

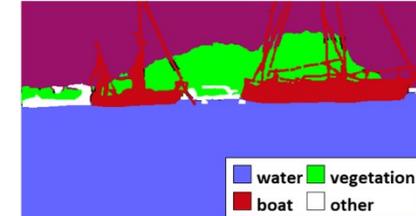
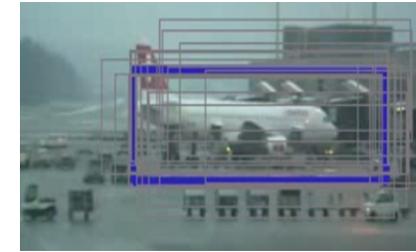


UNIVERSITÀ  
di **VERONA**

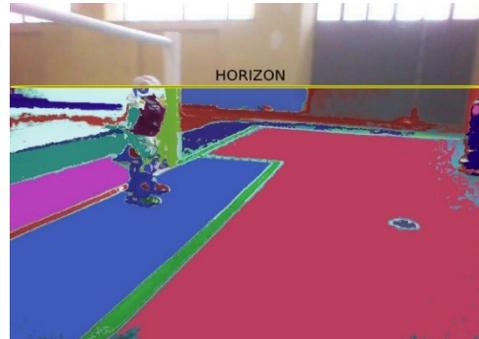
Dipartimento  
di **INFORMATICA**

*Corso di Laboratorio Ciberfisico*  
*Modulo di Robot Programming with ROS*

# Robot mobili su ruote



Docente:  
**Domenico Daniele  
Bloisi**



Marzo 2018

# Manipolatori vs robot mobili

---

- I bracci robotici sono ancorati al terreno e hanno, di solito, un'unica catena di giunti
- Il workspace di un manipolatore definisce il range (relativamente al punto di ancoraggio) delle possibili posizioni che possono essere raggiunte dagli end-effector del robot



<https://www.youtube.com/watch?v=sWgvlAkfqXQ>

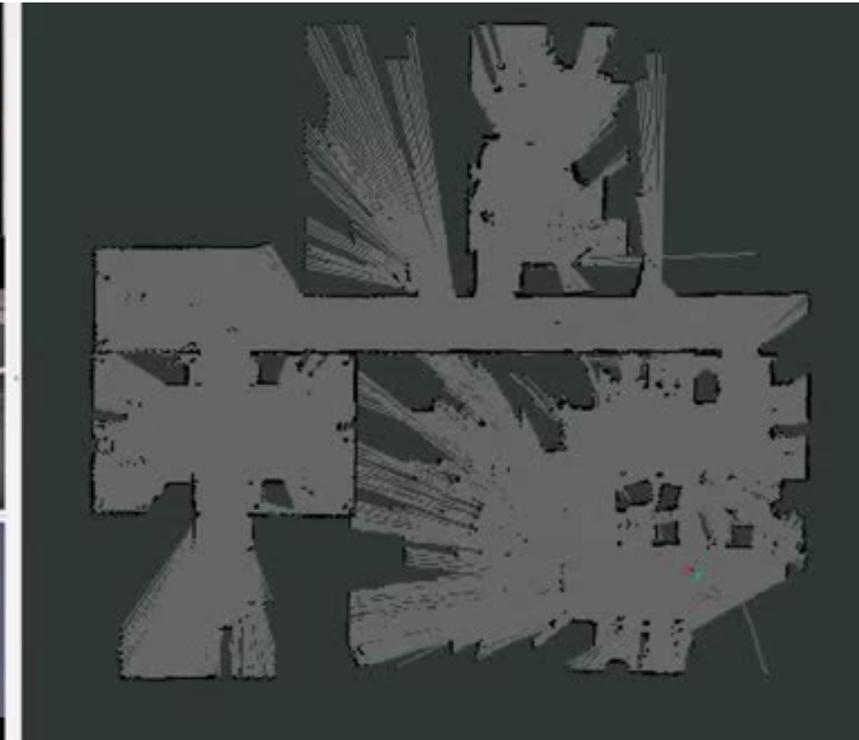
# Manipolatore - Position estimation

---

- Un manipolatore ha un'estremità ancorata ad un punto dell'ambiente
- Misurare la posizione dell'end-effector di un braccio richiede unicamente di conoscere la cinematica del robot e di misurare la posizione dei giunti intermedi
- La posizione di un manipolatore è sempre calcolabile avendo a disposizione i dati dei sensori

# Robot mobili

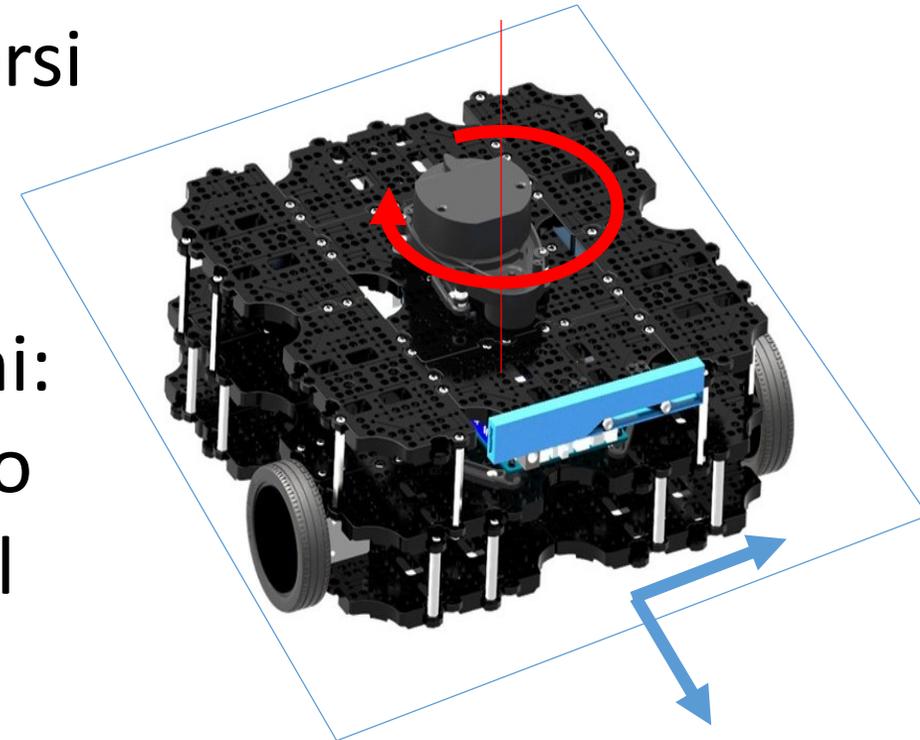
- Il movimento di un robot mobile può essere definito attraverso i vincoli di **rotolamento** e **scivolamento** che agiscono al punto di contatto tra ruota e terreno
- Il workspace di un robot mobile definisce il range delle possibili **pose** che il robot può raggiungere nell'ambiente operativo



<https://www.youtube.com/watch?v=E8OKp31eMpE>

# Modello del robot mobile

- Il nostro robot verrà modellato come un corpo rigido su ruote, in grado di muoversi su un piano orizzontale
- Il modello semplificato avrà 3 dimensioni:
  - 2 per descrivere la posizione nel piano
  - 1 per rappresentare l'orientazione del robot lungo l'asse verticale (che è ortogonale al piano su cui avviene il movimento)



# Robot mobile - Position estimation

---

- Un robot mobile è un sistema auto-contenuto che si muove interamente rispetto all'ambiente (**non ci sono punti fissi di contatto**)
- **Non c'è un modo diretto** di misurare la posizione del robot mobile istantaneamente
- E' possibile integrare il movimento del robot al passare del tempo, ottenendo una **stima** del movimento

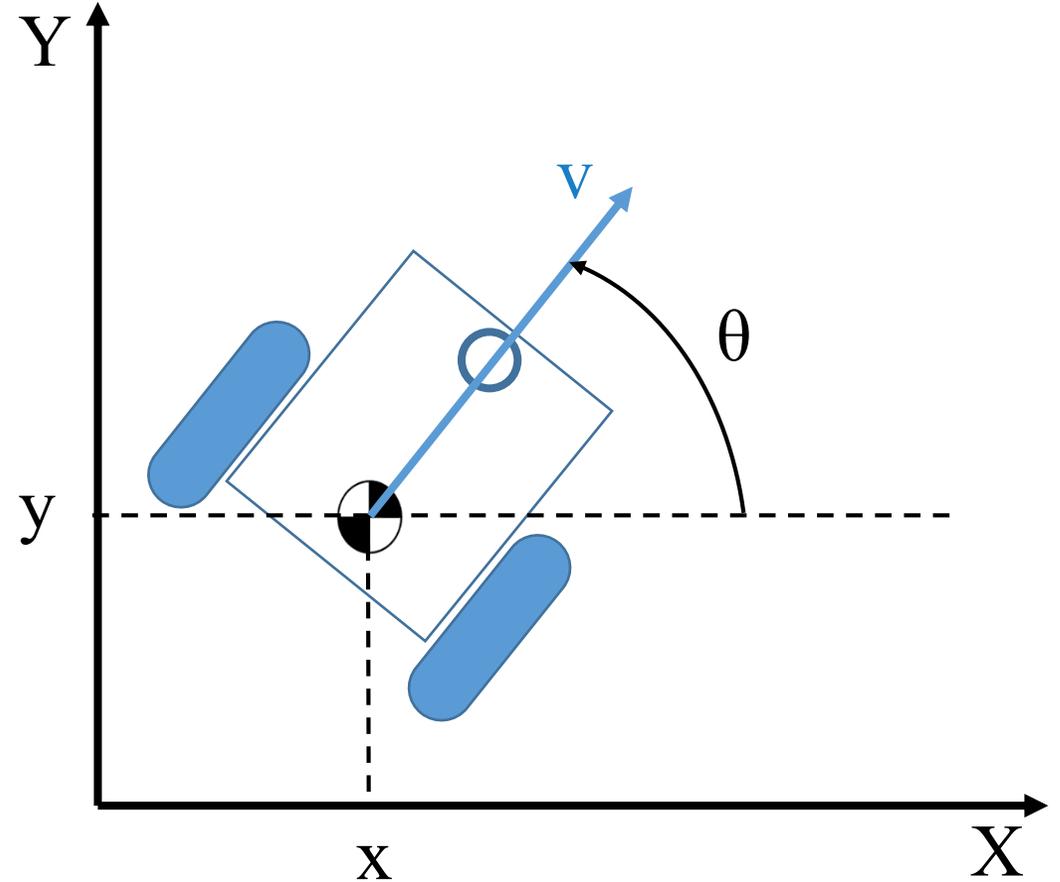
# Cinematica

---

- La cinematica studia gli aspetti geometrici e temporali del moto delle strutture robotiche, senza riferimento alle cause che lo provocano
- La *cinematica diretta* è una trasformazione dallo spazio dei giunti allo spazio fisico
- La *cinematica inversa* è una trasformazione dallo spazio fisico allo spazio dei giunti. E' necessaria per controllare il movimento del robot

# Robot pose

- La *robot pose* è definita come la posizione del robot e la sua orientazione in un dato sistema di riferimento
- Per un robot mobile che si muove su un piano, la *pose* è definita dalla tripla  $[x, y, \theta]$



# Costruzione del modello cinematico

---

- Derivare il modello cinematico per un robot mobile è un **processo bottom-up**
- Ogni ruota contribuisce individualmente al movimento del robot e, al tempo stesso, impone dei vincoli al movimento
- Poiché le ruote sono collegate tra loro in base alla geometria della scocca, i vincoli posti dalla singola ruota si combinano per formare vincoli che si applicano all'intero sistema

# Limitazioni

---

- Il movimento di un robot mobile è limitato dalla **dinamica**
- Per esempio, ad alte velocità, un centro di massa molto alto limita il raggio di curvatura (può esserci pericolo di cappottamento)



<https://www.youtube.com/watch?v=0iui1ACWw-c>

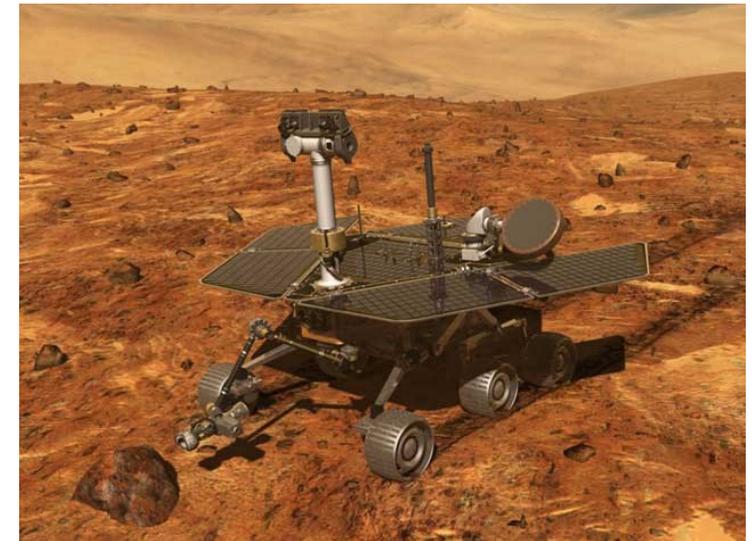
# Locomozione e Manipolazione

---

Nella **manipolazione**, il **braccio robotico è fisso** e muove gli oggetti nello spazio di lavoro (*workspace*) impartendo loro delle forze



Nella **locomozione**, l'ambiente è fisso e il **robot si muove** impartendo forze all'ambiente



# Aspetti chiave nella locomozione

---

## Stabilità

- numero di punti di contatto
- centro di gravità
- stabilizzazione  
statica/dinamica
- inclinazione del terreno

## Tipo di ambiente

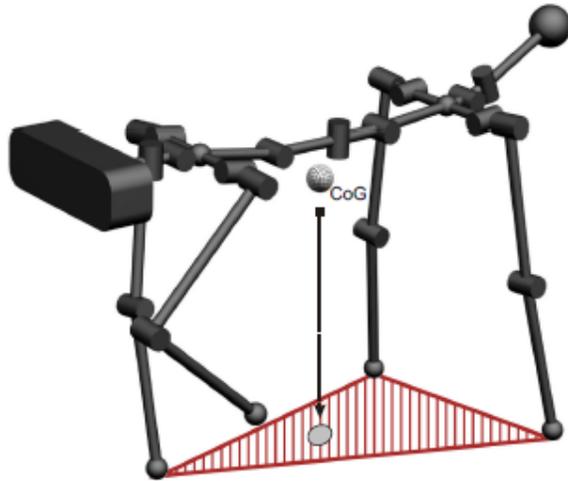
- struttura
- mezzo (acqua, aria, terreno  
soffice, terreno duro)

## Natura del contatto

- punto/area di contatto
- angolo di contatto
- attrito

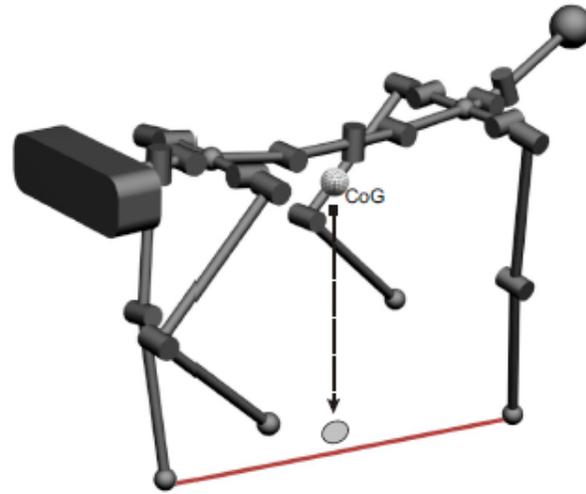
# Stabilità statica/dinamica

Almeno tre gambe in contatto con il terreno sono richieste per avere stabilità statica



## Stabilità statica

- Peso del corpo sostenuto da almeno tre gambe
- Anche in caso di blocco di tutti i giunti, il robot non cade
- Camminata lenta e sicura



## Stabilità dinamica

- Il robot cade se non rimane in continuo movimento
- Meno di tre gambe possono essere in contatto con il terreno
- Camminata veloce, ma più onerosa per gli attuatori

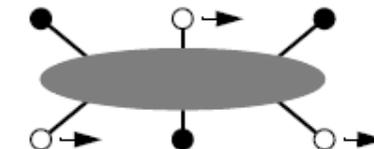
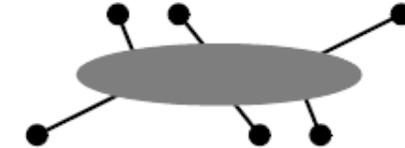
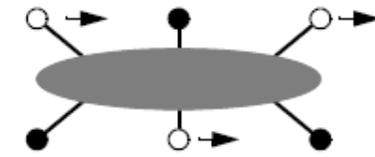
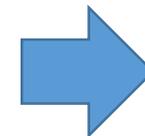
# Gait

Il gait è una sequenza di eventi di alzata e rilascio per ogni singola gamba

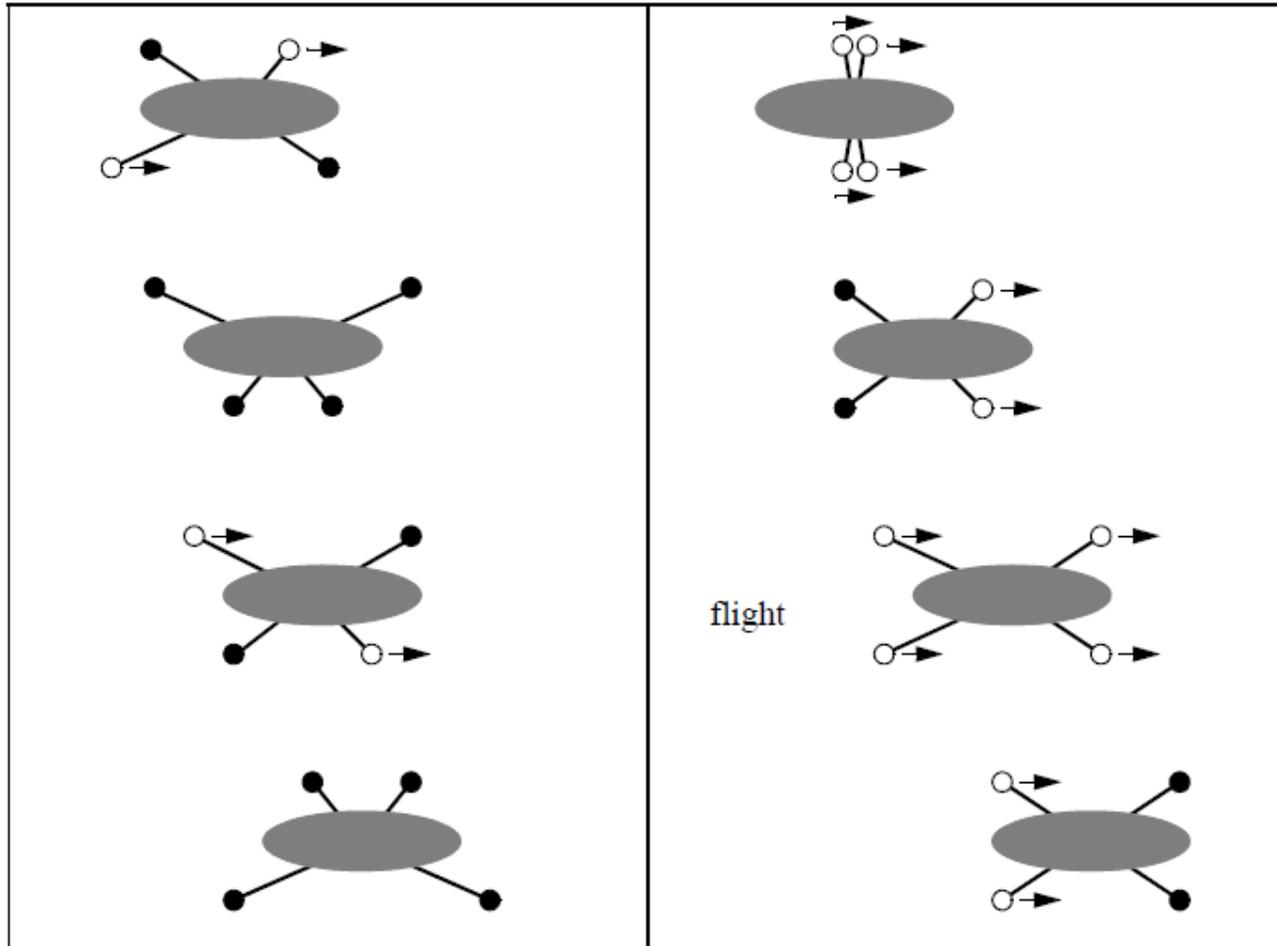
Il numero  $N$  di eventi con  $k$  gambe è:

$$N = (2k - 1)!$$

Quanti eventi per un robot  
a sei gambe?



# Gait con 4 gambe



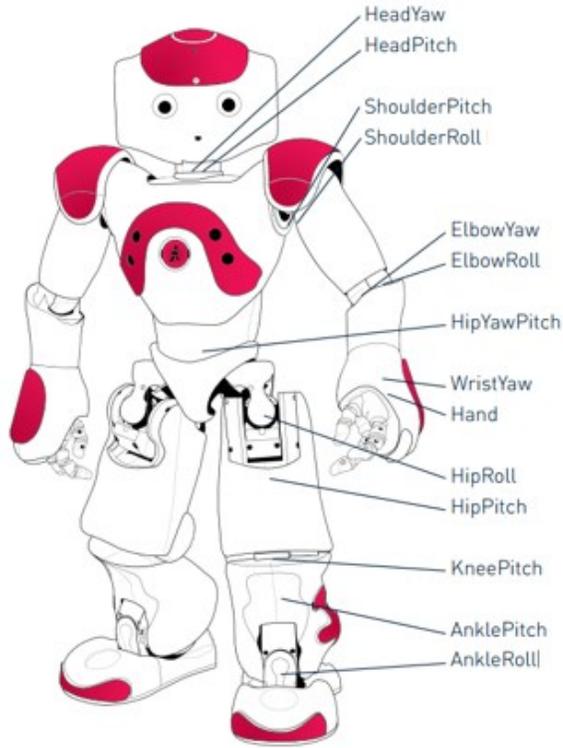
trotto

galoppo



[https://www.youtube.com/watch?v=OcD1\\_jvhc\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=OcD1_jvhc_g)

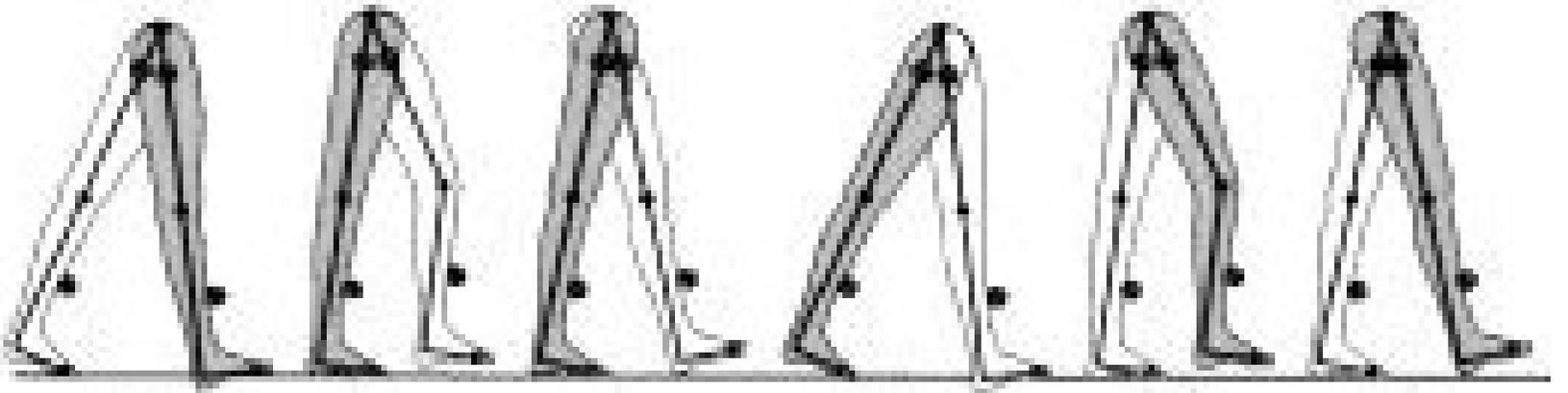
# Gait per un bipede



Numero di gambe  $k = 2$

Numero  $N$  di eventi  $N = (2 \times 2 - 1)! = 3! = 6$

Per un bipede il numero di possibili eventi è 6



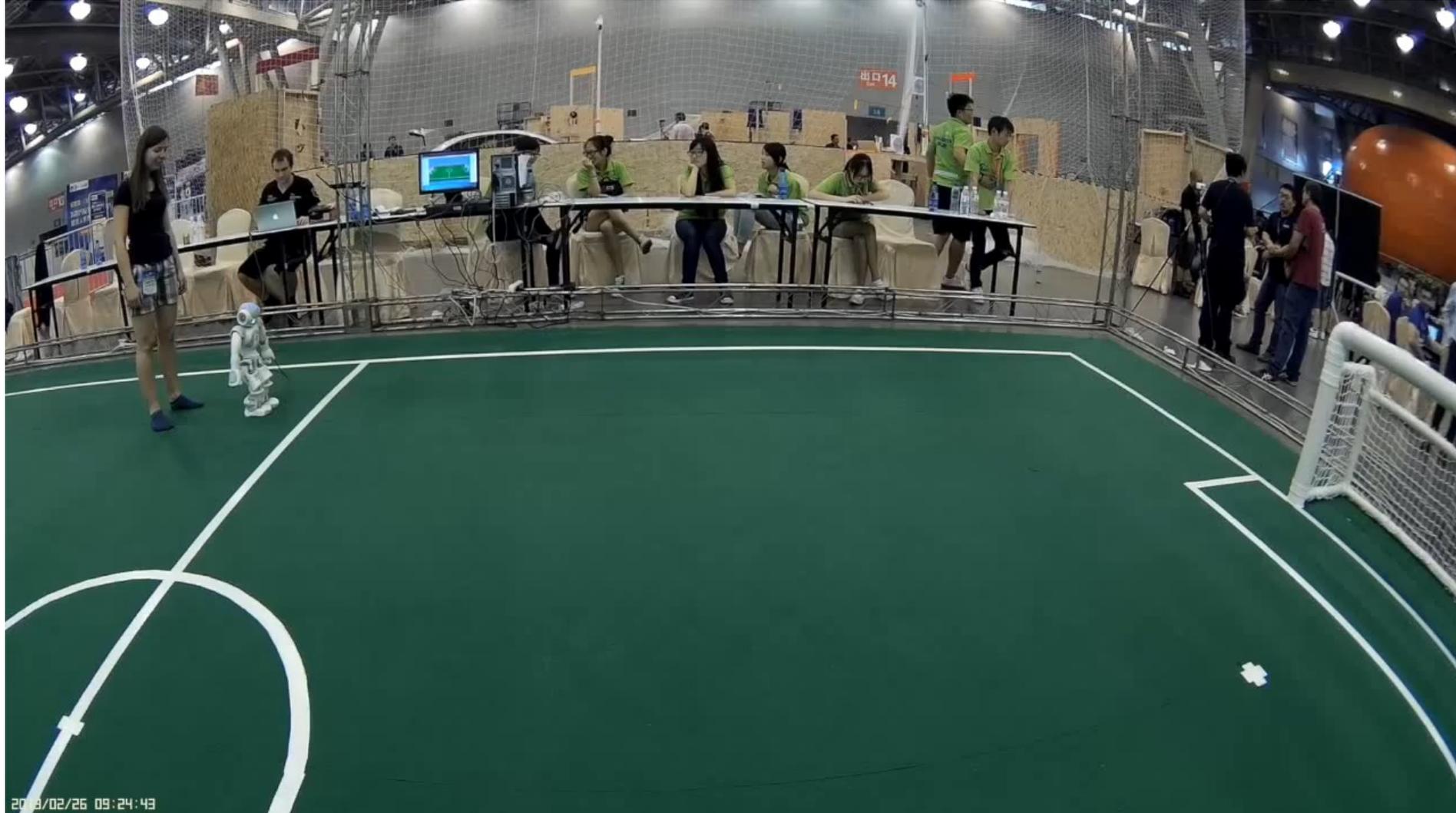
# Camminata NAO – RomeCup 2009

---



<https://www.youtube.com/watch?v=vy25hEiHn98>

# Camminata NAO – RoboCup 2015



[https://www.youtube.com/watch?v=Yfitj\\_-6Rxc](https://www.youtube.com/watch?v=Yfitj_-6Rxc)

# Robot Mobili con Ruote

---

Per la maggioranza delle applicazioni l'uso delle ruote è la soluzione migliore

- 3 ruote sono sufficienti a garantire stabilità
- Se si usano più di 3 ruote, è necessario un sistema di sospensioni per garantire che tutte le ruote siano in contatto con il terreno
- Il tipo di ruote da usare dipende dall'applicazione

# Tipi di Ruota

---

- Ruota semplice sterzante
- Ruota semplice non sterzante
- Castor
- Swedish wheel
- Sferica

# Ruote Attive e Passive

---

Le ruote possono essere attive o passive

- **Ruota attiva**  
collegata con un motore che fornisce una coppia mortice esterna
- **Ruota passiva**  
si muove per trascinamento perchè priva di coppia mortice applicata

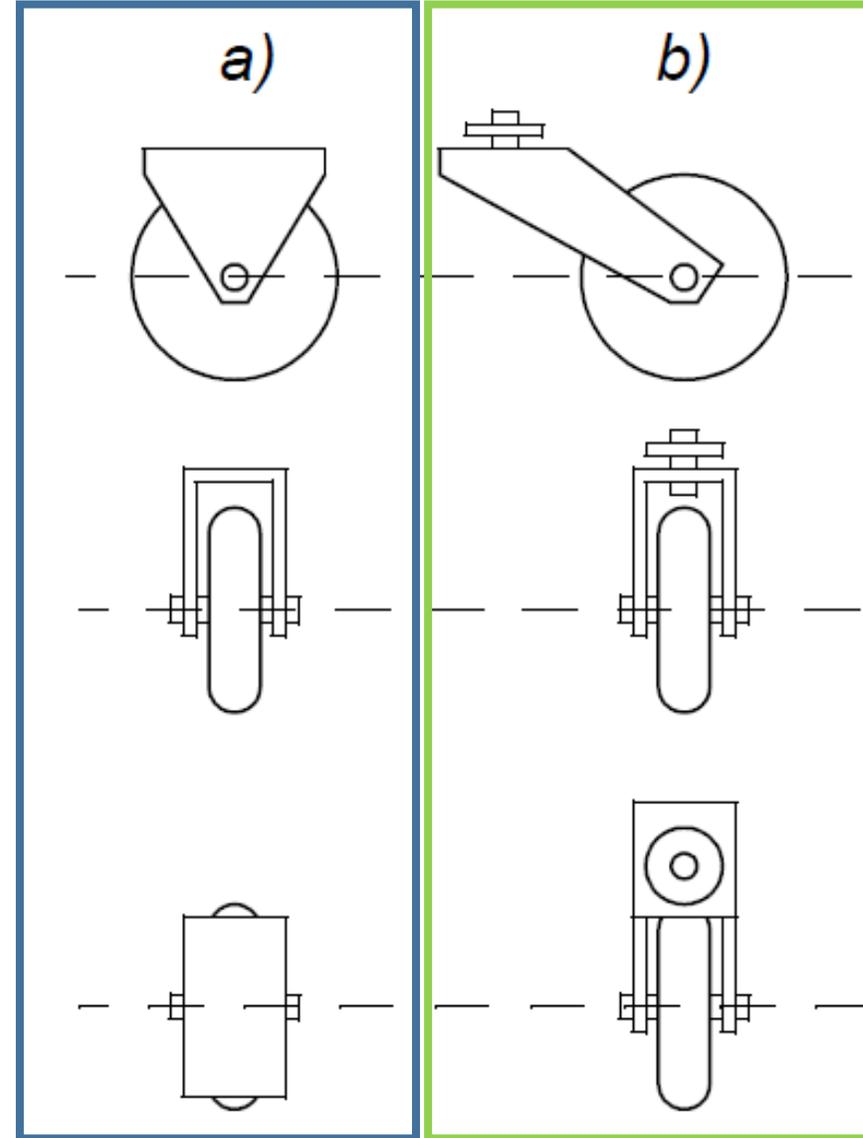
# Ruota semplice e Castor

## a) Ruota semplice

rotazione intorno all'asse della ruota e al punto di contatto

## b) Castor

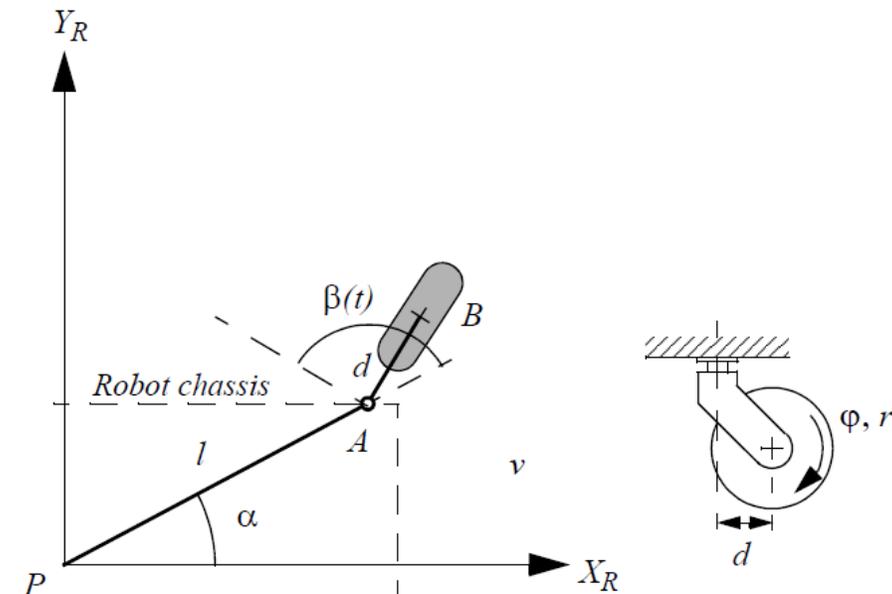
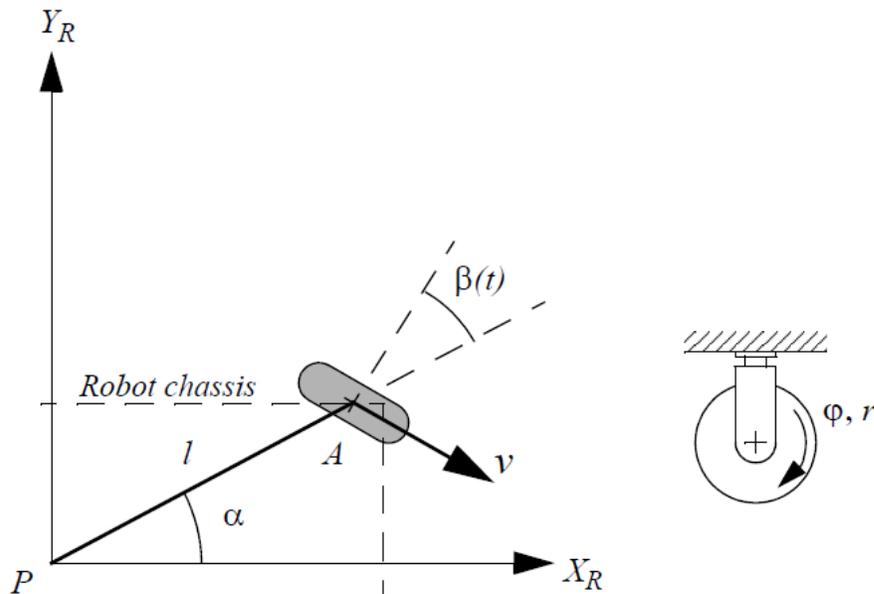
rotazione intorno al punto di contatto e all'asse del castor (offset rispetto al giunto sterzante)



# Ruota semplice vs Castor

La ruota semplice permette di direzionare il robot senza che ci sia un *side effect*, poichè il centro di rotazione passa attraverso il punto di contatto con il terreno

Il castor ruota intorno ad un asse che ha un offset, impartendo così una forza alla scocca del robot durante la sterzata



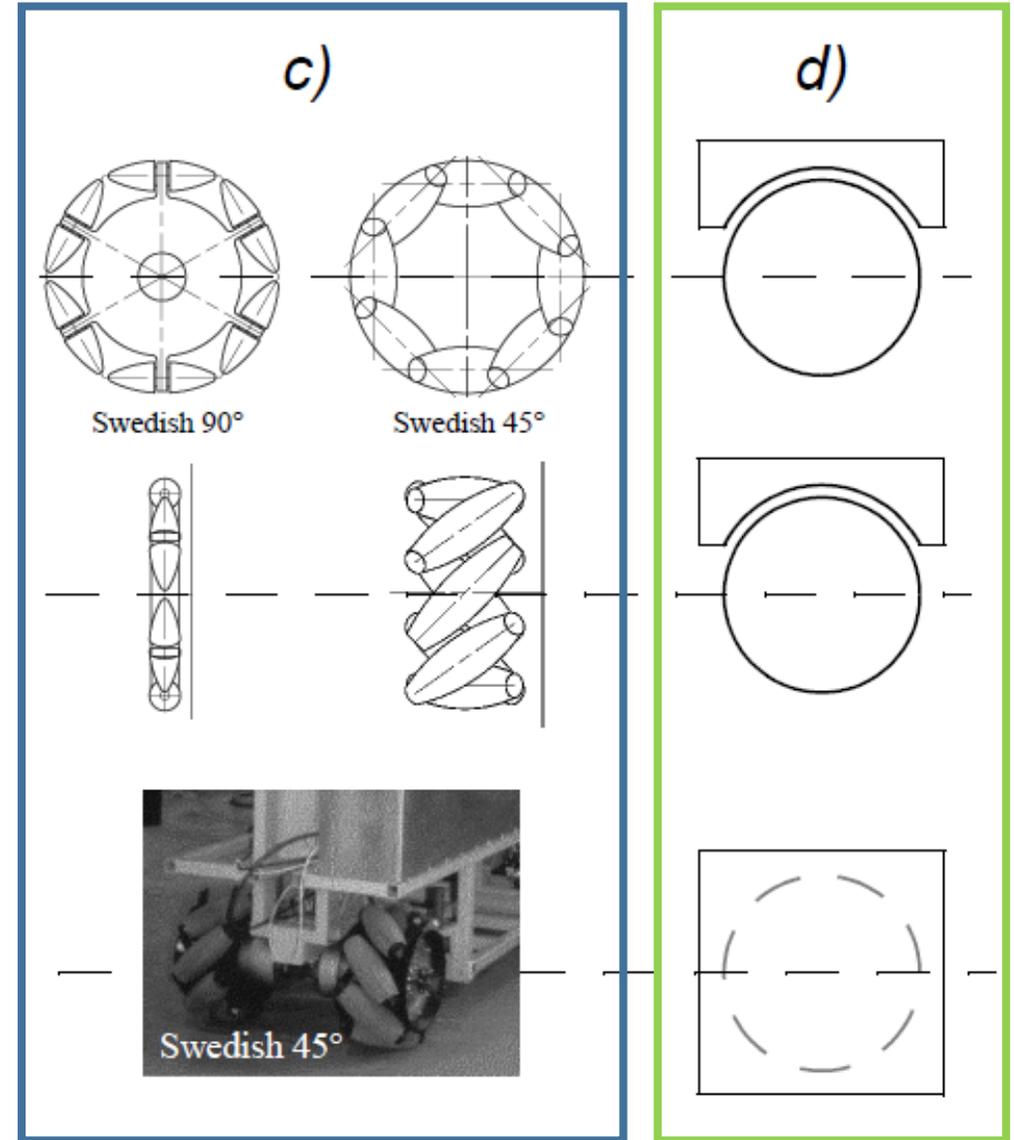
# Swedish wheel e ruota sferica

## c) Swedish wheel

rotazione intorno all'asse della ruota, ai rulli e al punto di contatto

## d) Sferica

- difficile da realizzare
- simile alla vecchia pallina del mouse



# Condizioni di stabilità statica

---

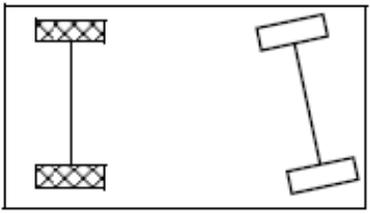
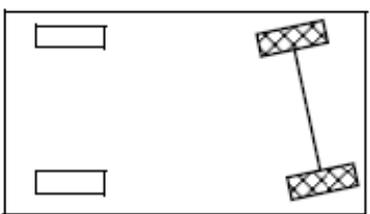
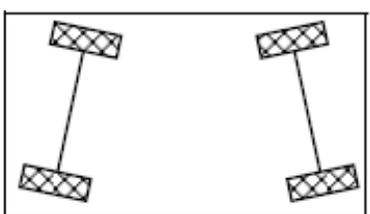
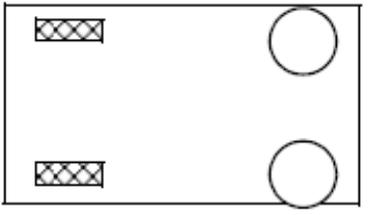
## La stabilità è garantita con 3 ruote

- a condizione che il centro di gravità sia all'interno del triangolo formato dai punti di contatto delle ruote con il terreno

## La stabilità può essere migliorata usando 4 o più ruote

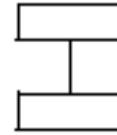
- la natura iperstatica della geometria del sistema richiede un sistema di sospensioni su terreni accidentati

# 4 ruote

	Two motorized wheels in the rear, two steered wheels in the front; steering has to be different for the two wheels to avoid slipping/skidding.
	Two motorized and steered wheels in the front, two free wheels in the rear; steering has to be different for the two wheels to avoid slipping/skidding.
	Four steered and motorized wheels
	Two traction wheels (differential) in rear/front, two omnidirectional wheels in the front/rear



ruota non motorizzata ominidirazionale (sferica, castor, swedish)

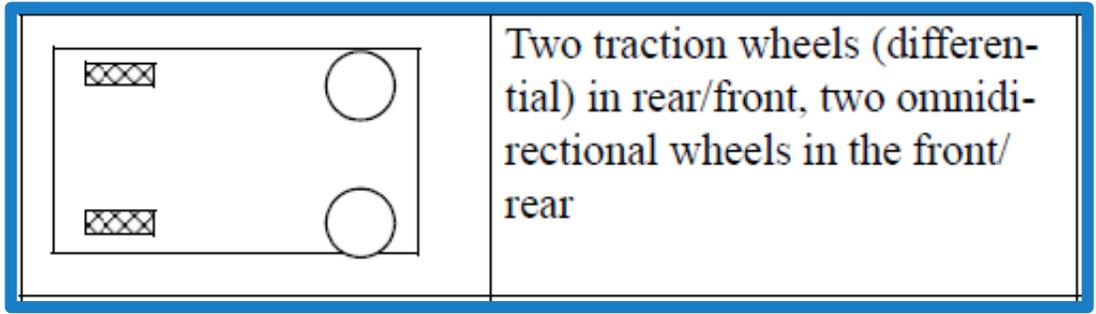
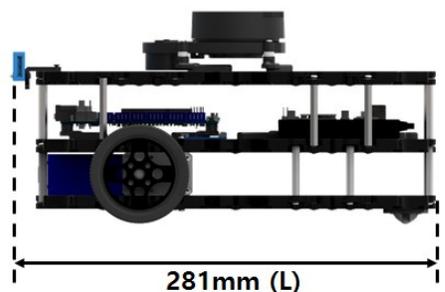
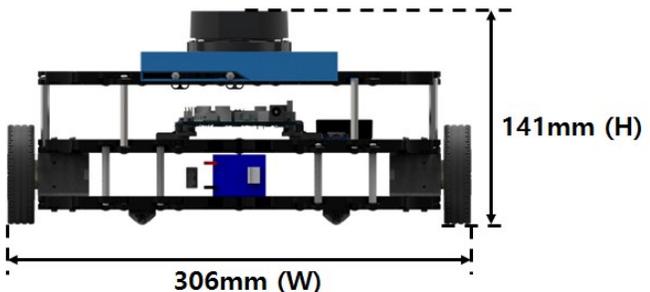
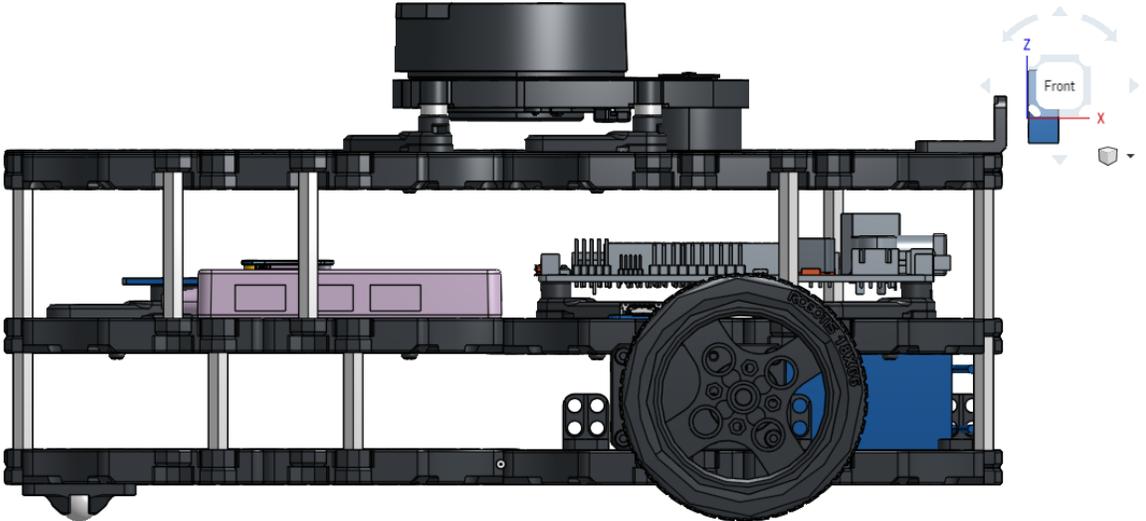
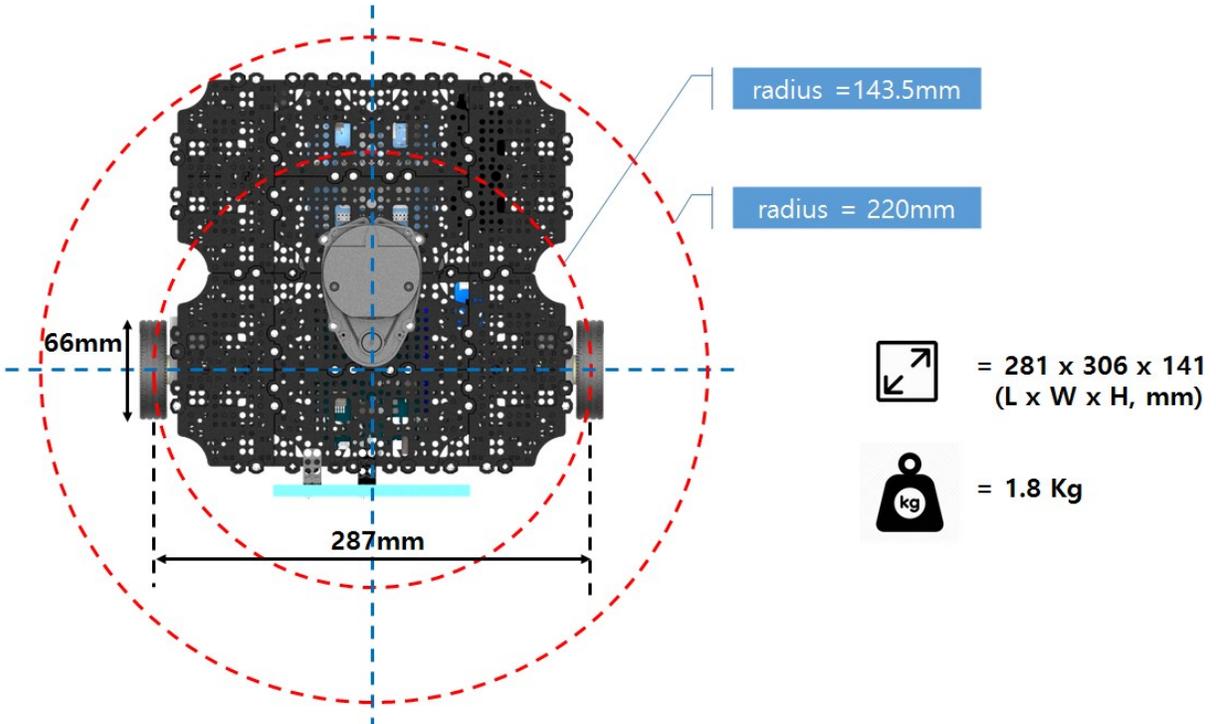


ruote connesse

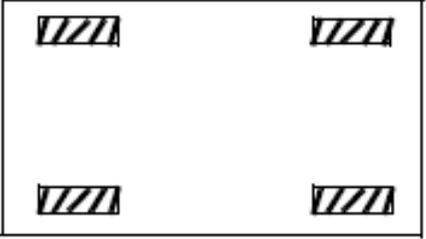
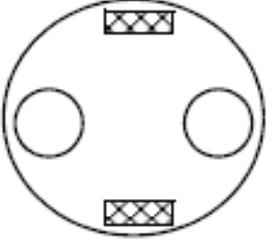
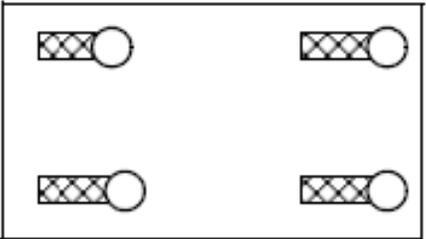


ruota semplice motorizzata

# Turtlebot 3 waffle

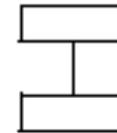


# 4 ruote

 A rectangular frame containing four hatched rectangles, one in each corner, representing omnidirectional wheels.	Four omnidirectional wheels
 A large circle containing two smaller circles on the left and right sides, and two hatched rectangles at the top and bottom, representing a two-wheel differential drive with two additional points of contact.	Two-wheel differential drive with two additional points of contact
 A rectangular frame containing four hatched rectangles, each with a small circle to its right, representing motorized and steered castor wheels.	Four motorized and steered castor wheels



ruota non motorizzata ominidirazionale (sferica, castor, swedish)

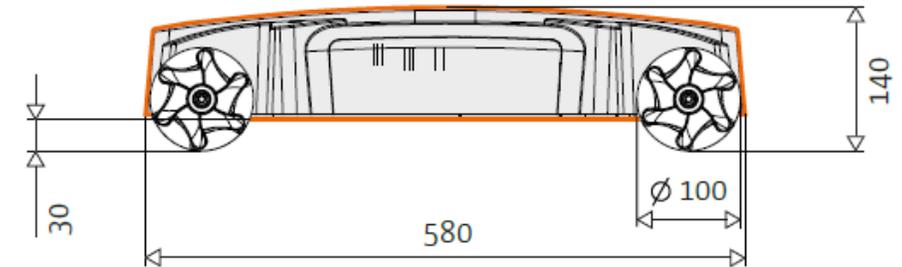
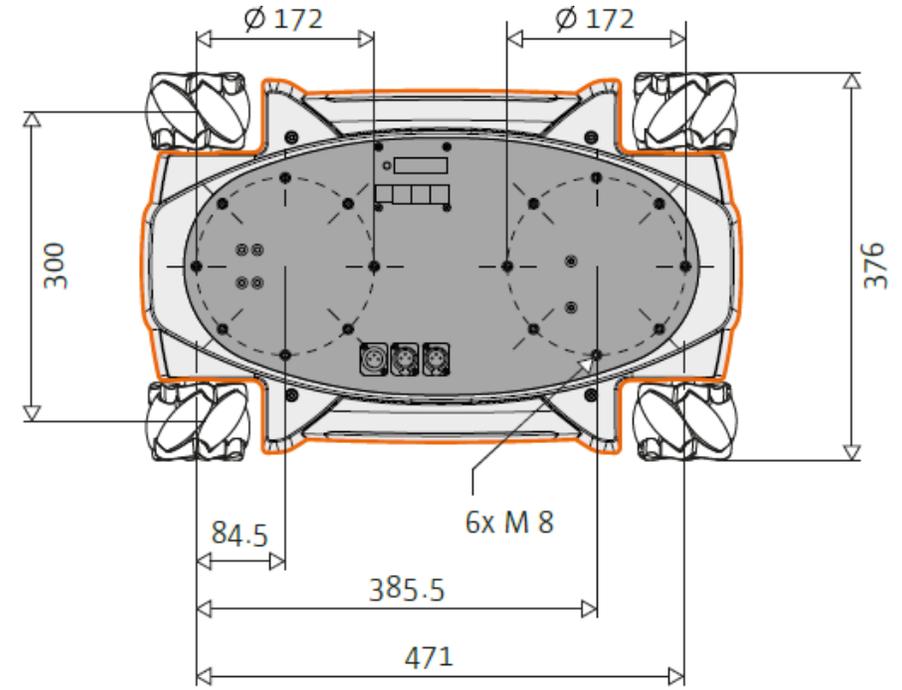


ruote connesse

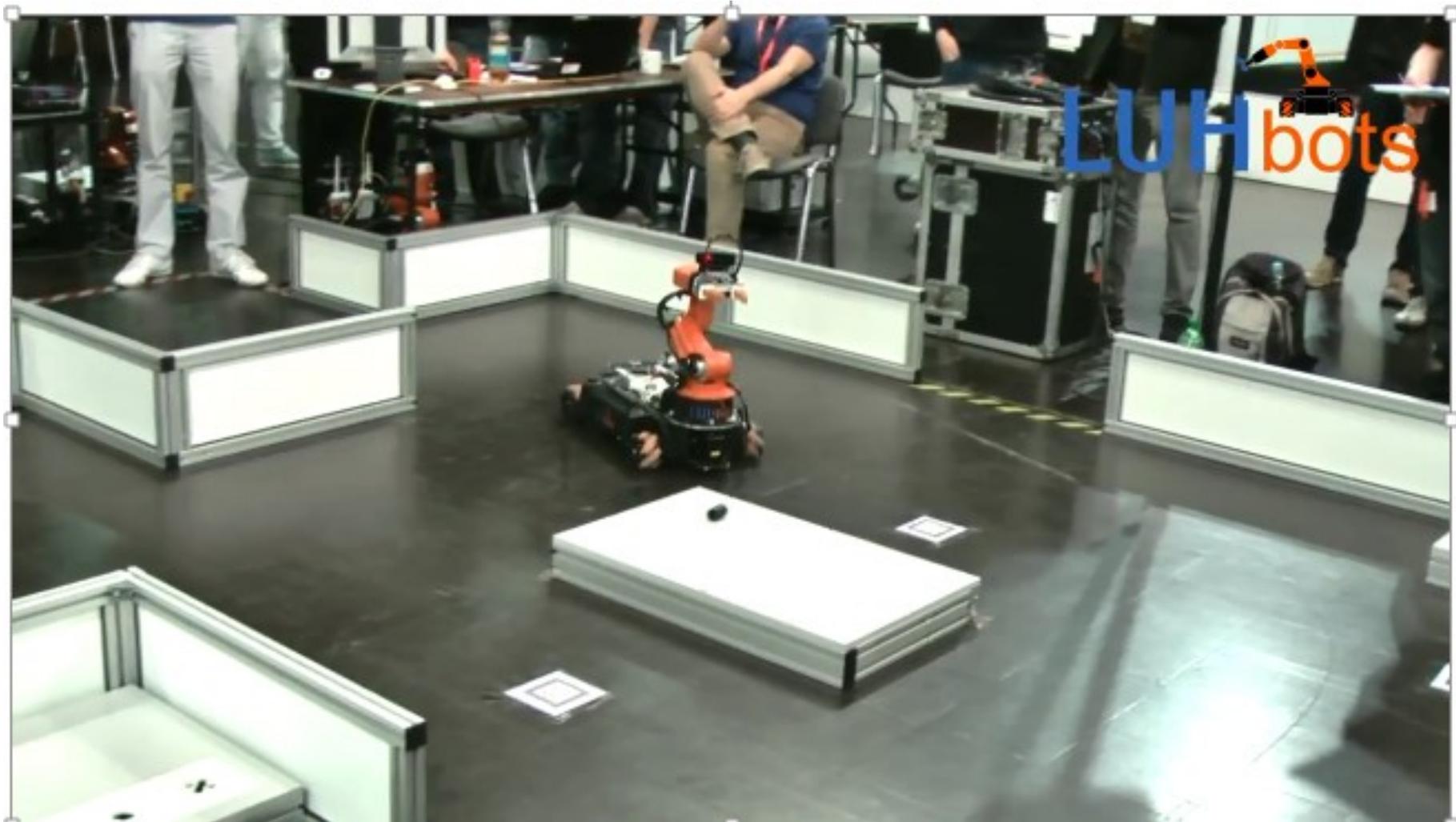


ruota semplice motorizzata

# Youbot



# Esempio Youbot



<https://www.youtube.com/watch?v=SfwCXyuxgQs>

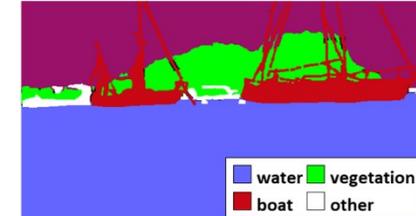
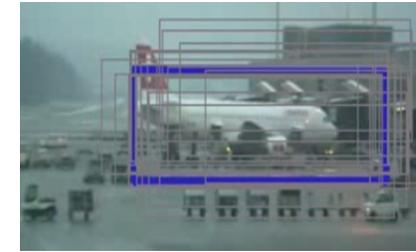


UNIVERSITÀ  
di **VERONA**

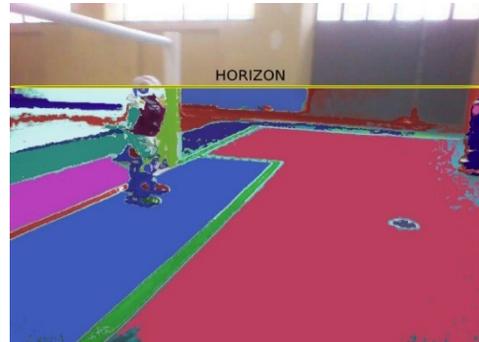
Dipartimento  
di **INFORMATICA**

*Corso di Laboratorio Ciberfisico  
Modulo di Robot Programming with ROS*

# Robot mobili su ruote



Docente:  
**Domenico Daniele  
Bloisi**



Marzo 2018

# Turtlebot 3 – Architettura del sistema

---



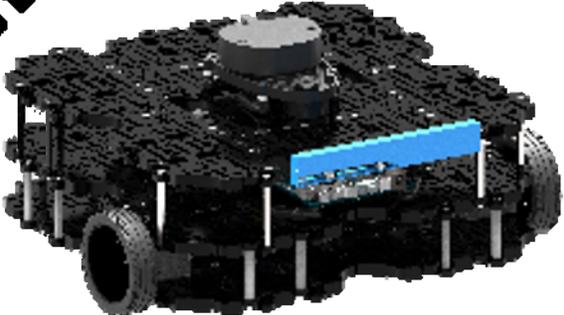
# Turtlebot 3 – teleoperation

---

Remote PC



TurtleBot



Smartphone



# Turtlebot 3 – Pc Software

---

Installare il software che girerà sul pc remoto seguendo la guida



[http://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/pc\\_setup/](http://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/pc_setup/)

Requisiti software per il pc remoto:

Remote PC



ubuntu

Ubuntu 16.04.3 LTS (Xenial Xerus)  
<http://releases.ubuntu.com/16.04>



ROS

ROS Kinetic Kame  
<http://wiki.ros.org/kinetic>

