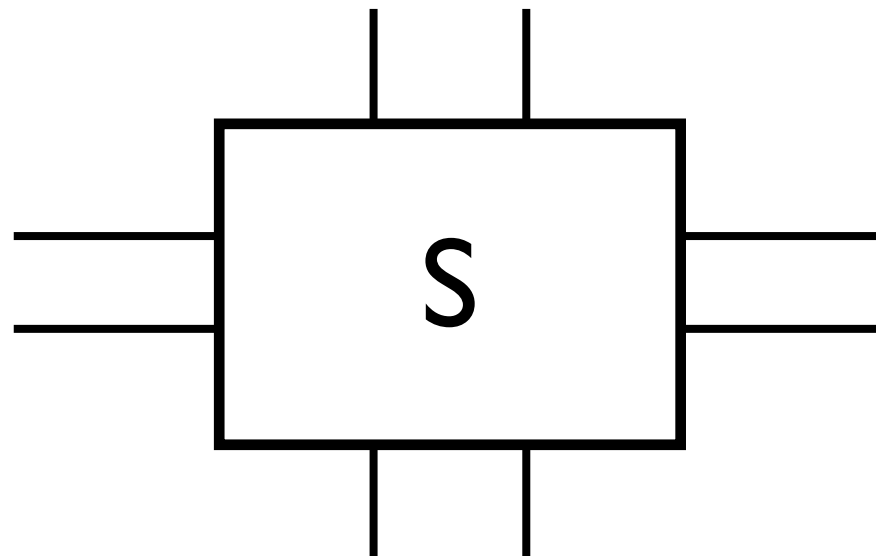
- **automatica**: disciplina che studia le modalità attraverso le quali è possibile far sì che un sistema si comporti automaticamente in un certo modo desiderato
- **cybernetics**: the scientific study of how systems – biological, artificial, or social – use feedback loops to regulate behavior, maintain stability and process information to achieve goals
- **automatica**: controllo automatico di **sistemi**
 - ↓
imporre un comportamento desiderato
 - ↓
senza intervento umano
 - ↓
?
- **controllo di sistemi** o **sistemi di controllo**?

sistemi

- strutturalmente: **insieme**, **aggregato** o **interconnessione** di parti
- funzionalmente: un **oggetto**, **dispositivo**, **apparato**, **fenomeno**, **agente...** la cui evoluzione si manifesta con la variazione nel tempo di un certo numero di attributi misurabili dette **variabili**, che possono essere **concentrate** (funzioni del tempo) o **distribuite** (funzioni del tempo e dello spazio)
- esempi:
 - ▶ **tecnologia**: motore elettrico (tensione, corrente, velocità, coppia), satellite (orbita, assetto), automobile (velocità, volume carburante, temperatura), robot (postura, posizione organo terminale)
 - ▶ **biologia**: apparato circolatorio (volume, pressione, frequenza cardiaca), popolazione (numerosità, età media, altezza media), epidemie (suscettibili, infetti, guariti)
 - ▶ **meteorologia**: circolazione atmosferica (temperatura, velocità, latitudine)
 - ▶ **economia**: mercato beni consumo (offerta, domanda, prezzo)

modellistica

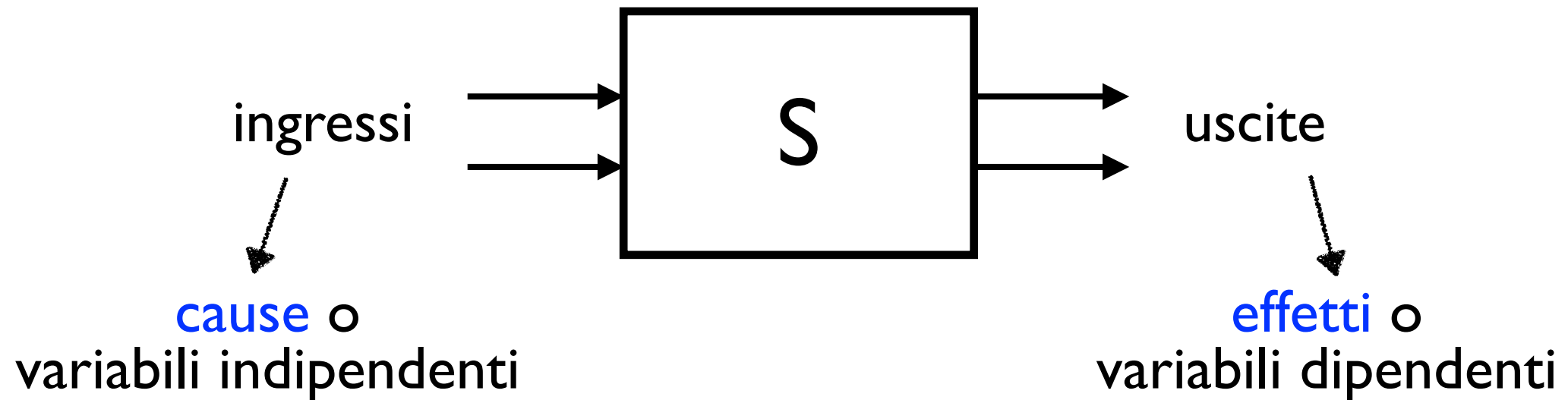
- **modello**: rappresentazione matematica del sistema che descrive le **relazioni tra le variabili** in gioco
 - vari livelli di **complessità**
 - vari gradi di **approssimazione**
 - dipendenza dalla particolare **applicazione**
- **passo 1**: identificare il sistema come **blocco** e individuare le **variabili di collegamento** con l'esterno



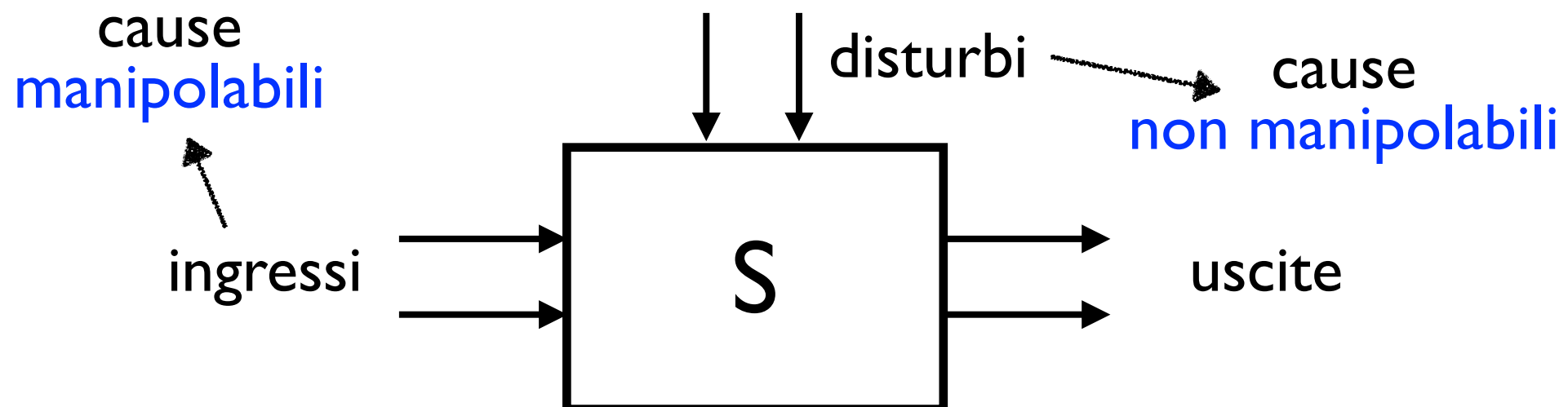
es: nel motore controllato in corrente, variabili di collegamento sono **corrente** e **coppia**, le altre variabili (come posizione e velocità motore) sono interne

modellistica

- passo 2: **orientare** il sistema, ovvero separare le variabili di collegamento in **ingressi** e **uscite**



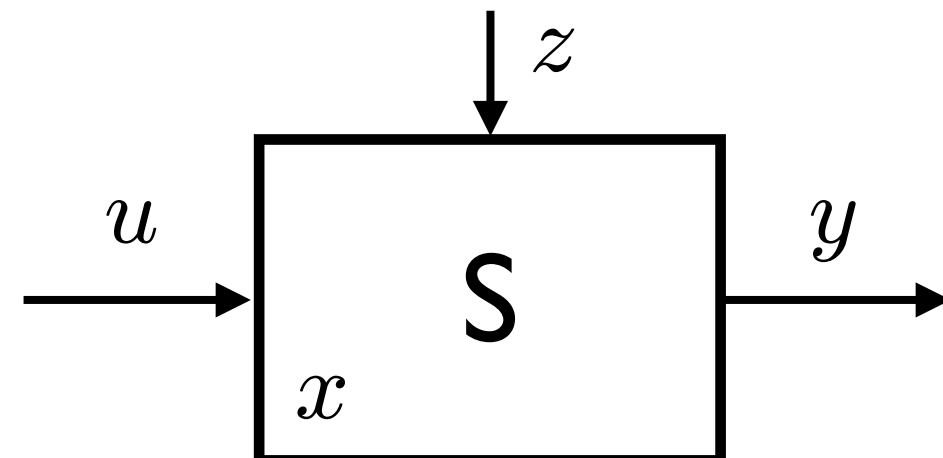
- passo 3: separare i **disturbi** dagli ingressi veri e propri



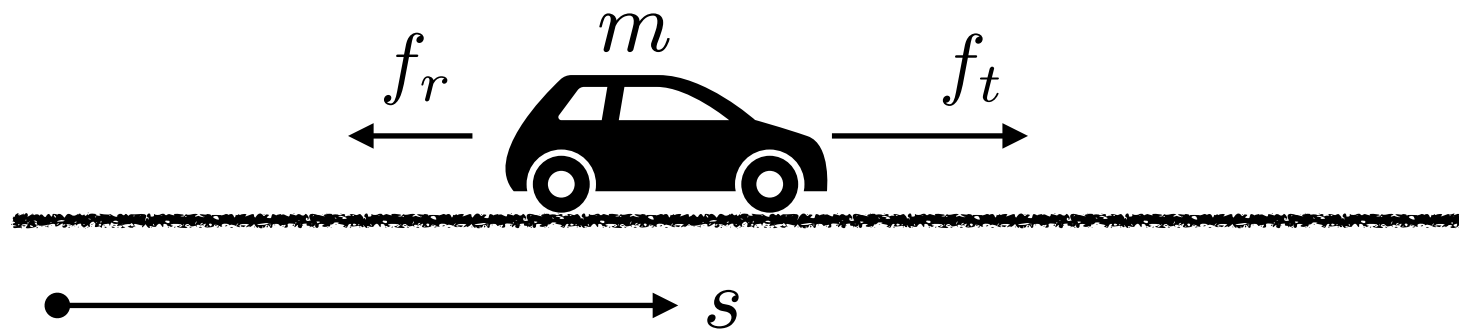
modellistica

- passo 4: derivare un **legame quantitativo** tra l'andamento degli ingressi e quello delle uscite
 - ▶ sistema **istantaneo** o **senza memoria**: il valore dell'uscita in t dipende solo dal valore dell'ingresso in t
 - ▶ sistema **dinamico** o **con memoria**: il valore dell'uscita in t dipende dalla storia dell'ingresso fino a t
- nei sistemi dinamici, per calcolare l'uscita a partire dall'ingresso è necessario conoscere il **valore iniziale** di certe variabili interne, dette **stati**; in generale stati e uscite sono variabili **diverse**

- u : ingressi; z : disturbi
 y : uscite; x : stati



esempio: controllo di un'automobile



- moto rettilineo, forza trazione f_t (ingresso), posizione s (uscita)
- forza resistente $f_r = f_v + f_a$, con f_v vento (disturbo) e f_a attrito
- modello $m \ddot{s} = f_t - f_r = f_t - f_v - f_a = f_t - f_v - \mu \dot{s}$
- posto $x = \begin{pmatrix} s \\ \dot{s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ e $u = f_t$, $z = f_v$ si ottiene

$$\dot{x}_1 = x_2$$

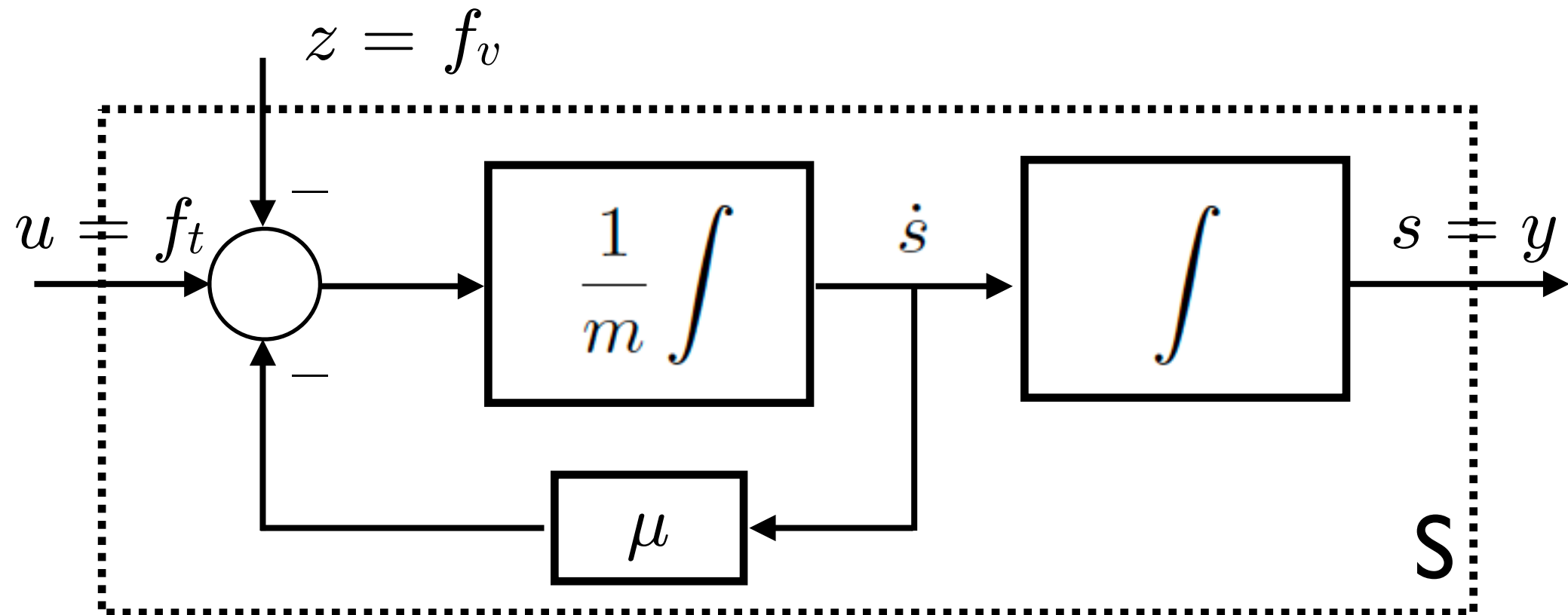
$$\dot{x}_2 = (-\mu x_2 + u - z)/m$$

$$y = x_1$$

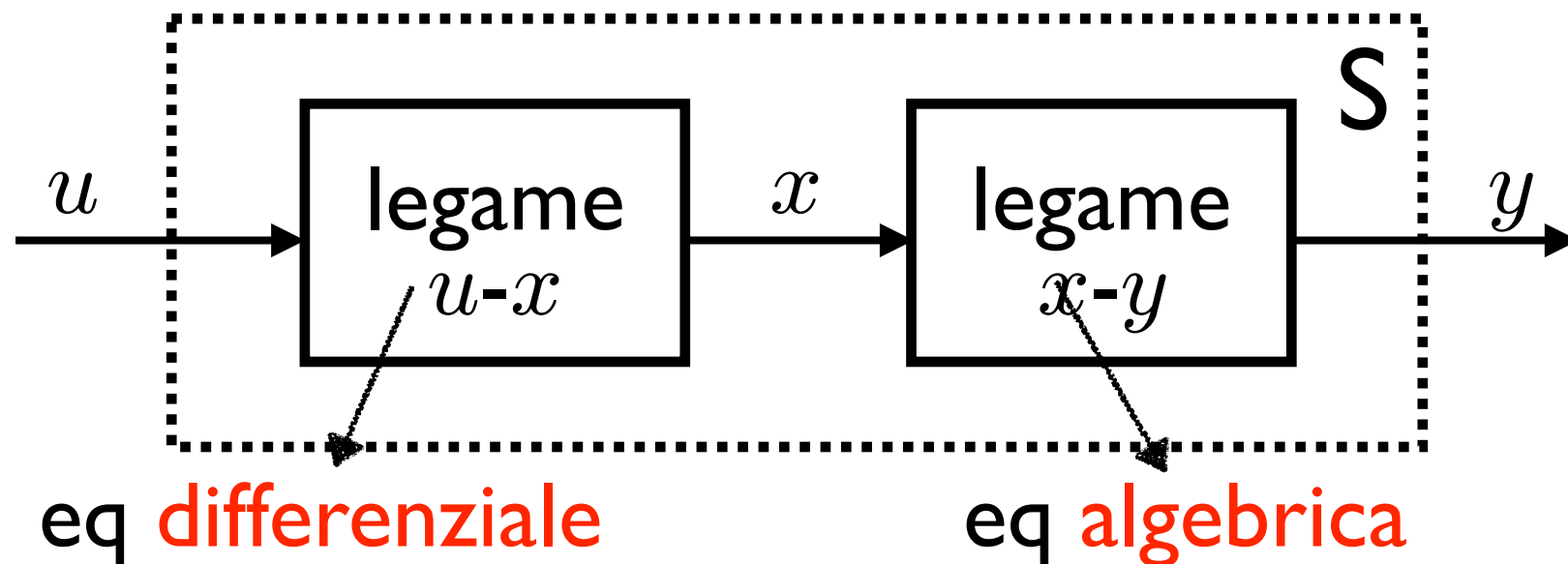
equazione **di stato**
(legame ingresso-stato)

equazione **di uscita**
(legame stato-uscita)

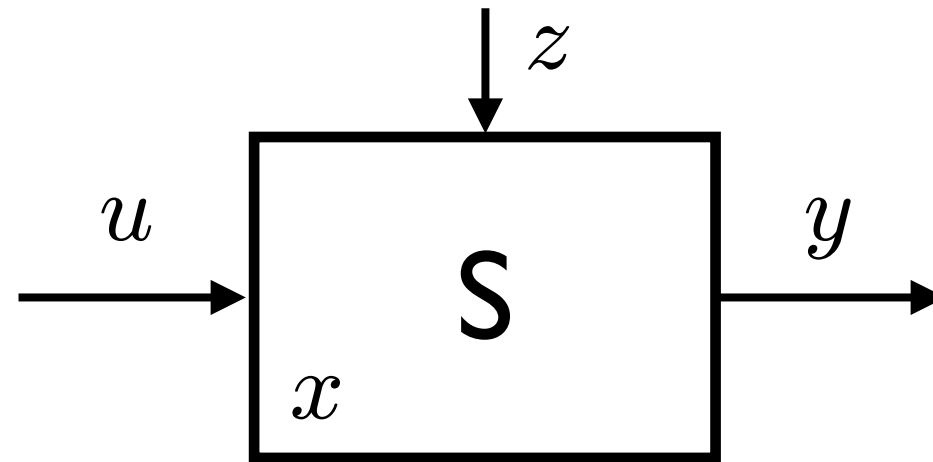
schema a blocchi



- in generale



problemi base dell'automatica

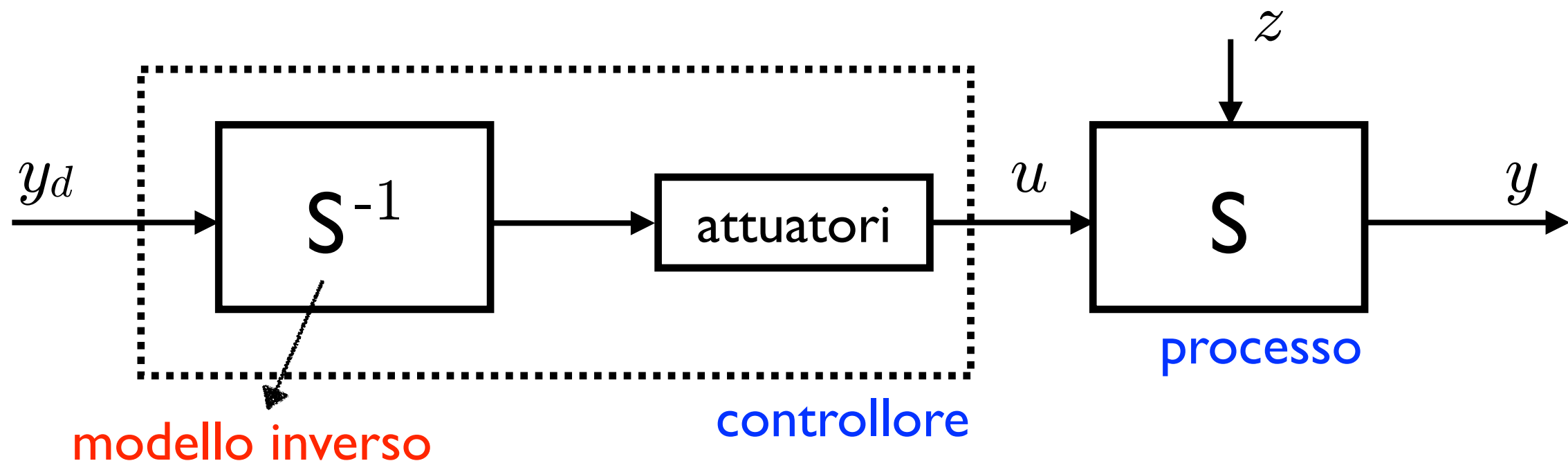


- nota la fisica del sistema, ricavarne il modello: **modellistica**
- noti il modello, u e z , prevedere x e y (o loro caratteristiche): **teoria dei sistemi**
- noto il modello e l'andamento desiderato y_d di y , determinare u che lo imponga nonostante z : **teoria del controllo**

└ un problema di **decisione in tempo reale**: quale **azione** (= intervento sul sistema) intraprendere sulla base dei **dati** disponibili?

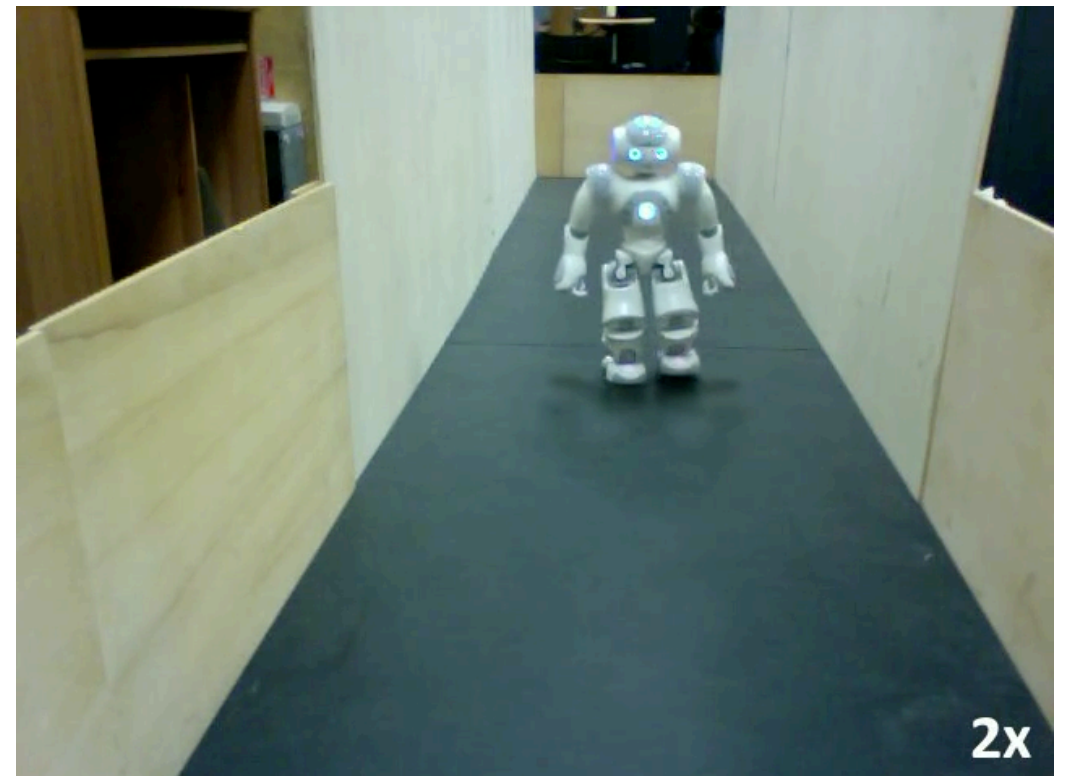
sistemi di controllo

- l'ingresso u viene generato da un sistema detto **controllore**, che combina hardware (**attuatori** e **sensori**) e software (**algoritmi** di controllo)
- quale logica si usa per progettare (sintetizzare) un controllore?
- controllo **ad anello aperto** (open-loop, o **feedforward**): l'idea è di **invertire** in qualche modo il modello del sistema da controllare (**processo**) per generare l'ingresso u che dovrebbe produrre y_d



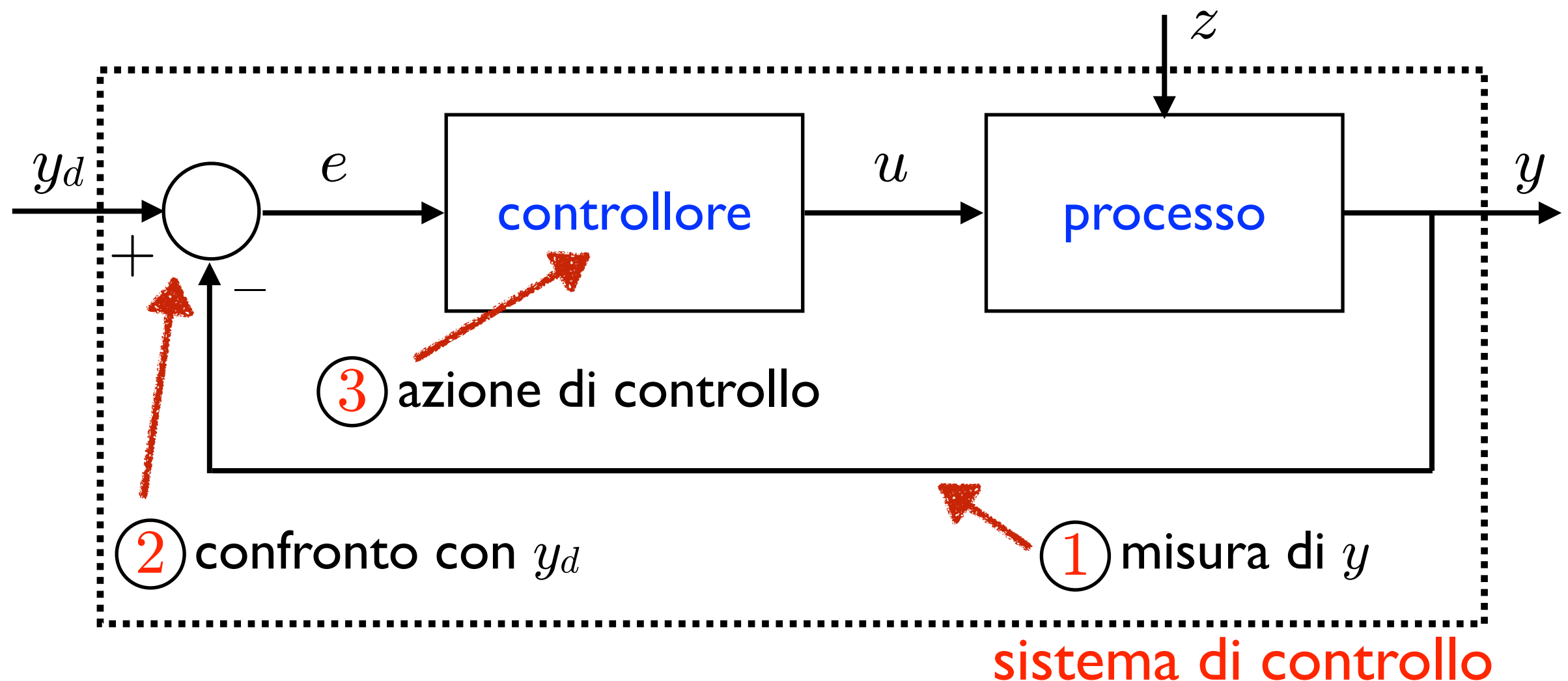
controllo ad anello aperto

- **difficoltà** e **svantaggi** del controllo ad anello aperto
 - cosa vuol dire **invertire un sistema dinamico**?
 - azione di controllo sviluppata a partire dal comportamento desiderato, **senza considerare come sta evolvendo** il processo
 - ogni tipo di non idealità (disturbi, errori iniziali, inaccuratezze del modello,...) produrrà un **errore che tenderà ad accumularsi** nel tempo

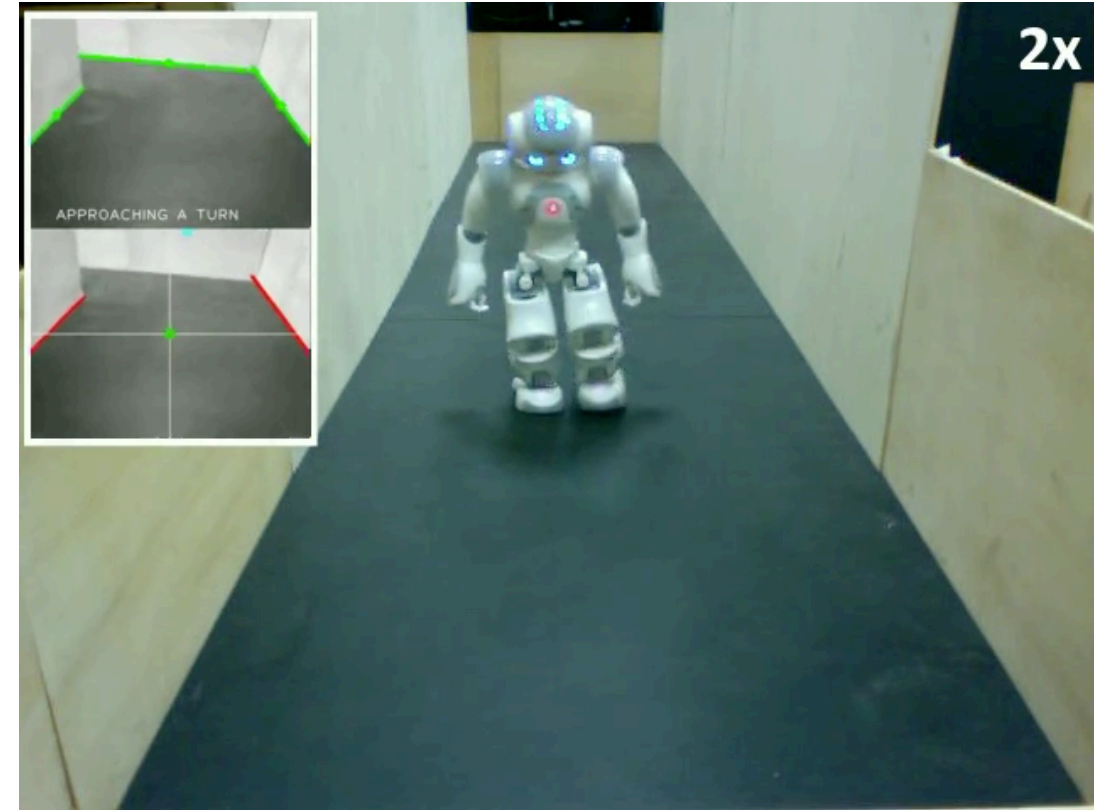


controllo in retroazione

- controllo ad **anello chiuso** o in **retroazione** (closed-loop, o **feedback**): l'idea è **misurare** l'errore, cioè lo scostamento tra y_d e y , e generare l'azione di controllo u **in modo da ridurlo**
- usa sia attuatori che **sensori**



controllo in retroazione



- l'azione di controllo u si sviluppa a partire dagli effetti delle non idealità, e come tale è robusta rispetto a tutte le possibili cause
- ruolo cruciale dell'informazione (feedback)

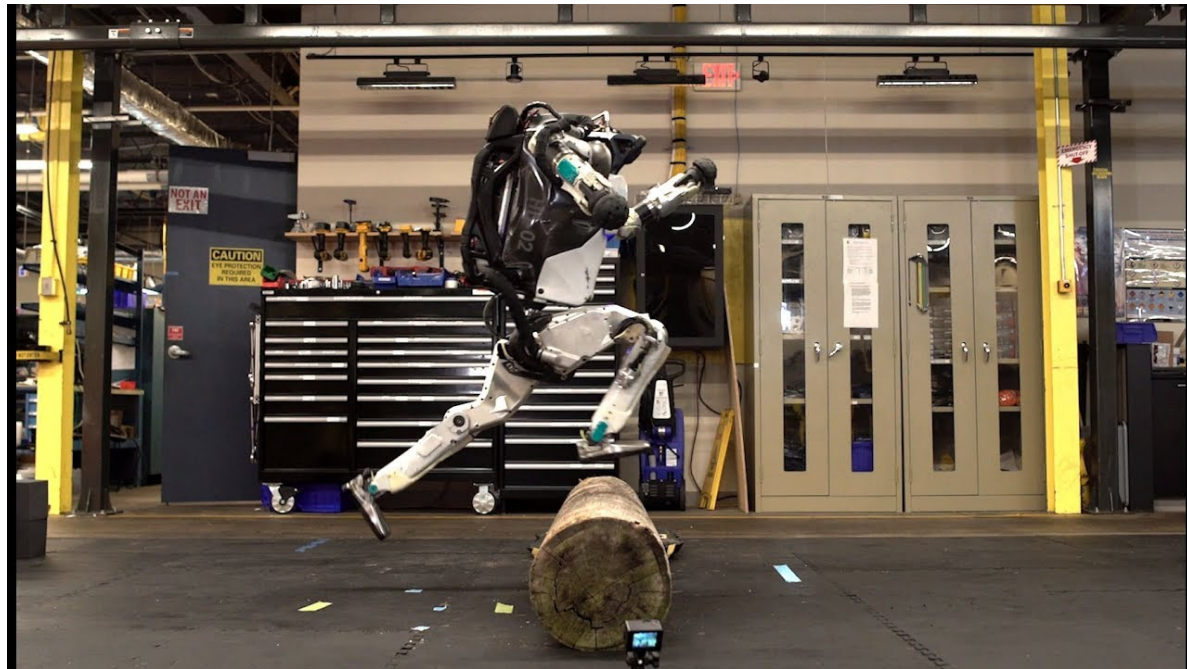
un approccio potente perché astratto

- sistemi di **natura fisica completamente diversa** possono essere descritti e controllati mediante modelli e tecniche dello stesso tipo
- l'automatica prescinde dalle peculiari caratteristiche fisiche dei sistemi specifici e si concentra sugli **aspetti funzionali comuni**
- si arriva a definire strumenti di analisi e progetto **generalisti, molto versatili e di grande efficacia**
- l'**implementazione** del controllore dipende comunque dalla natura e dalla tecnologia del contesto applicativo
- il campo di applicazione è pressoché **illimitato**...

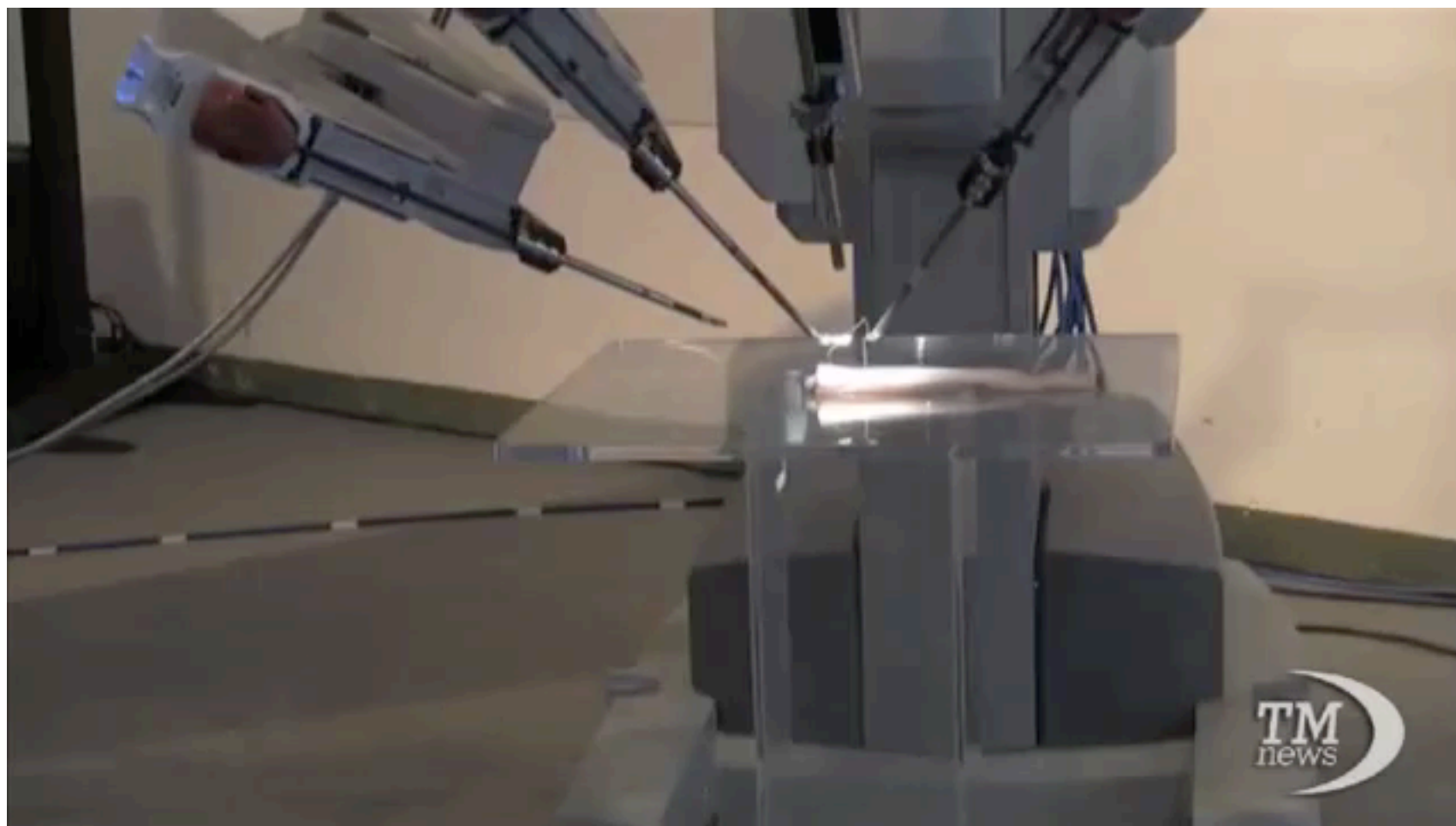
robotica industriale



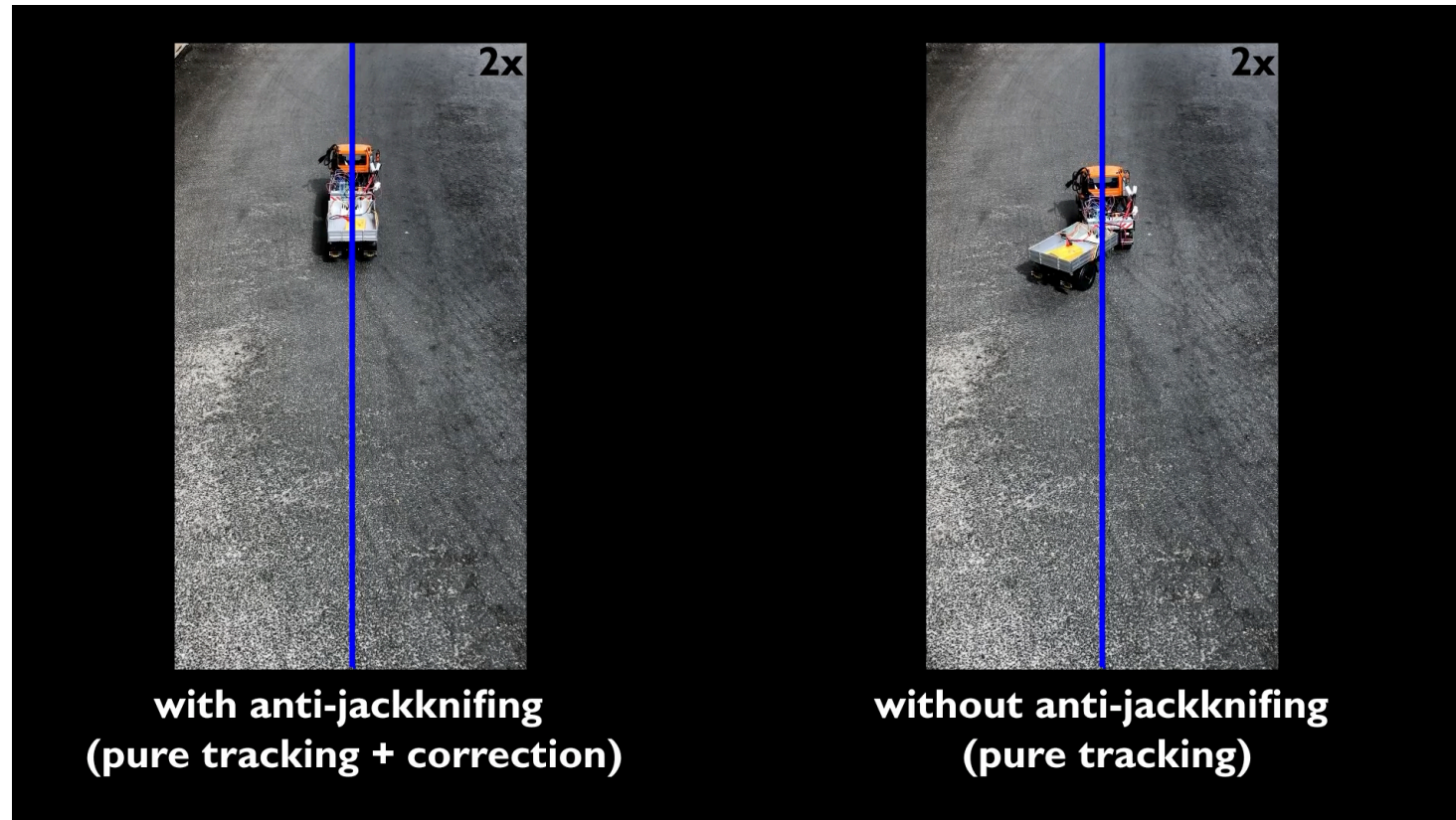
robotica di servizio



robotica medica

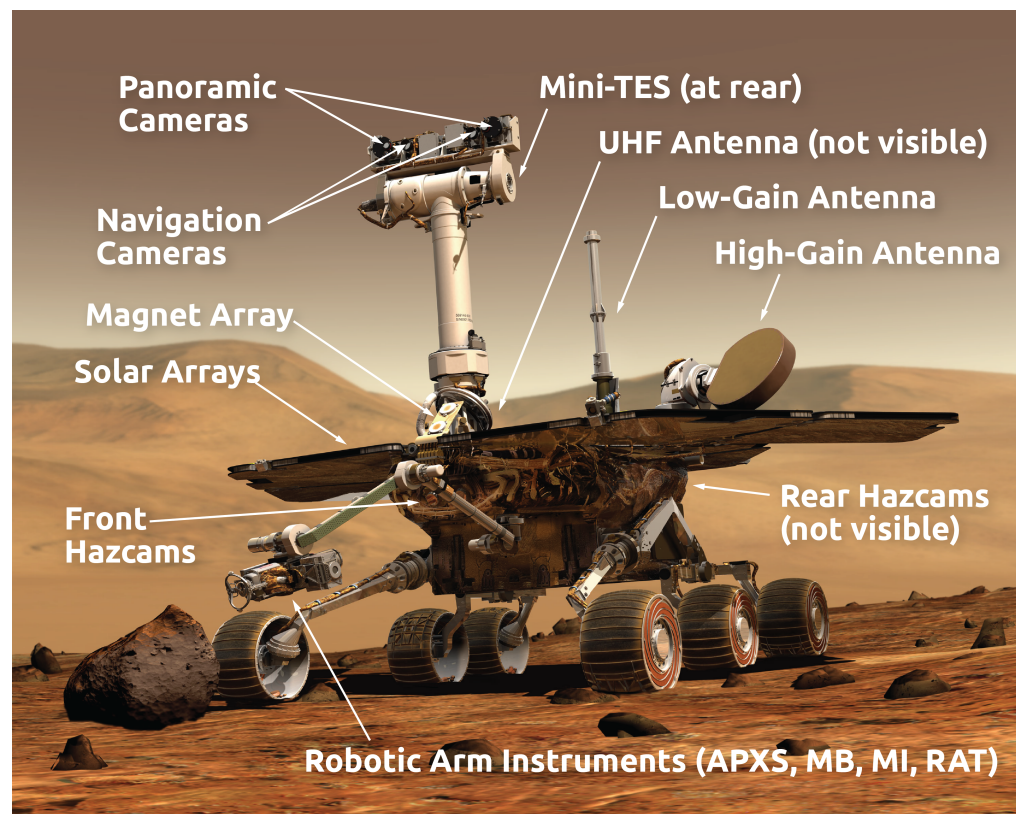


automotive

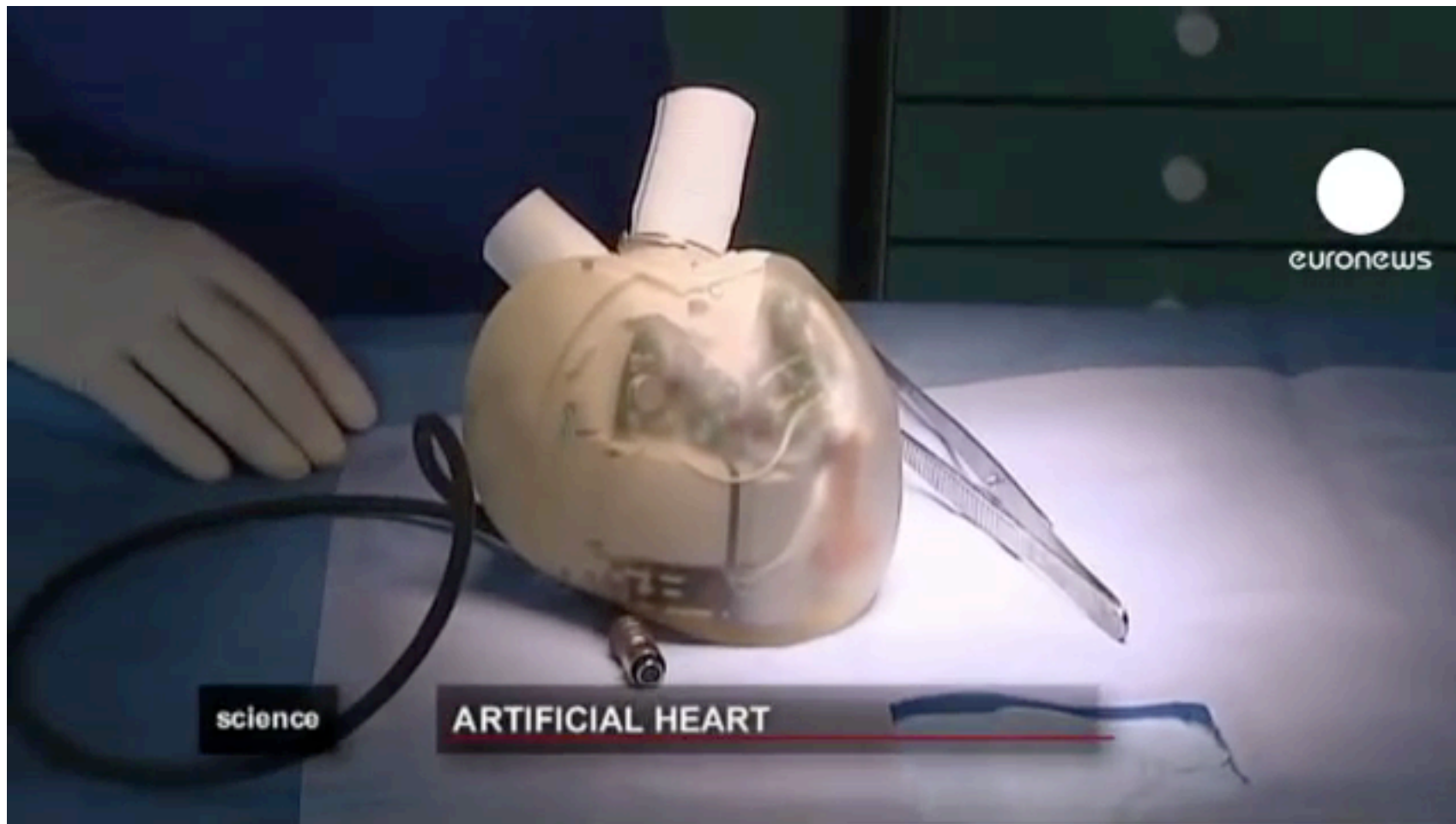


aerospazio





bioingegneria



controllo di processi industriali



industria chimica,
di trasformazione,
manifatturiera



controllo attivo di strutture



e ancora...

- mecatronica
- navigazione marina
- trasporti ferroviari
- reti di telecomunicazione
- automazione industriale (batch production)
- produzione e distribuzione energia (smart grids)
- elettronica di consumo
- meteorologia
- finanza
- ...