

Introduzione alla Robotica

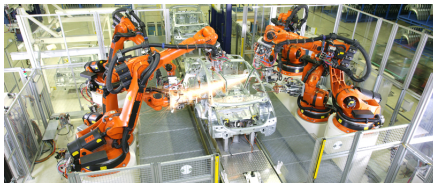
Corrado Santoro

ARSLAB - Autonomous and Robotic Systems Laboratory

Dipartimento di Matematica e Informatica - Università di Catania, Italy

`santoro@dmi.unict.it`

Robot tra immaginazione e realtà



Sistema Robotico

Un **sistema robotico** è un apparato *meccanico/elettronico/informatico* in grado di svolgere un **compito** ben preciso in **autonomia**

Sistema Robotico

Un **sistema robotico** è un apparato *meccanico/elettronico/informatico* in grado di svolgere un **compito** ben preciso in **autonomia**

Elementi di un Sistema Robotico

- Ambiente di lavoro
- Struttura meccanica
- Sensori
- Unità di elaborazione
- Attuatori

Un tipico “sistema robotico”

Un tipico “sistema robotico”



Un tipico “sistema robotico”



E' un Sistema Robotico?

- Ha un obiettivo ben preciso:
lavare i panni!
- Lo fa “da sola”
- Opera in un “ambiente di lavoro”
- Ha una **struttura meccanica**
- Possiede opportuni **sensori**
(temperatura, peso, etc.)
- Possiede una **unità di elaborazione** che comanda il ciclo di lavaggio
- Possiede degli **attuatori** (motore cestello, pompa, resistenza di riscaldamento, etc.)

Un altro tipico “sistema robotico”

Un altro tipico “sistema robotico”



Un altro tipico “sistema robotico”



Il “robot da cucina”

- Ha un obiettivo ben preciso: **cucinare pietanze!**
- Lo fa “da solo”
- Opera in un “ambiente di lavoro”
- Ha una **struttura meccanica**
- Possiede opportuni **sensori** (temperatura, peso, etc.)
- Possiede una **unità di elaborazione** che comanda le operazioni legate alla cottura del cibo
- Possiede degli **attuatori** (motore cestello, resistenza di riscaldamento, etc.)

Un altro robot “domestico”

Un altro robot “domestico”



Un altro robot “domestico”



Il “robot aspirapolvere”

- Ha un obiettivo ben preciso: **togliere la polvere dal pavimento della stanza!**
- Lo fa “da solo”
- Opera in un “ambiente di lavoro” (la stanza)
- Ha una **struttura meccanica**
- Possiede opportuni **sensori** (posizione, ostacoli, scalini, sporcizia, etc.)
- Possiede una **unità di elaborazione** che comanda le operazioni legate alla gestione dei percorsi ed all’attivazione della pompa
- Possiede degli **attuatori** (motori locomozione, aspiratore, etc.)

Robot domestici: dall'utile all'inutile

Robot domestici: dall'utile all'inutile





Aibo: il cane-robot della Sony!

- Ha un obiettivo ben preciso:
comportarsi come un cane!
- Scodinzola... abbaia... mugola...
- Ha una **struttura meccanica**
- Possiede opportuni **sensori** (posizione dei giunti, telecamera, sensori di presenza, sensori di tocco, microfono, etc.)
- Possiede una **unità di elaborazione** che prova a realizzare un comportamento quanto più simile a quello di un cane
- Possiede degli **attuatori** (motori delle zampe, azionamenti per il movimento delle orecchie e della coda, speaker, etc.)



Aibo: il cane-robot!

- Aibo è uno dei primi tentativi commerciali di realizzare un robot con **comportamento simile a quello di un essere vivente**
- Tuttavia ...
- ... le abilità di un cane
- ... o le sue capacità di interazione
- ... **sono molto difficili da emulare artificialmente!**
- A lungo andare Aibo risulta **ripetitivo e noioso**

Robot domestici: dall'inutile allo sperimentale

Robot domestici: dall'inutile allo sperimentale



Robot domestici: dall'inutile allo sperimentale

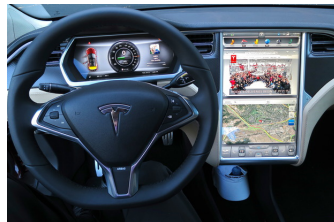


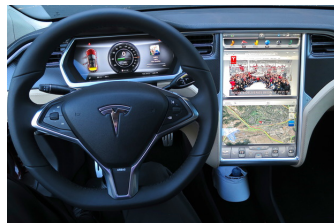
NAO: l'umanoide della Softbank Robotics!

- Incarna l'idea emergente dei **personal robots**
- E' una **piattaforma sperimentale**
- Possiede 25 motori per il controllo dei movimenti
- ... due telecamere
- ... quattro microfoni
- ... due speaker
- Piattaforma software di sviluppo "open"

Robot Mobili Personali

Robot Mobili Personali





La Tesla e le auto a guida autonoma

- Il **veicolo autonomo** costituisce la prossima sfida nell'ambito dei sistemi di trasporto
- E' un **sistema robotico**
- Ha un **obiettivo**: portarvi sani e salvi verso una destinazione
- Ha dei **sensori**: GPS, velocità, ostacoli, ambiente, etc.
- Ha un'**unità di elaborazione**, che stabilisce come pilotare la guida sulla base del percorso voluto e le informazioni dai sensori
- Ha degli **attuatori**: motore, sterzo, freni, etc.

Robot Mobili Militari

Robot Mobili Militari



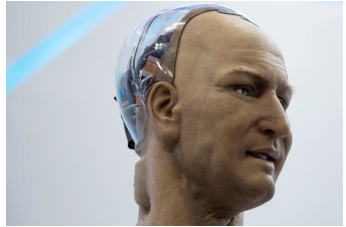


I predator

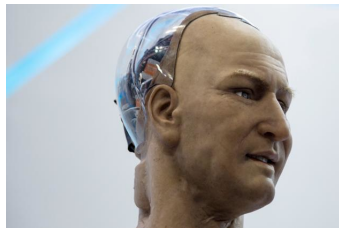
- Sono **velivoli autonomi** (UAV) in dotazione ai paesi NATO
- E' un **sistema robotico**
- Ha un **obiettivo**: effettuare una missione ben precisa
- Ha dei **sensori**: GPS, velocità, ostacoli, ambiente, etc.
- Ha un'**unità di elaborazione**, che stabilisce come effettuare il pilotaggio sulla base del percorso voluto e le informazioni dai sensori
- Ha degli **attuatori**: motore, superfici mobili (alettoni, timone, elevatore)

Dall'Umanoide all'Umano: la mimica facciale

Dall'Umanoide all'Umano: la mimica facciale



Dall'Umanoide all'Umano: la mimica facciale



Zeno, Han e gli altri “umani” della Hanson Robotics

- Nell'imitazione dei comportamenti umani, la nuova sfida è la gestione delle **emozioni**
- **Modelli artificiali** per la rappresentazione delle emozioni con la mimica facciale
- Tecniche per il **riconoscimento** delle emozioni

Dall'Umanoide all'Umano: la deambulazione

Dall'Umanoide all'Umano: la deambulazione

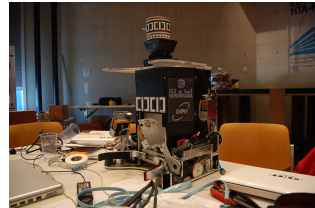
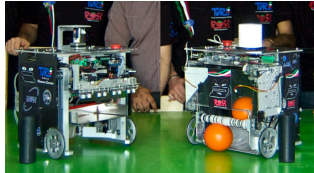
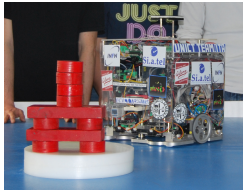


Dall'Umanoide all'Umano: la deambulazione



I “mostri” della Boston Dynamics

- **Emulazione del movimento** degli arti, sia dei **quadrupedi** che dei **bipedi**
- L'obiettivo è rendere la deambulazione artificiale **altamente affidabile**
- Capacità di muoversi con facilità in **qualsunque ambiente fisico**



Competizioni Robotiche: Eurobot

- Competizione robotica studentesca
- **Obiettivo:** realizzare da zero un robot autonomo in grado di “**giocare**” a un gioco con regole ben precise:
 - **catturare oggetti**
 - **identificarli**
 - **depositarli in zone specifiche**
 - **evitare l'avversario**

Problematiche connesse ai sistemi robotici

Problema 1: il Dominio

Definire con precisione il **dominio** del nostro robot

Problema 1: il Dominio

Definire con precisione il **dominio** del nostro robot

- **Cosa?**—Obiettivo comportamentale del robot

Problema 1: il Dominio

Definire con precisione il **dominio** del nostro robot

- **Cosa?**—**Obiettivo comportamentale** del robot
- **Dove?**—**Ambiente fisico** di azione

Definire con precisione il **dominio** del nostro robot

- **Cosa?**—**Obiettivo comportamentale** del robot
- **Dove?**—**Ambiente fisico** di azione
- **Con cosa?**—**Oggetti** (cose inanimate) con cui interagire

Definire con precisione il **dominio** del nostro robot

- **Cosa?**–**Obiettivo comportamentale** del robot
- **Dove?**–**Ambiente fisico** di azione
- **Con cosa?**–**Oggetti** (cose inanimate) con cui interagire
- **Con chi?**–**Soggetti** (fisici) con cui interagire

Definire con precisione il **dominio** del nostro robot

- **Cosa?**–**Obiettivo comportamentale** del robot
- **Dove?**–**Ambiente fisico** di azione
- **Con cosa?**–**Oggetti** (cose inanimate) con cui interagire
- **Con chi?**–**Soggetti** (fisici) con cui interagire
- **Come?**–Modalità di **interazione** con gli **oggetti**

Definire con precisione il **dominio** del nostro robot

- **Cosa?**–**Obiettivo comportamentale** del robot
- **Dove?**–**Ambiente fisico** di azione
- **Con cosa?**–**Oggetti** (cose inanimate) con cui interagire
- **Con chi?**–**Soggetti** (fisici) con cui interagire
- **Come?**–Modalità di **interazione** con gli **oggetti**
- **Come?**–Modalità di **interazione** con i **soggetti**

Problema 2: Scelta di sensori

“Occhi”, “Orecchie” e “Tatto” di un robot

Problema 2: Scelta di sensori

“Occhi”, “Orecchie” e “Tatto” di un robot

- Un sensore traduce una **rappresentazione parziale dell'ambiente** in un segnale elettrico

Problema 2: Scelta di sensori

“Occhi”, “Orecchie” e “Tatto” di un robot

- Un sensore traduce una **rappresentazione parziale dell'ambiente** in un segnale elettrico
- Una opportuna **interfaccia** traduce poi il segnale elettrico in un **dato** informatico

Problema 2: Scelta di sensori

“Occhi”, “Orecchie” e “Tatto” di un robot

- Un sensore traduce una **rappresentazione parziale dell'ambiente** in un segnale elettrico
- Una opportuna **interfaccia** traduce poi il segnale elettrico in un **dato** informatico
- Ciò che non è “**sentito**”, per il robot **non esiste**

Problema 2: Scelta di sensori

“Occhi”, “Orecchie” e “Tatto” di un robot

- Un sensore traduce una **rappresentazione parziale dell'ambiente** in un segnale elettrico
- Una opportuna **interfaccia** traduce poi il segnale elettrico in un **dato** informatico
- Ciò che non è “**sentito**”, per il robot **non esiste**
- Ciò che un sensore “**sente**” deve essere **il più aderente possibile** alla realtà (in cui vive il robot)

Problema 2: Scelta di sensori

“Occhi”, “Orecchie” e “Tatto” di un robot

- Un sensore traduce una **rappresentazione parziale dell'ambiente** in un segnale elettrico
- Una opportuna **interfaccia** traduce poi il segnale elettrico in un **dato** informatico
- Ciò che non è “**sentito**”, per il robot **non esiste**
- Ciò che un sensore “**sente**” deve essere **il più aderente possibile** alla realtà (in cui vive il robot)

Categorie Sensori

Problema 2: Scelta di sensori

“Occhi”, “Orecchie” e “Tatto” di un robot

- Un sensore traduce una **rappresentazione parziale dell'ambiente** in un segnale elettrico
- Una opportuna **interfaccia** traduce poi il segnale elettrico in un **dato** informatico
- Ciò che non è “**sentito**”, per il robot **non esiste**
- Ciò che un sensore “**sente**” deve essere **il più aderente possibile** alla realtà (in cui vive il robot)

Categorie Sensori

- **Esterocettivi:** Sensori che “sentono” l'**ambiente**

Problema 2: Scelta di sensori

“Occhi”, “Orecchie” e “Tatto” di un robot

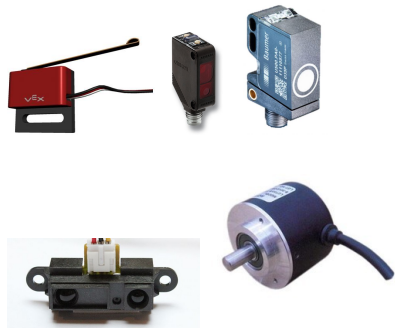
- Un sensore traduce una **rappresentazione parziale dell'ambiente** in un segnale elettrico
- Una opportuna **interfaccia** traduce poi il segnale elettrico in un **dato** informatico
- Ciò che non è “**sentito**”, per il robot **non esiste**
- Ciò che un sensore “**sente**” deve essere **il più aderente possibile** alla realtà (in cui vive il robot)

Categorie Sensori

- **Esterocettivi**: Sensori che “sentono” l'**ambiente**
- **Propriocettivi**: Sensori che “sentono” il **robot stesso**

Problema 2: Scelta di sensori

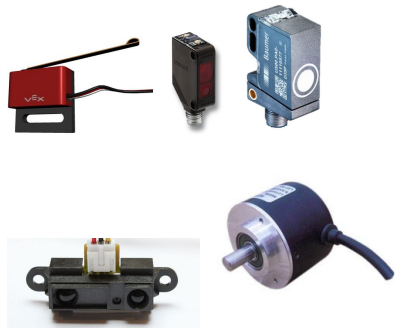
Tipologia di Sensori



Problema 2: Scelta di sensori

Tipologia di Sensori

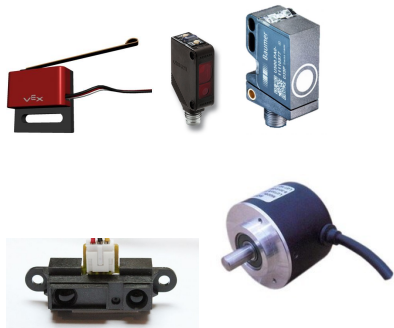
- Contatto



Problema 2: Scelta di sensori

Tipologia di Sensori

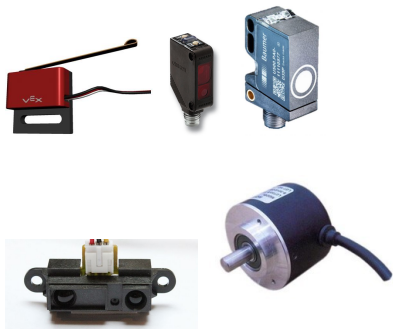
- Contatto
- Distanza



Problema 2: Scelta di sensori

Tipologia di Sensori

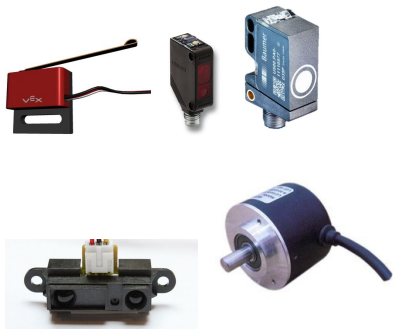
- Contatto
- Distanza
- Presenza



Problema 2: Scelta di sensori

Tipologia di Sensori

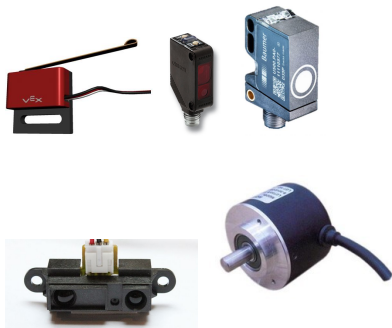
- Contatto
- Distanza
- Presenza
- Posizione



Problema 2: Scelta di sensori

Tipologia di Sensori

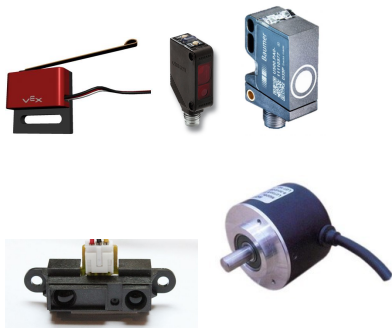
- Contatto
- Distanza
- Presenza
- Posizione
- Luminosità



Problema 2: Scelta di sensori

Tipologia di Sensori

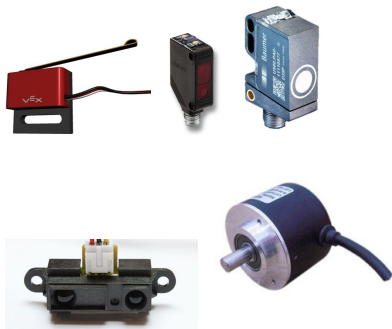
- Contatto
- Distanza
- Presenza
- Posizione
- Luminosità
- Colore



Problema 2: Scelta di sensori

Tipologia di Sensori

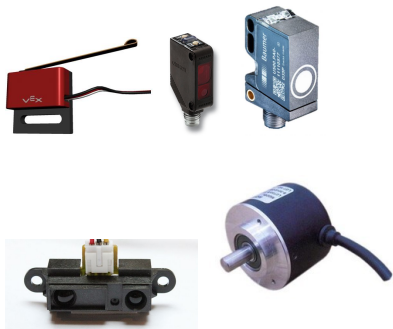
- Contatto
- Distanza
- Presenza
- Posizione
- Luminosità
- Colore
- Immagine



Problema 2: Scelta di sensori

Tipologia di Sensori

- Contatto
- Distanza
- Presenza
- Posizione
- Luminosità
- Colore
- Immagine
- Suono



Problema 3: Scelta degli Attuatori

Gli “Arti” di un robot

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Gli “Arti” di un robot

- Un attuttore traduce un **desiderio** del robot in una **azione fisica sull'ambiente**

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Gli “Arti” di un robot

- Un attuatore traduce un **desiderio** del robot in una **azione fisica sull'ambiente**
- L'azione fisica ha sempre successo? **Ahimè, no!**

Gli “Arti” di un robot

- Un attuatore traduce un **desiderio** del robot in una **azione fisica sull'ambiente**
- L'azione fisica ha sempre successo? **Ahimè, no!**
- Ogni attutatore è sempre affiancato da un **sensore** utile a verificare il “successo” dell'azione

Gli “Arti” di un robot

- Un attuatore traduce un **desiderio** del robot in una **azione fisica sull'ambiente**
- L'azione fisica ha sempre successo? **Ahimè, no!**
- Ogni attutatore è sempre affiancato da un **sensore** utile a verificare il “successo” dell'azione
- L'azione di un attuatore è sempre **controllata**

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare
- Rotatorio

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare
- Rotatorio
- Combinato

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare
- Rotatorio
- Combinato
- A posizioni fisse

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare
- Rotatorio
- Combinato
- A posizioni fisse
- A posizioni variabili

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare
- Rotatorio
- Combinato
- A posizioni fisse
- A posizioni variabili

Tecnologia degli attuatori

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare
- Rotatorio
- Combinato
- A posizioni fisse
- A posizioni variabili

Tecnologia degli attuatori

- Elettrici

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare
- Rotatorio
- Combinato
- A posizioni fisse
- A posizioni variabili

Tecnologia degli attuatori

- Elettrici
- Oleodinamici

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Tipologia di movimento

- Lineare
- Rotatorio
- Combinato
- A posizioni fisse
- A posizioni variabili

Tecnologia degli attuatori

- Elettrici
- Oleodinamici
- Pneumatici

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Criteri di Scelta

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Criteri di Scelta

- Tipologia del movimento

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Criteri di Scelta

- Tipologia del movimento
- Velocità richiesta

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Criteri di Scelta

- Tipologia del movimento
- Velocità richiesta
- Carichi da movimentare

Problema 3: Scelta degli Attuatori

Criteri di Scelta

- Tipologia del movimento
- Velocità richiesta
- Carichi da movimentare
- Dimensioni

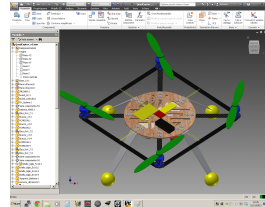
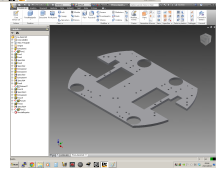
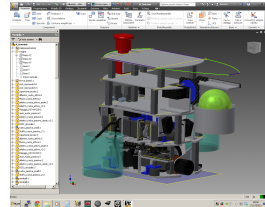
Problema 3: Scelta degli Attuatori

Criteri di Scelta

- Tipologia del movimento
- Velocità richiesta
- Carichi da movimentare
- Dimensioni
- Consumi ammessi

Problema 4: Scelta e Progettazione della meccanica

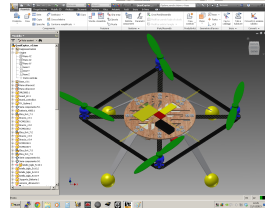
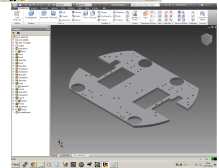
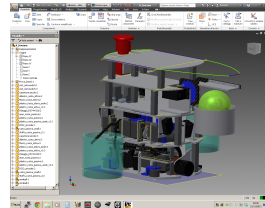
Lo "Scheletro" di un robot



Problema 4: Scelta e Progettazione della meccanica

Lo “Scheletro” di un robot

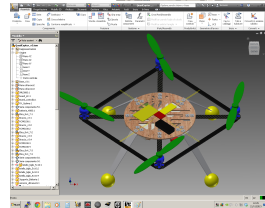
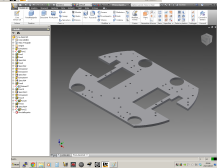
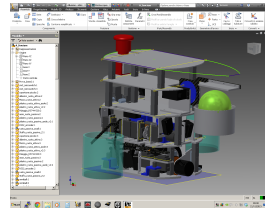
- Verifica dei requisiti dimensionali e di carico



Problema 4: Scelta e Progettazione della meccanica

Lo “Scheletro” di un robot

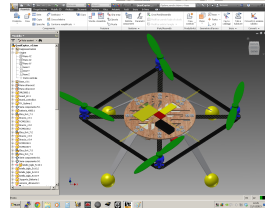
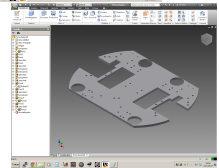
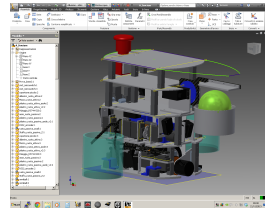
- Verifica dei requisiti dimensionali e di carico
- Scelta dei materiali



Problema 4: Scelta e Progettazione della meccanica

Lo “Scheletro” di un robot

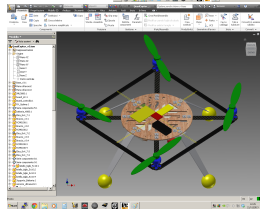
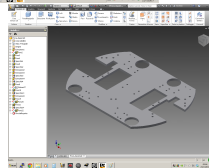
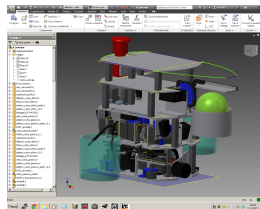
- Verifica dei requisiti dimensionali e di carico
- Scelta dei materiali
- Valutazione dei cinematismi



Problema 4: Scelta e Progettazione della meccanica

Lo “Scheletro” di un robot

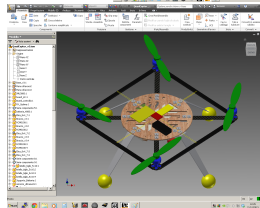
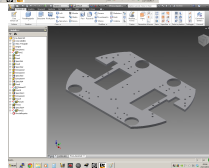
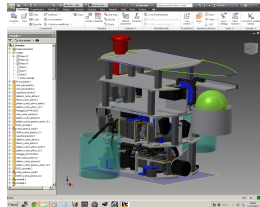
- Verifica dei requisiti dimensionali e di carico
- Scelta dei materiali
- Valutazione dei cinatismi
- Progettazione CAD



Problema 4: Scelta e Progettazione della meccanica

Lo “Scheletro” di un robot

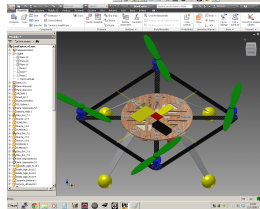
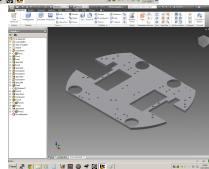
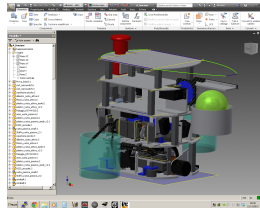
- Verifica dei requisiti dimensionali e di carico
- Scelta dei materiali
- Valutazione dei cinematismi
- Progettazione CAD
- Simulazione statica e dinamica



Problema 4: Scelta e Progettazione della meccanica

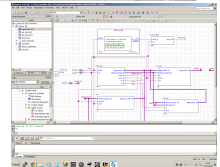
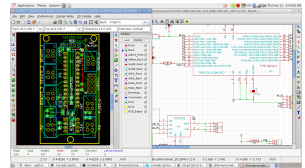
Lo “Scheletro” di un robot

- Verifica dei requisiti dimensionali e di carico
- Scelta dei materiali
- Valutazione dei cinematismi
- Progettazione CAD
- Simulazione statica e dinamica
- Prototipazione parziale



Problema 5: Scelta e Progettazione dell'elettronica

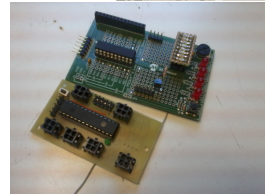
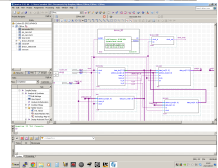
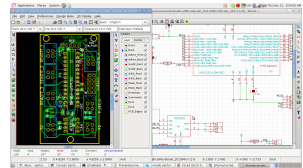
Il "Cuore e Sangue" di un robot



Problema 5: Scelta e Progettazione dell'elettronica

Il “Cuore e Sangue” di un robot

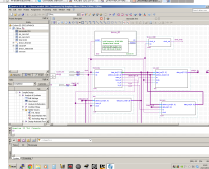
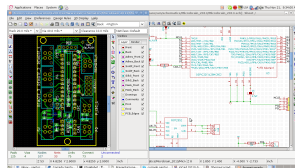
- Verifica dei requisiti elettrici di sensori e attuatori



Problema 5: Scelta e Progettazione dell'elettronica

Il "Cuore e Sangue" di un robot

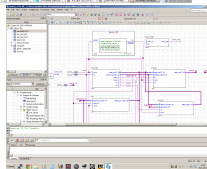
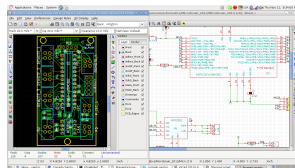
- Verifica dei requisiti elettrici di sensori e attuatori
- Valutazione delle prestazioni computazionali richieste



Problema 5: Scelta e Progettazione dell'elettronica

Il "Cuore e Sangue" di un robot

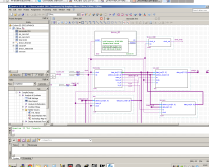
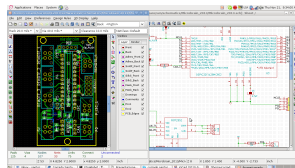
- Verifica dei requisiti elettrici di sensori e attuatori
- Valutazione delle prestazioni computazionali richieste
- Valutazione dei vincoli dimensionali



Problema 5: Scelta e Progettazione dell'elettronica

Il "Cuore e Sangue" di un robot

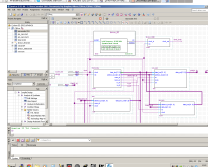
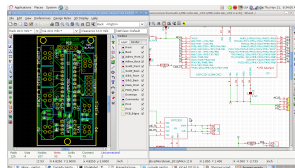
- Verifica dei requisiti elettrici di sensori e attuatori
- Valutazione delle prestazioni computazionali richieste
- Valutazione dei vincoli dimensionali
- Progettazione CAD



Problema 5: Scelta e Progettazione dell'elettronica

Il "Cuore e Sangue" di un robot

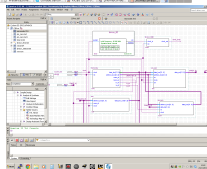
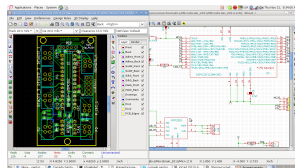
- Verifica dei requisiti elettrici di sensori e attuatori
- Valutazione delle prestazioni computazionali richieste
- Valutazione dei vincoli dimensionali
- Progettazione CAD
- Prototipazione hardware



Problema 5: Scelta e Progettazione dell'elettronica

Il "Cuore e Sangue" di un robot

- Verifica dei requisiti elettrici di sensori e attuatori
- Valutazione delle prestazioni computazionali richieste
- Valutazione dei vincoli dimensionali
- Progettazione CAD
- Prototipazione hardware
- Prototipazione software



Problema 6: Software!!!

Il “Cervello” di un robot

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”
- Sistema nervoso **periferico**

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”
- Sistema nervoso **periferico**
 - **Controllo specifico dei singoli azionamenti**

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”
- Sistema nervoso **periferico**
 - Controllo specifico dei singoli azionamenti
 - Gestione delle “reazioni”

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”
- Sistema nervoso **periferico**
 - Controllo specifico dei singoli azionamenti
 - Gestione delle “reazioni”
 - Algoritmi tipici di “regolazione”

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”
- Sistema nervoso **periferico**
 - Controllo specifico dei singoli azionamenti
 - Gestione delle “reazioni”
 - Algoritmi tipici di “regolazione”
- Sistema nervoso **centrale**

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”
- Sistema nervoso **periferico**
 - Controllo specifico dei singoli azionamenti
 - Gestione delle “reazioni”
 - Algoritmi tipici di “regolazione”
- Sistema nervoso **centrale**
 - Gestione del comportamento e pianificazione delle azioni

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”
- Sistema nervoso **periferico**
 - Controllo specifico dei singoli azionamenti
 - Gestione delle “reazioni”
 - Algoritmi tipici di “regolazione”
- Sistema nervoso **centrale**
 - Gestione del comportamento e pianificazione delle azioni
 - Algoritmi “decisionali”

Il “Cervello” di un robot

- Molteplici problematiche software e a diversi “livelli”
- Sistema nervoso **periferico**
 - Controllo specifico dei singoli azionamenti
 - Gestione delle “reazioni”
 - Algoritmi tipici di “regolazione”
- Sistema nervoso **centrale**
 - Gestione del comportamento e pianificazione delle azioni
 - Algoritmi “decisionali”
 - Meccanismi di planning e/o inferenza basati su tecniche di AI

Il Problema del “Controllo”

Che significa “controllare”?

Che significa “controllare”?

- Nei sistemi fisici, effettuare un’azione **non implica** la sua persistenza!

Che significa “controllare”?

- Nei sistemi fisici, effettuare un’azione **non implica** la sua persistenza!
- Esempio: **percorrere un rettilineo in auto richiede che lo sterzo sia “dritto”**

Che significa “controllare”?

- Nei sistemi fisici, effettuare un’azione **non implica** la sua persistenza!
- Esempio: **percorrere un rettilineo in auto richiede che lo sterzo sia “dritto”**
- Impostare lo sterzo e non **toccarlo più, è sufficiente** per assicurare un percorso corretto?

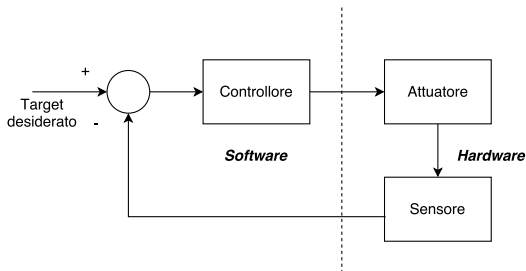
Che significa “controllare”?

- Nei sistemi fisici, effettuare un’azione **non implica** la sua persistenza!
- Esempio: **percorrere un rettilineo in auto richiede che lo sterzo sia “dritto”**
- Impostare lo sterzo e non **toccarlo più, è sufficiente** per assicurare un percorso corretto?
- **No!** Noi **verifichiamo (controlliamo)** continuamente la nostra “consegna” (percorso rettilineo) e “aggiustiamo” lo sterzo sulla base di **errori**

Il Problema del “Controllo”

Il principio dei **sistemi di controllo**

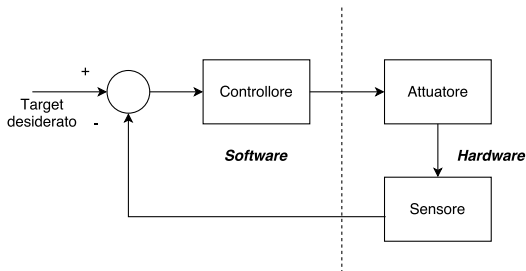
- Data una grandezza fisica da **controllare** (velocita', posizione, etc.) tramite un certo **attuatore**
- Posto che sia presente un **sensore** in grado di misurare la grandezza effettiva



Il Problema del “Controllo”

Il principio dei **sistemi di controllo**

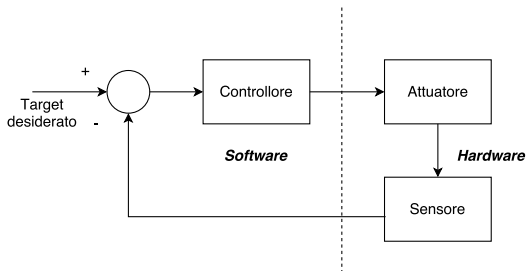
- Data una grandezza fisica da **controllare** (velocita', posizione, etc.) tramite un certo **attuatore**
- Posto che sia presente un **sensore** in grado di misurare la grandezza effettiva
 - 1 **Acquisisci** il dato sulla grandezza effettiva tramite il **sensore**



Il Problema del “Controllo”

Il principio dei **sistemi di controllo**

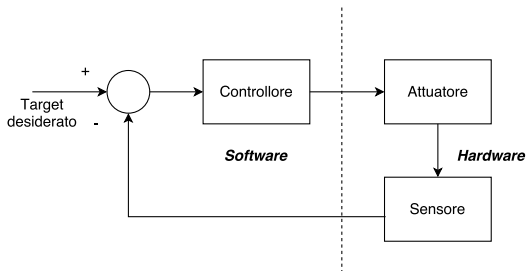
- Data una grandezza fisica da **controllare** (velocita', posizione, etc.) tramite un certo **attuatore**
- Posto che sia presente un **sensore** in grado di misurare la grandezza effettiva
 - 1 **Acquisisci** il dato sulla grandezza effettiva tramite il **sensore**
 - 2 **Confronta** il valore **effettivo** con il valore **desiderato**



Il Problema del “Controllo”

Il principio dei **sistemi di controllo**

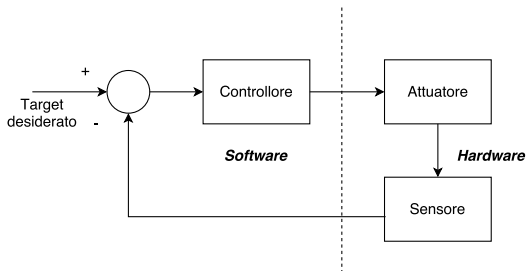
- Data una grandezza fisica da **controllare** (velocita', posizione, etc.) tramite un certo **attuatore**
- Posto che sia presente un **sensore** in grado di misurare la grandezza effettiva
 - 1 **Acquisisci** il dato sulla grandezza effettiva tramite il **sensore**
 - 2 **Confronta** il valore **effettivo** con il valore **desiderato**
 - 3 Sulla base dell'**errore**, **pilota** l'**attuatore** opportunamente



Il Problema del “Controllo”

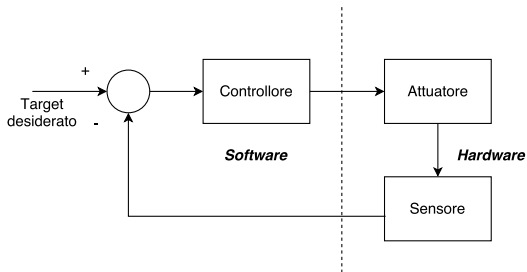
Il principio dei **sistemi di controllo**

- Data una grandezza fisica da **controllare** (velocita', posizione, etc.) tramite un certo **attuatore**
- Posto che sia presente un **sensore** in grado di misurare la grandezza effettiva
 - 1 **Acquisisci** il dato sulla grandezza effettiva tramite il **sensore**
 - 2 **Confronta** il valore **effettivo** con il valore **desiderato**
 - 3 Sulla base dell'**errore**, **pilota** l'**attuatore** opportunamente
- Modello di controllo basato sul **feedback**



Il Problema del “Controllo”

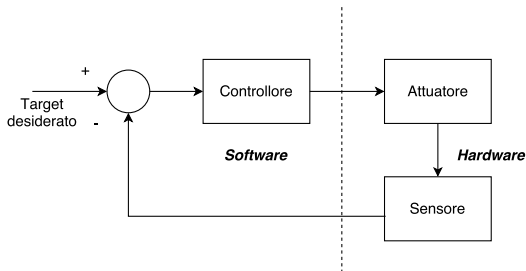
Azionamenti e “control loops”



Il Problema del “Controllo”

Azionamenti e “control loops”

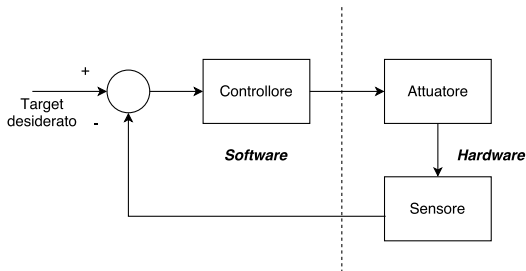
- Ogni azionamento è caratterizzato da (almeno) due **loop di controllo**



Il Problema del “Controllo”

Azionamenti e “control loops”

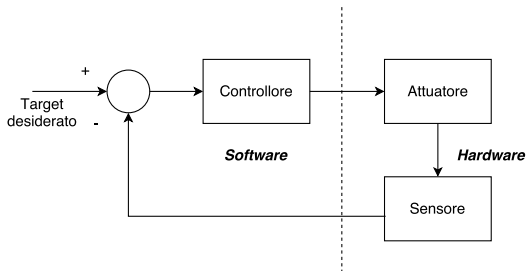
- Ogni azionamento è caratterizzato da (almeno) due **loop di controllo**
 - **velocità**



Il Problema del “Controllo”

Azionamenti e “control loops”

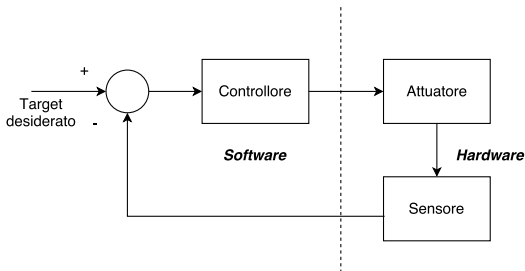
- Ogni azionamento è caratterizzato da (almeno) due **loop di controllo**
 - velocità
 - posizione



Il Problema del “Controllo”

Azionamenti e “control loops”

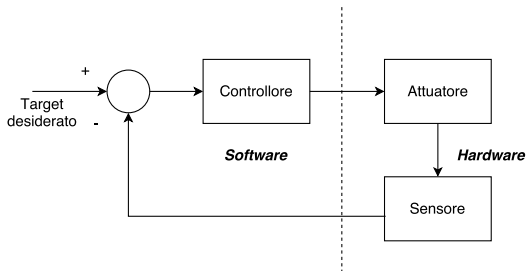
- Ogni azionamento è caratterizzato da (almeno) due **loop di controllo**
 - **velocità**
 - **posizione**
- I loop (o blocchi) di controllo sono connessi **in cascata**



Il Problema del “Controllo”

Azionamenti e “control loops”

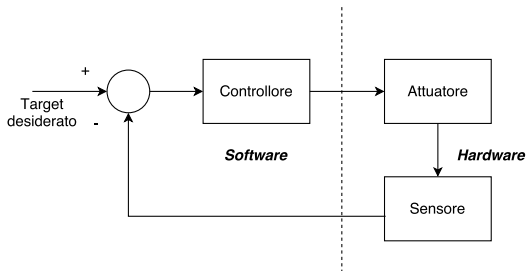
- Ogni azionamento è caratterizzato da (almeno) due **loop di controllo**
 - **velocità**
 - **posizione**
- I loop (o blocchi) di controllo sono connessi **in cascata**
- Il software di “basso livello” di un robot contiene una **moltitudine** di **blocchi di controllo**



Il Problema del “Controllo”

Azionamenti e “control loops”

- Ogni azionamento è caratterizzato da (almeno) due **loop di controllo**
 - **velocità**
 - **posizione**
- I loop (o blocchi) di controllo sono connessi **in cascata**
- Il software di “basso livello” di un robot contiene una **moltitudine** di **blocchi di controllo**
- In un drone, in navigazione GPS, ne operano ben 12 (almeno!)



Il Problema del “Controllo”

Algoritmo di Controllo

while *True* **do**

 On each ΔT ;

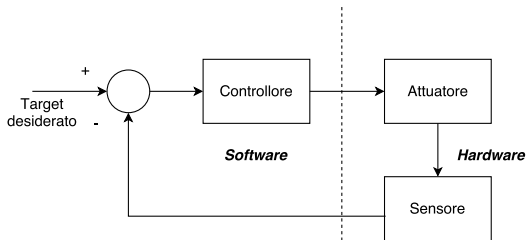
$s \leftarrow \text{read_sensor_value}()$;

$\text{error} \leftarrow \text{target} - s$;

$a \leftarrow \text{controller}(\text{error})$;

$\text{drive_actuator}(a)$;

end



Il Problema del “Planning”

Dal “Controllo” alla “Pianificazione”

Il Problema del “Planning”

Dal “Controllo” alla “Pianificazione”

- Dato per certo che gli algoritmi di controllo ci assicurano determinati **azionamenti**

Il Problema del “Planning”

Dal “Controllo” alla “Pianificazione”

- Dato per certo che gli algoritmi di controllo ci assicurano determinati **azionamenti**
- Il **planning** permette di combinare tali azionamenti (o movimenti) secondo un **obiettivo strategico** ben preciso

Il Problema del “Planning”

Dal “Controllo” alla “Pianificazione”

- Dato per certo che gli algoritmi di controllo ci assicurano determinati **azionamenti**
- Il **planning** permette di combinare tali azionamenti (o movimenti) secondo un **obiettivo strategico** ben preciso
- Esempio: **Gestione del moto di un robot**

Il Problema del “Planning”

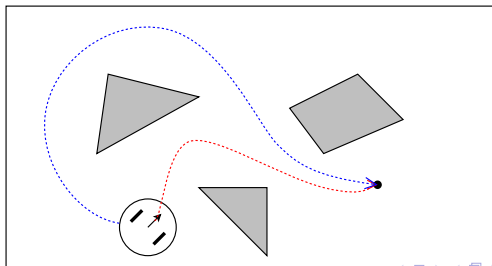
Dal “Controllo” alla “Pianificazione”

- Dato per certo che gli algoritmi di controllo ci assicurano determinati **azionamenti**
- Il **planning** permette di combinare tali azionamenti (o movimenti) secondo un **obiettivo strategico** ben preciso
- Esempio: **Gestione del moto di un robot**
 - **controllo**: azioni semplici di movimento come *vai dritto*, *ruota*, etc.

Il Problema del “Planning”

Dal “Controllo” alla “Pianificazione”

- Dato per certo che gli algoritmi di controllo ci assicurano determinati **azionamenti**
- Il **planning** permette di combinare tali azionamenti (o movimenti) secondo un **obiettivo strategico** ben preciso
- Esempio: **Gestione del moto di un robot**
 - **controllo**: azioni semplici di movimento come *vai dritto*, *ruota*, etc.
 - **planning**: individuazione del percorso da seguire all'interno di un ambiente più o meno complesso



Problema 1

Problema 1

- Siano date diverse azioni $A_1, A_2, \dots, A_n$, determinare (a run-time) il **piano ottimale** $P = \{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_n}\}$ per raggiungere un determinato goal G

Problema 1

- Siano date diverse azioni $A_1, A_2, \dots, A_n$, determinare (a run-time) il **piano ottimale** $P = \{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_n}\}$ per raggiungere un determinato goal G
- Esempio: date le azioni di movimento, determinare la sequenza ottimale per effettuare un certo percorso

Problema 1

- Siano date diverse azioni $A_1, A_2, \dots, A_n$, determinare (a run-time) il **piano ottimale** $P = \{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_n}\}$ per raggiungere un determinato goal G
- Esempio: date le azioni di movimento, determinare la sequenza ottimale per effettuare un certo percorso

Problema 2

Problema 1

- Siano date diverse azioni $A_1, A_2, \dots, A_n$, determinare (a run-time) il **piano ottimale** $P = \{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_n}\}$ per raggiungere un determinato **goal** G
- Esempio: date le azioni di movimento, determinare la sequenza ottimale per effettuare un certo percorso

Problema 2

- Siano dati diversi piani $P_1, P_2, \dots, P_n$, ognuno con differenti azioni ma tutti in grado di raggiungere un determinato **goal** G , determinare (a run-time) il **piano ottimale** P_k

Problema 1

- Siano date diverse azioni $A_1, A_2, \dots, A_n$, determinare (a run-time) il **piano ottimale** $P = \{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_n}\}$ per raggiungere un determinato goal G
- Esempio: date le azioni di movimento, determinare la sequenza ottimale per effettuare un certo percorso

Problema 2

- Siano dati diversi piani $P_1, P_2, \dots, P_n$, ognuno con differenti azioni ma tutti in grado di raggiungere un determinato **goal** G , determinare (a run-time) il **piano ottimale** P_k
- Esempio: dati diversi percorsi per raggiungere uno stesso punto, determinare quello ottimale

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole?**

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole**?

- Ogni **scelta** (sia essa un'**azione** o un **piano**), è caratterizzata da:

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole**?

- Ogni **scelta** (sia essa un'**azione** o un **piano**), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole**?

- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)
 - La **fattibilità** (*feasibility* o *pre-condition*)

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una scelta consapevole?

- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'obiettivo finale (*goal* o *post-condition*)
 - La fattibilità (*feasibility* o *pre-condition*)
 - Il costo/opportunità

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole**?

- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)
 - La **fattibilità** (*feasibility* o *pre-condition*)
 - Il **costo/opportunità**
- Esempio, dati n possibili percorsi:

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole**?

- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)
 - La **fattibilità** (*feasibility* o *pre-condition*)
 - Il **costo/opportunità**
- Esempio, dati n possibili percorsi:
 - **Obiettivo**: **punto da raggiungere**

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una scelta consapevole?

- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)
 - La **fattibilità** (*feasibility* o *pre-condition*)
 - Il **costo/opportunità**
- Esempio, dati n possibili percorsi:
 - **Obiettivo**: punto da raggiungere
 - **Fattibilità**: assenza di ostacoli

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una scelta consapevole?

- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)
 - La **fattibilità** (*feasibility* o *pre-condition*)
 - Il **costo/opportunità**
- Esempio, dati n possibili percorsi:
 - **Obiettivo**: punto da raggiungere
 - **Fattibilità**: assenza di ostacoli
 - **Costo**: lunghezza o durata, o una combinazione di essi

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole**?

- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)
 - La **fattibilità** (*feasibility* o *pre-condition*)
 - Il **costo/opportunità**
- Esempio, dati n possibili percorsi:
 - **Obiettivo**: **punto da raggiungere**
 - **Fattibilità**: **assenza di ostacoli**
 - **Costo**: **lunghezza** o **durata**, o una combinazione di essi
- Tali fattori possono essere:

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole**?

- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)
 - La **fattibilità** (*feasibility* o *pre-condition*)
 - Il **costo/opportunità**
- Esempio, dati n possibili percorsi:
 - **Obiettivo**: **punto da raggiungere**
 - **Fattibilità**: **assenza di ostacoli**
 - **Costo**: **lunghezza** o **durata**, o una combinazione di essi
- Tali fattori possono essere:
 - Stabiliti staticamente a **design-time**

Come può un **Sistema Automatico** effettuare una **scelta consapevole**?

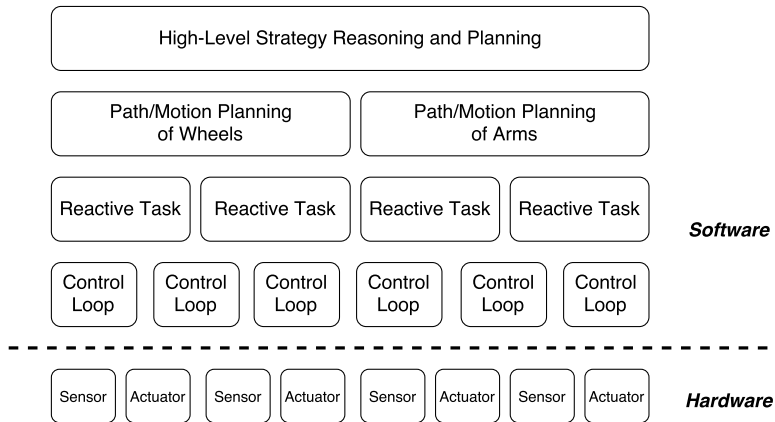
- Ogni **scelta** (sia essa un'azione o un piano), è caratterizzata da:
 - L'**obiettivo finale** (*goal* o *post-condition*)
 - La **fattibilità** (*feasibility* o *pre-condition*)
 - Il **costo/opportunità**
- Esempio, dati n possibili percorsi:
 - **Obiettivo**: **punto da raggiungere**
 - **Fattibilità**: **assenza di ostacoli**
 - **Costo**: **lunghezza** o **durata**, o una combinazione di essi
- Tali fattori possono essere:
 - Stabiliti staticamente a **design-time**
 - Determinati a **run-time** sulla base dello stato dell'ambiente (catturato dai sensori)

Il “Tipico” Planning Automatico

Algoritmo di Planning

```
foreach  $g \in GOAL\_SET$  do  
   $applicable\_plans \leftarrow \{p \in g.plans \mid is\_feasible(p)\};$   
   $p \leftarrow find\_best(applicable\_plans);$   
   $execute(p);$   
  if  $succeeded(p)$  then  
     $g \leftarrow g - p;$   
    // Remove plan from goal  
    if  $no\_plans(g)$  then  
       $GOAL\_SET \leftarrow GOAL\_SET - g;$   
      // Remove goal from goalset  
    end  
  end  
end
```

Software Layers of an Autonomous Robot



Introduzione alla Robotica

Corrado Santoro

ARSLAB - Autonomous and Robotic Systems Laboratory

Dipartimento di Matematica e Informatica - Università di Catania, Italy

`santoro@dmi.unict.it`