



UNIVERSITÀ  
di **VERONA**

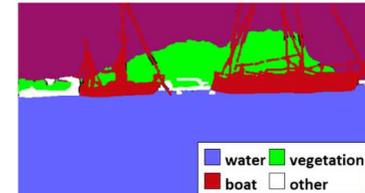
Dipartimento  
di **INFORMATICA**

Laurea magistrale in Ingegneria e scienze informatiche

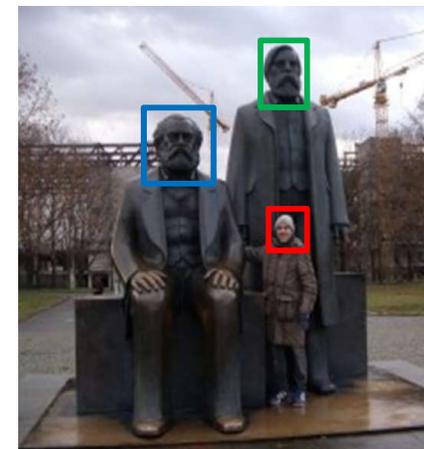
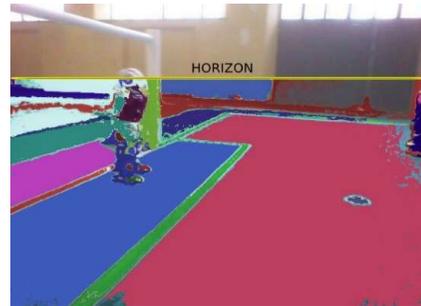


*Corso di Robotica*  
*Parte di Laboratorio*

Docente:  
**Domenico Daniele Bloisi**

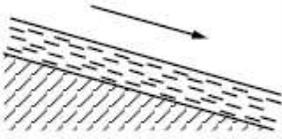
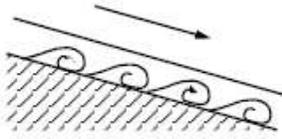
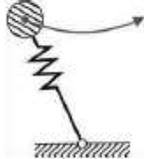
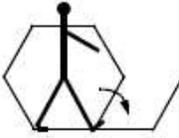


# Locomozione



Ottobre 2017

# Locomozione in Natura

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Periodic bouncing on a spring 
Walking 	Loss of kinetic energy	Rolling of a polygon 

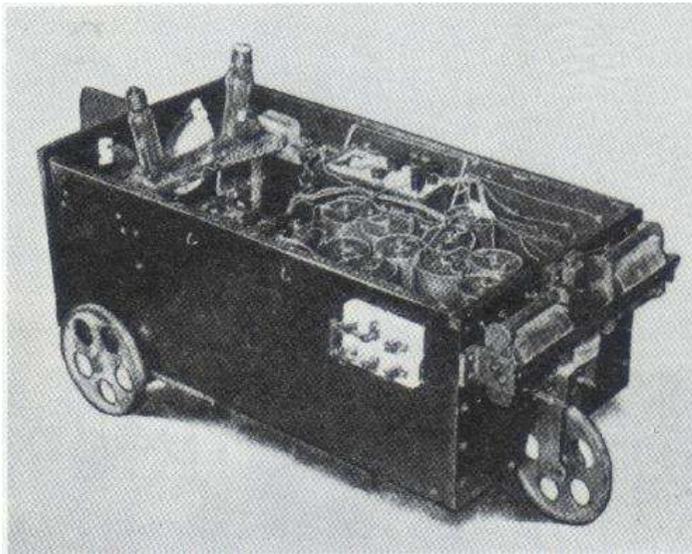
In natura esistono diversi sistemi di locomozione

- Permettono spostamenti in ambienti complessi
- Difficili da replicare
- Non usano ruote

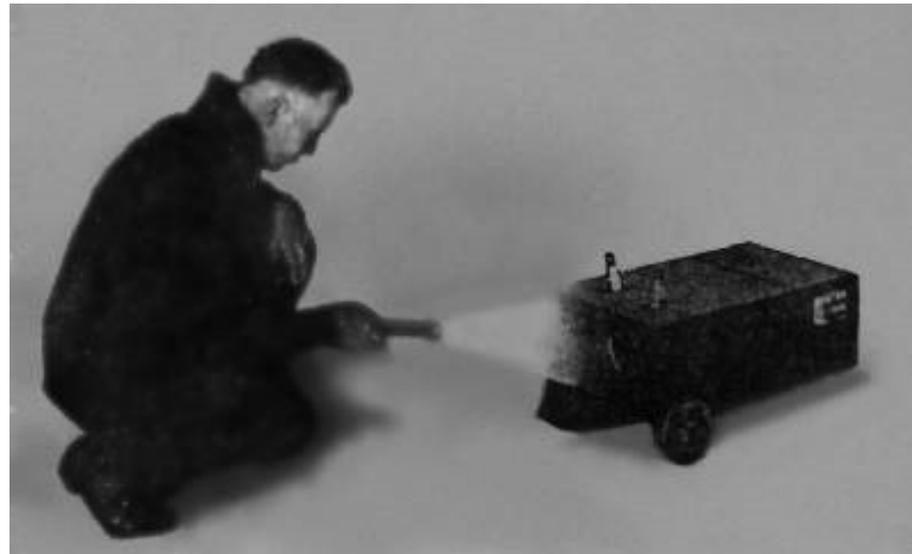
# Locomozione su ruota

---

La locomozione su ruote (wheeled locomotion) non si trova in natura

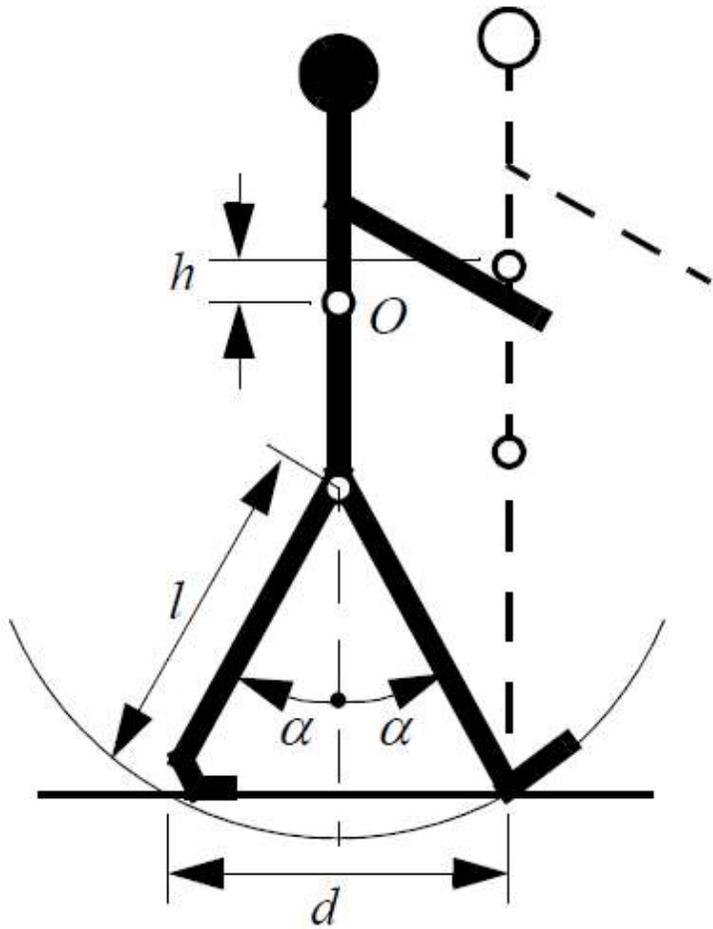


Electric Dog - 1912



images from  
<http://davidbuckley.net/DB/HistoryMakers/HM-ElectricDog1912.htm>

# Camminata Bipede



Un sistema di locomozione bipede può essere approssimato con un poligono che rotola, avente lato  $d$

Al diminuire della lunghezza del passo, la camminata si avvicina al movimento di una ruota con raggio  $l$

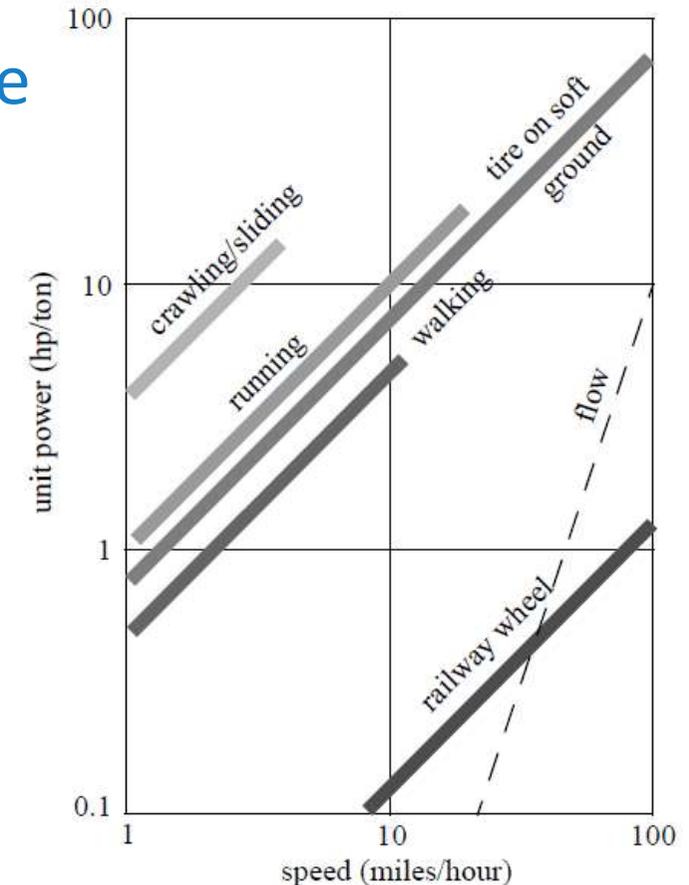
# Walking vs Rolling

## Locomozione su gambe

- richiede più gradi di libertà → maggiore complessità meccanica

## Locomozione su ruote

- semplice
  - adatta a superfici piane
- La locomozione su ruote è da uno a due ordini di grandezza più efficiente della locomozione su gambe
  - Su superfici soffici, la locomozione su ruote accumula inefficienze

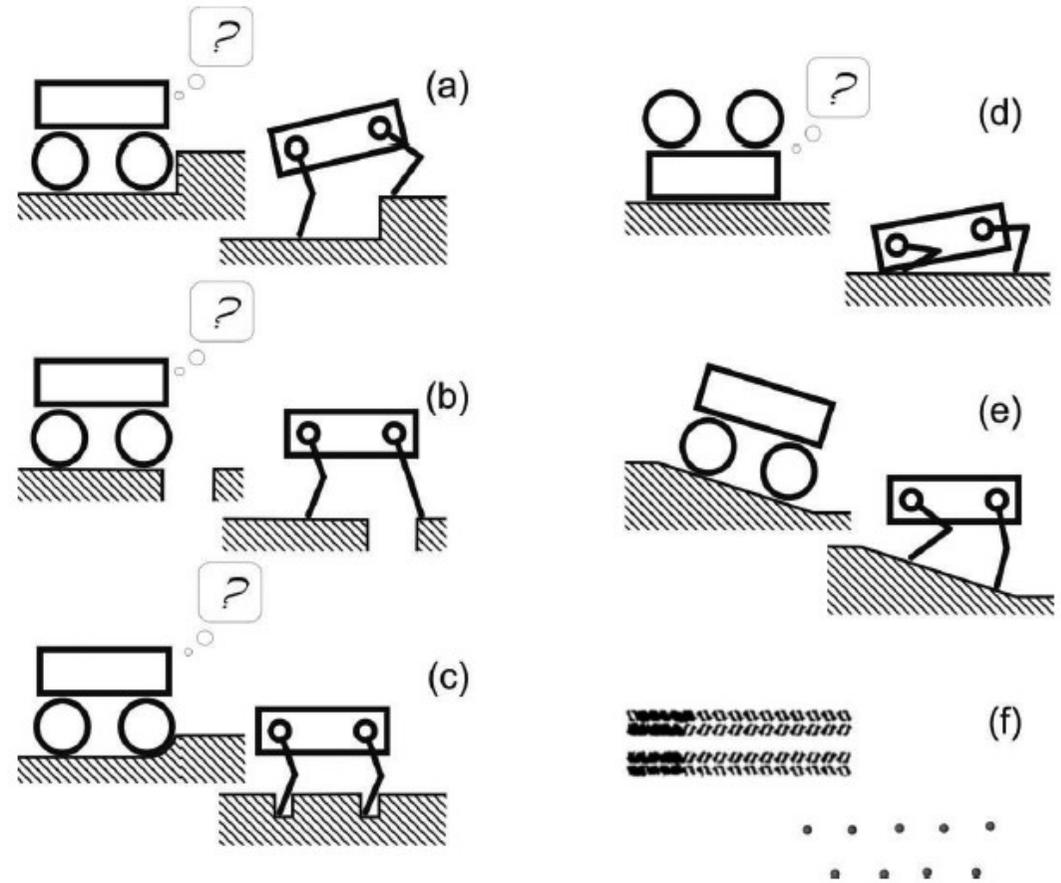


# Limiti della locomozione su ruote

La locomozione su ruote non è adatta per superare scalini (a), buche (b), superfici sabbiose (c)

Il maggior numero di gradi di libertà permette al robot con le gambe di rialzarsi in caso di caduta (d) e di mantenere livellato il carico (e)

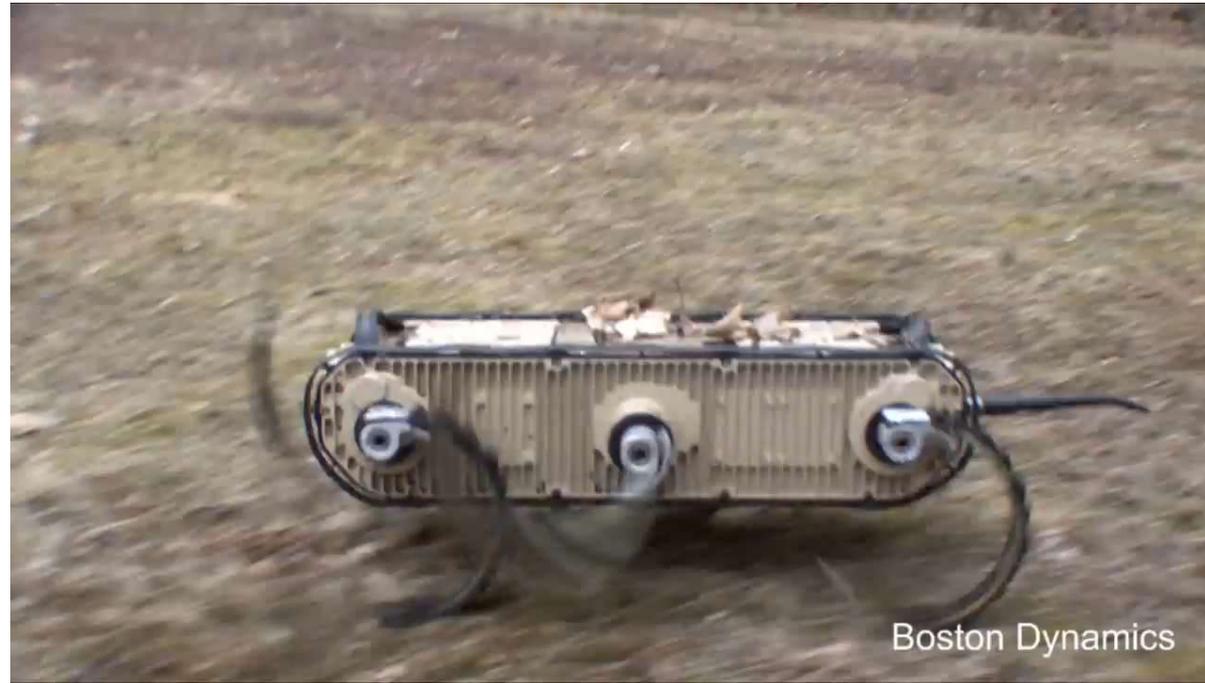
L'uso delle gambe permette di diminuire la superficie necessaria agli spostamenti (f)



# Esempio

---

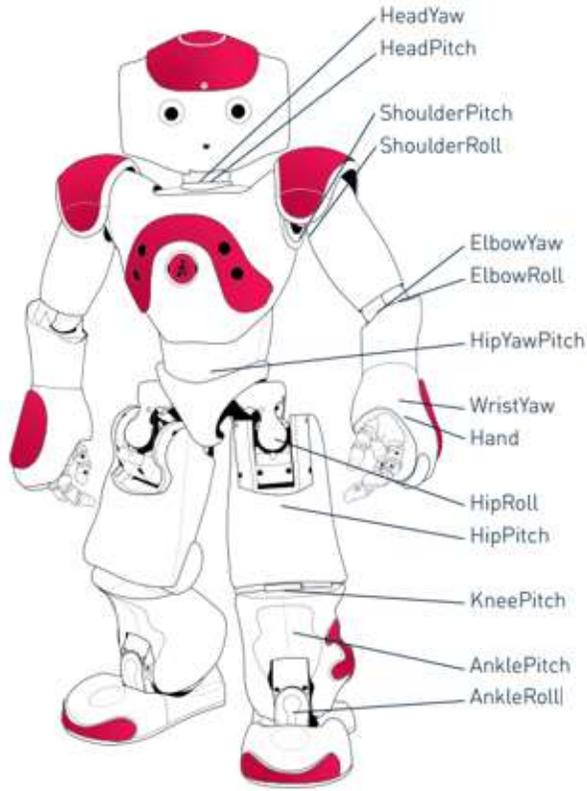
<https://www.bostondynamics.com/rhex>



<https://www.youtube.com/watch?v=ISznqY3kESI>

# Esempio

[http://doc.aldebaran.com/2-1/family/nao\\_h25/motors\\_h25.html](http://doc.aldebaran.com/2-1/family/nao_h25/motors_h25.html)



25 gradi di libertà (DoF)  
per il robot NAO



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

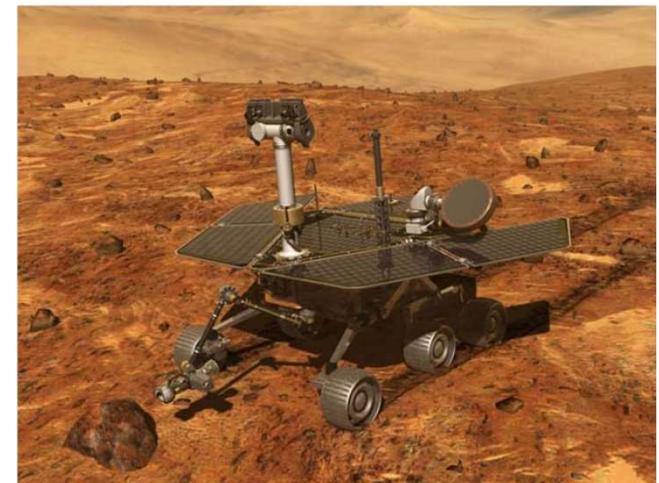
# Locomozione e Manipolazione

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

Lo studio della locomozione si concentra

- sulle *forze di interazione*
- sui *meccanismi* e gli *attuatori* che le generano



Introduction to Autonomous Mobile Robots  
Roland Siegwart, Illah Nourbakhsh, Davide Scaramuzza

# 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)

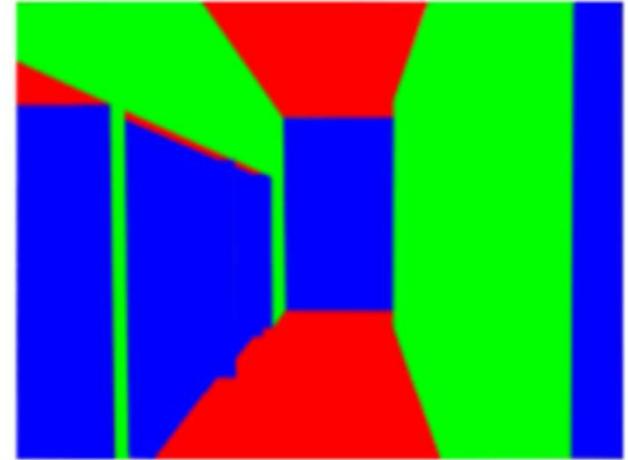
## Natura del contatto

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

# Ambiente

---

Strutturato



Non strutturato

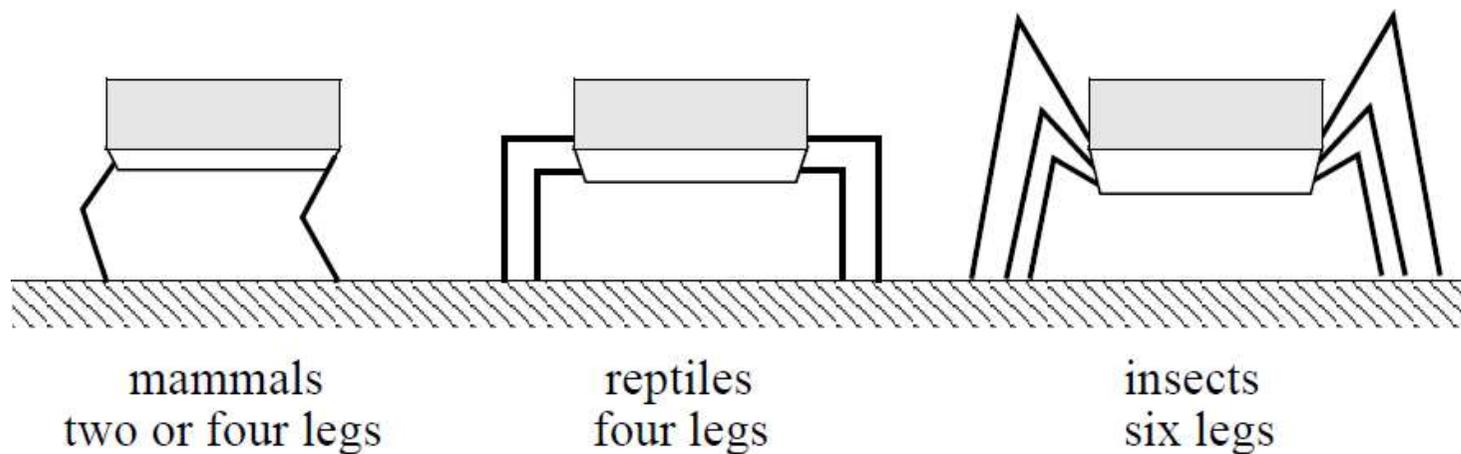


# Robot mobili con gambe

Minore è il numero di gambe maggiore diventa la complessità della locomozione

Durante la camminata alcune gambe sono sollevate

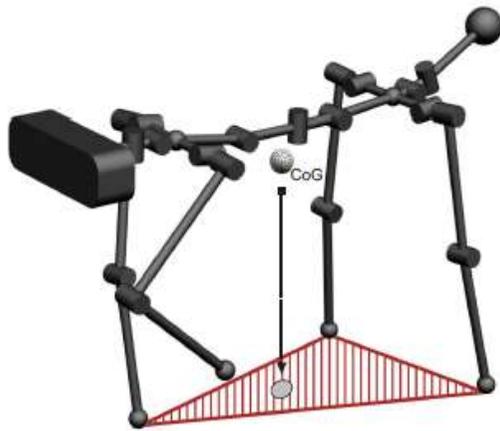
- Si perde stabilità?



Sono necessarie almeno 4 gambe per una camminata staticamente stabile

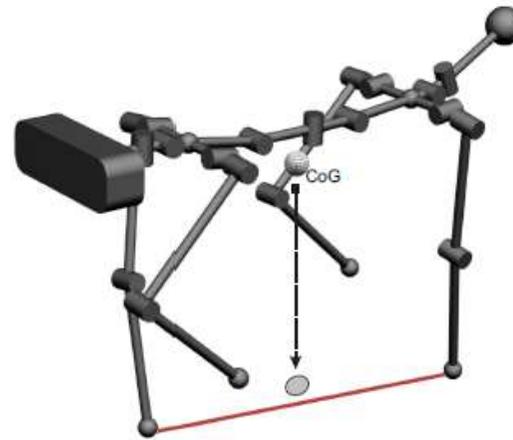
# Stabilità statica/dinamica

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 e più onerosa per gli attuatori

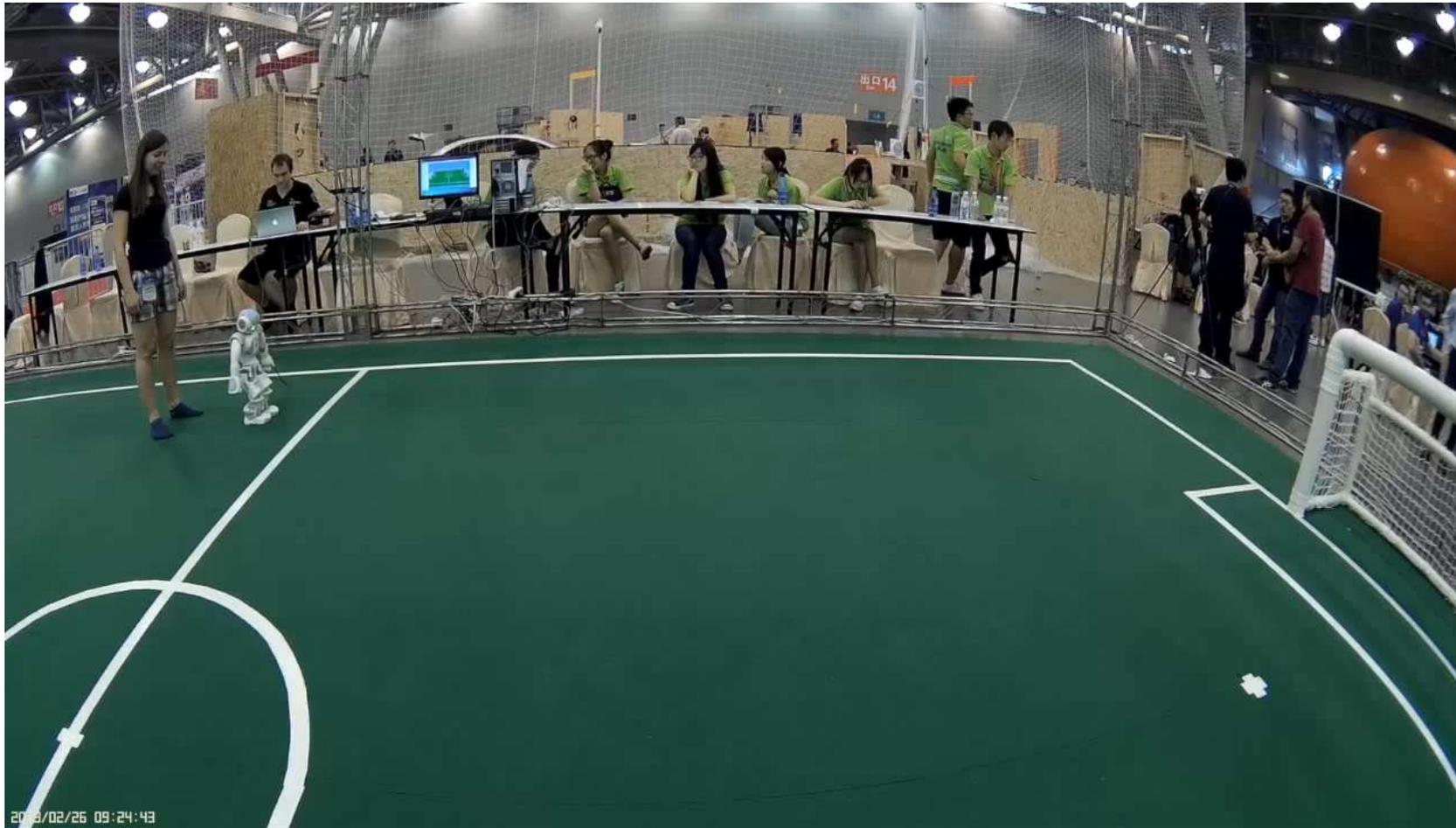
# Camminata NAO – RomeCup 2009

---



<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)

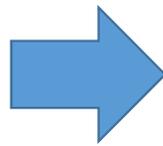
# Gradi di libertà

DoF: degrees of freedom

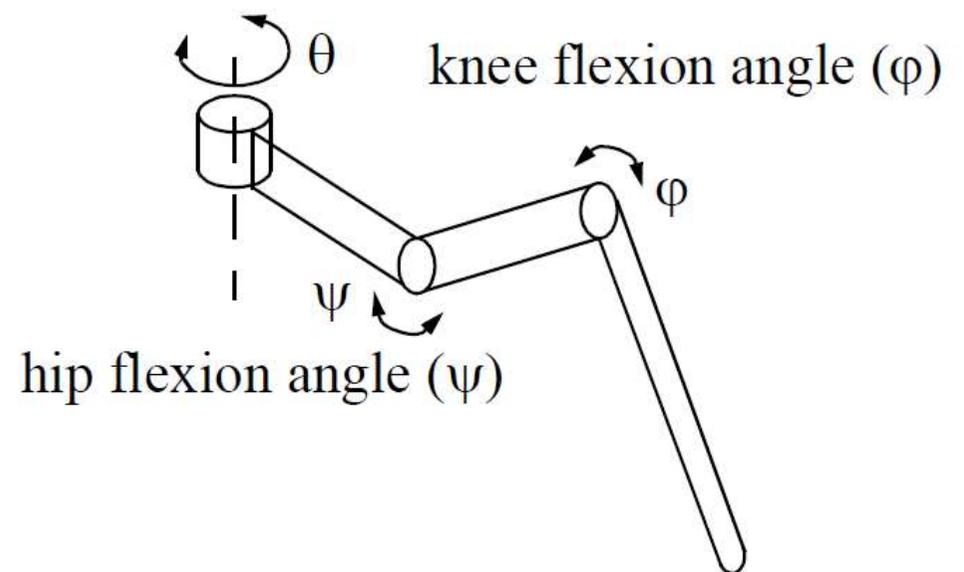
Sono necessari minimo due gradi di libertà per spostare in avanti una gamba:

- lift and swing
- è possibile scorrere in una unica direzione

Di solito si preferisce avere 3 DoF per ogni gamba



hip abduction angle ( $\theta$ )

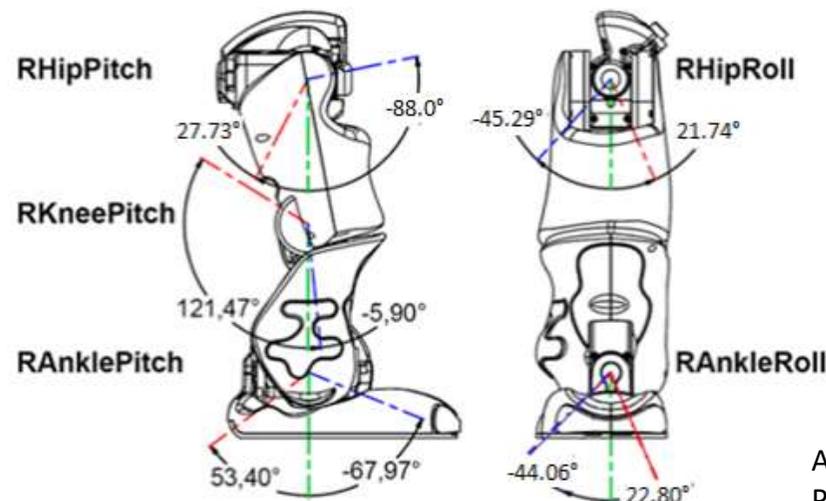


# Aggiunta di DOF

Con 4 DoF (giunto della caviglia) è possibile migliorare la camminata

L'uso di giunti addizionali fa aumentare la complessità della progettazione e del controllo di locomozione

Il robot NAO ha 5 DoF per ogni gamba



Autonomous Mobile Robots  
Péter Fankhauser, Marco Hutter  
Roland Siegwart, Margarita Chli, Martin Rufli

# Gait

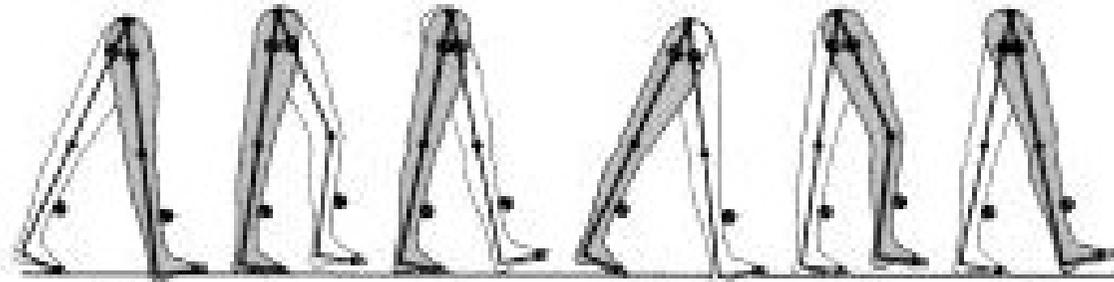
---

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

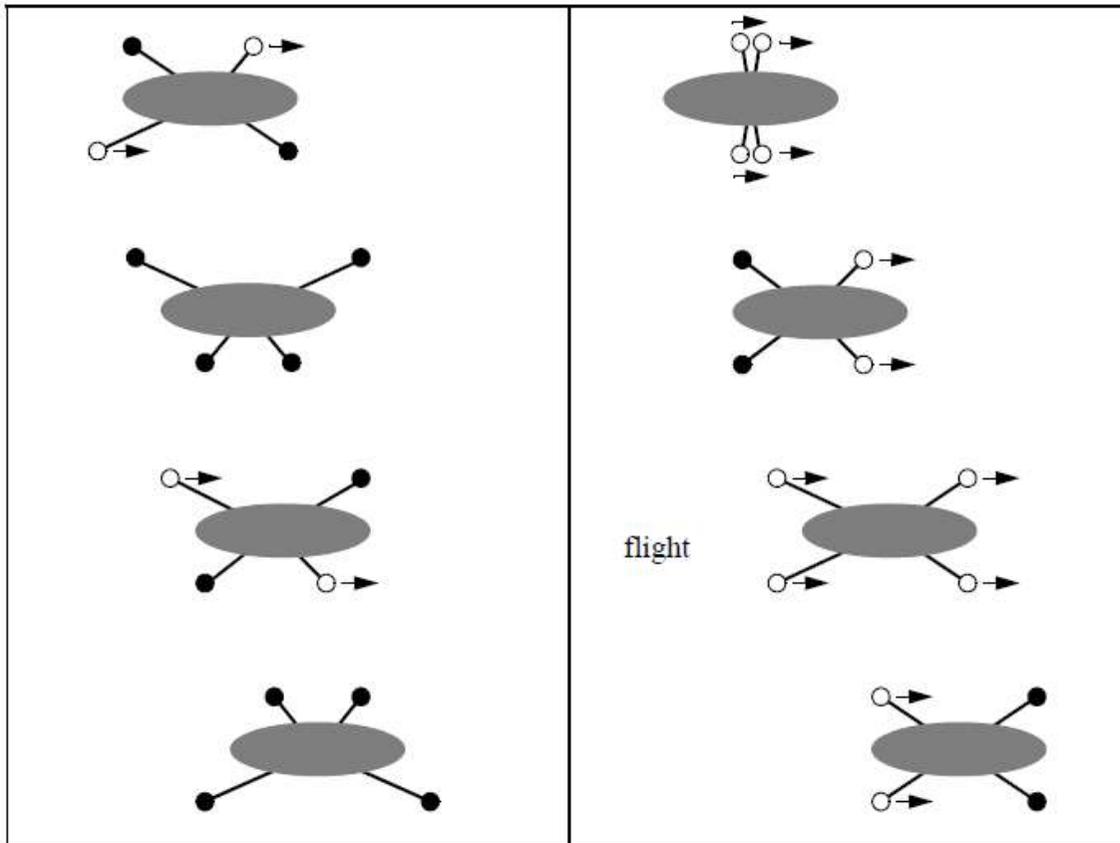
Il numero  $N$  di eventi con  $k$  gambe è:

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

Per un bipede il numero di possibili eventi è 6



# Gait con 4 gambe



trotto

galoppo

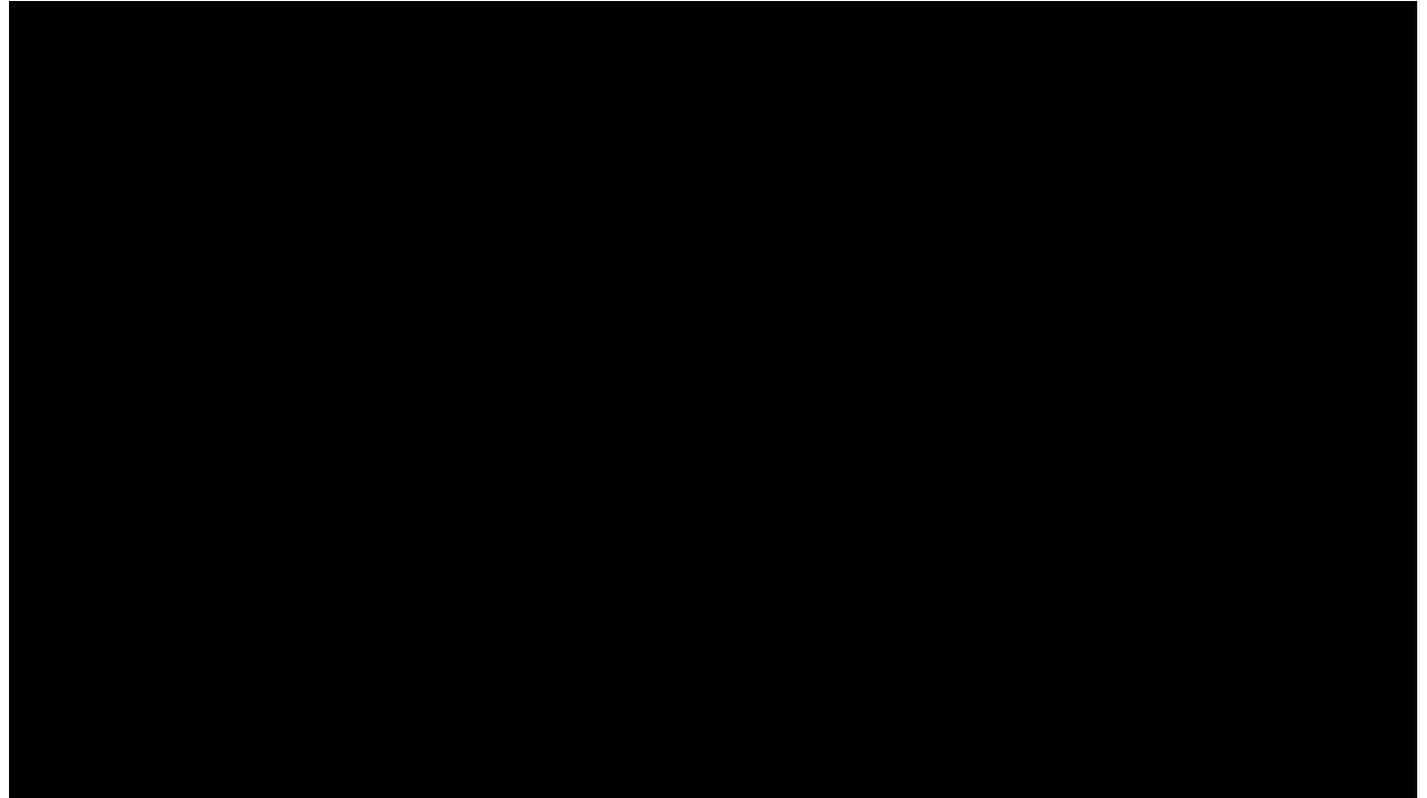
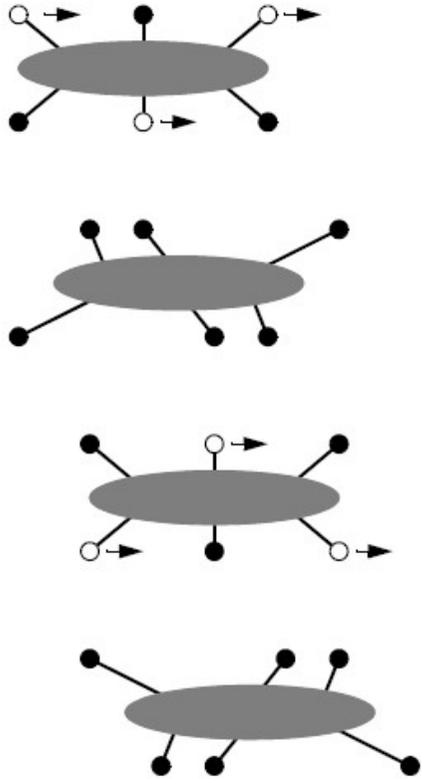


[https://www.youtube.com/watch?v=OcD1\\_jvhc\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=OcD1_jvhc_g)

Autonomous Mobile Robots  
Péter Fankhauser, Marco Hutter  
Roland Siegwart, Margarita Chli, Martin Rufli

# Caminata statica con 6 gambe

---

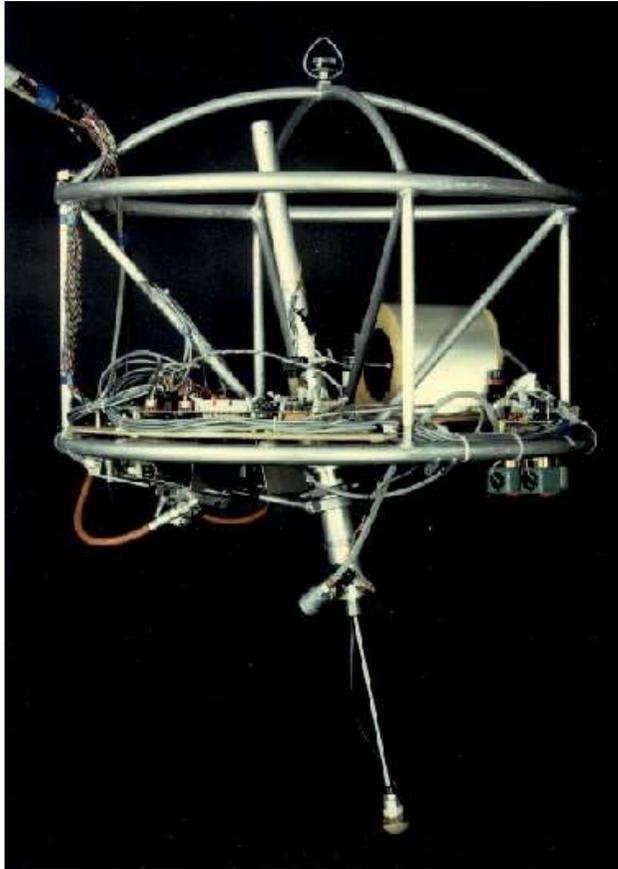


Almeno 3 gambe sono sempre in contatto con il terreno

<https://www.youtube.com/watch?v=1sRIFQLwg3w>

Autonomous Mobile Robots  
Péter Fankhauser, Marco Hutter  
Roland Siegwart, Margarita Chli, Martin Rufli

# Locomozione dinamica



3D One-Leg Hopper (1983-1984)



<https://www.youtube.com/watch?v=XFXj81mvInc>

# 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

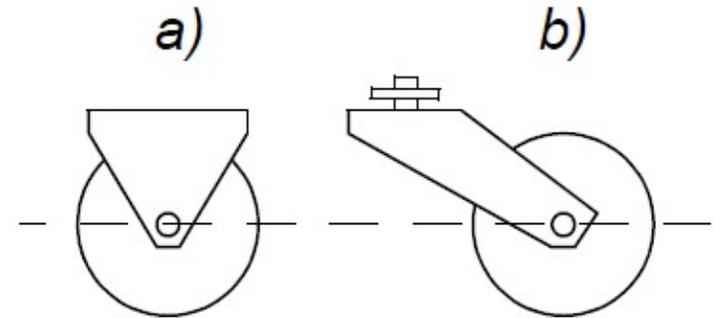
- **Ruota attiva**  
collegata con un motore che fornisce una coppia mortice esterna
- **Ruota passiva**  
si muove per trascinamento perchè priva di coppia mortice applicata

# Ruota semplice e Castor

## a) Ruota semplice

2 DoF

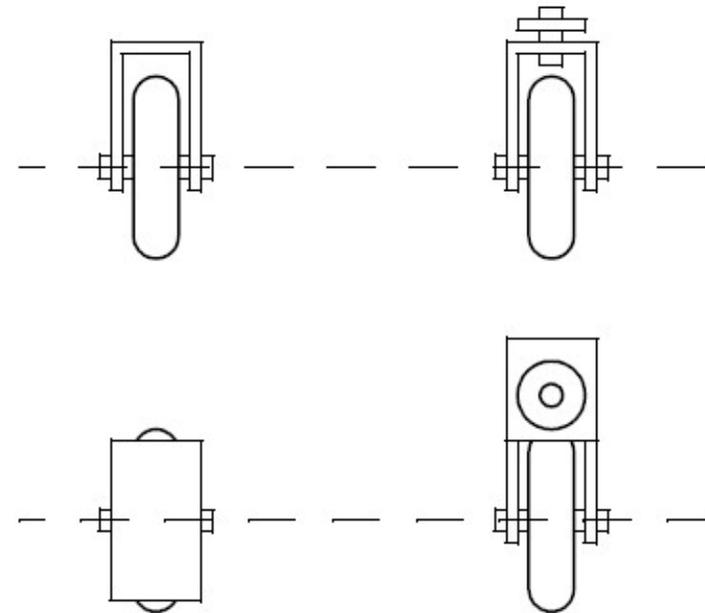
rotazione intorno all'asse della ruota e al punto di contatto



## b) Castor

2 DoF

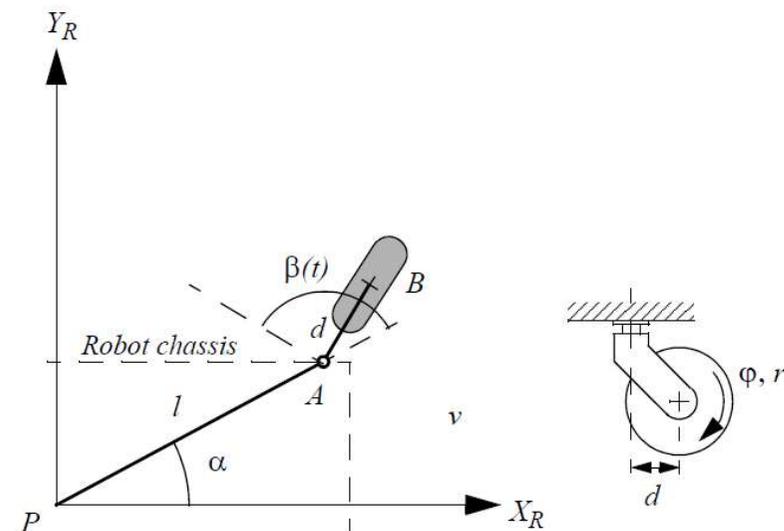
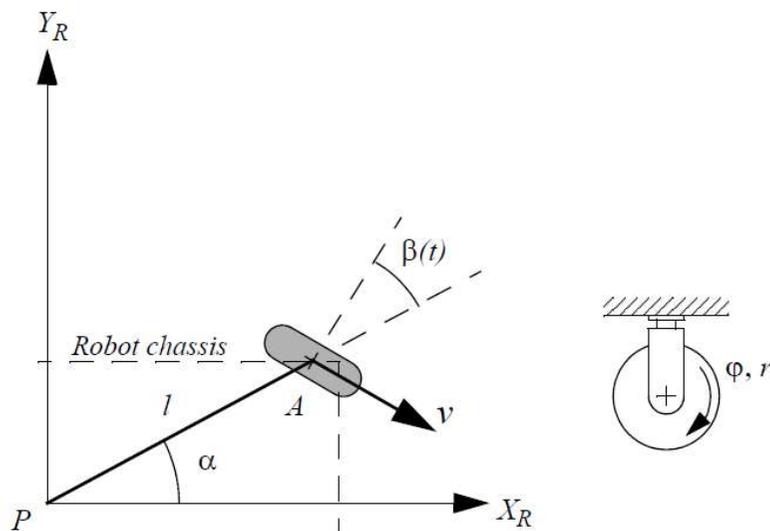
rotazione intorno al punto di contatto e all'asse del castor (offset rispetto al giunto sterzante)



# 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

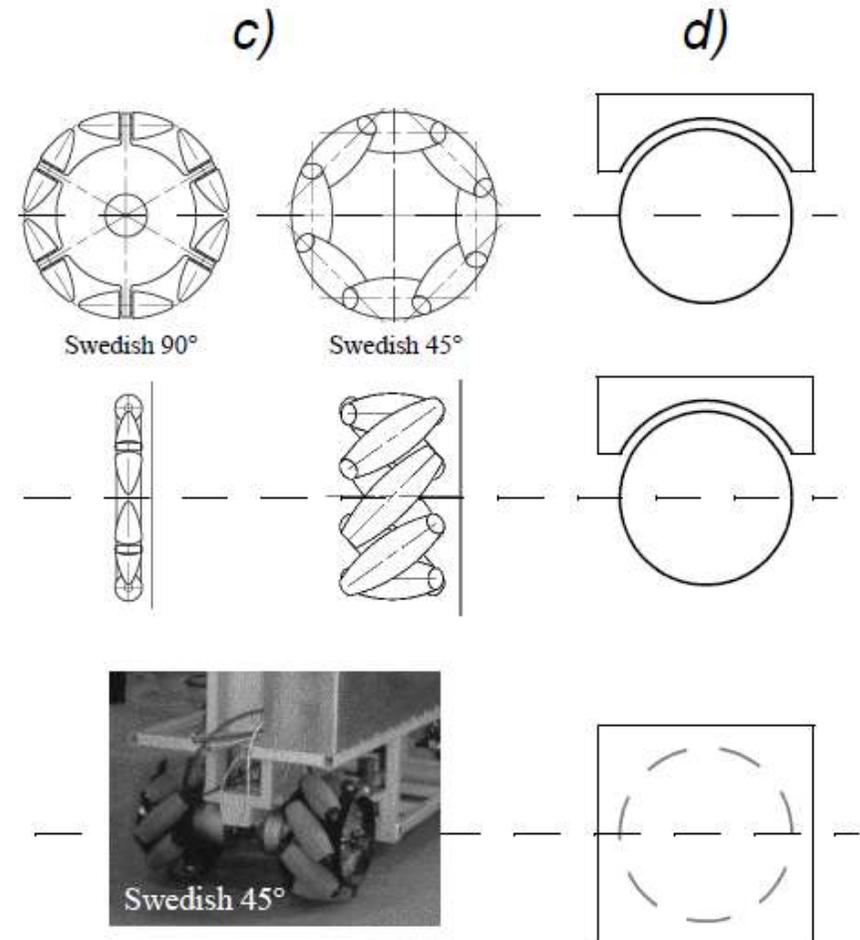


# Swedish wheel e ruota sferica

## c) Swedish wheel

3 DoF

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



## d) Sferica

Difficile da realizzare

Simile alla pallina mouse

# Ricapitolando

---

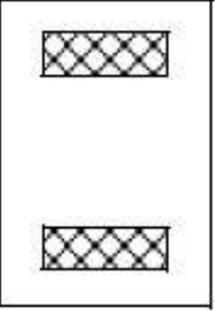
## La stabilità è garantita con 3 ruote

- 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

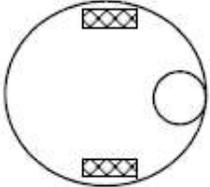
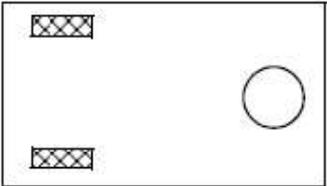
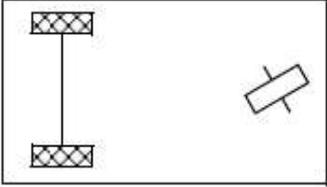
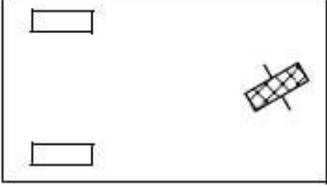
# 2 ruote

	One steering wheel in the front, one traction wheel in the rear
	Two-wheel differential drive with the center of mass (COM) below the axle

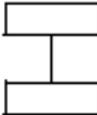
 ruota semplice motorizzata

 ruota semplice sterzante

# 3 ruote

	<p>Two-wheel centered differential drive with a third point of contact</p>
	<p>Two independently driven wheels in the rear/front, one unpowered omnidirectional wheel in the front/rear</p>
	<p>Two connected traction wheels (differential) in rear, one steered free wheel in front</p>
	<p>Two free wheels in rear, one steered traction wheel in front</p>

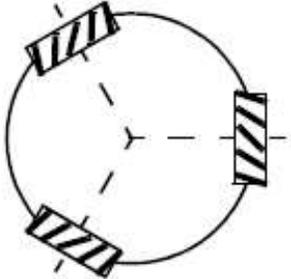
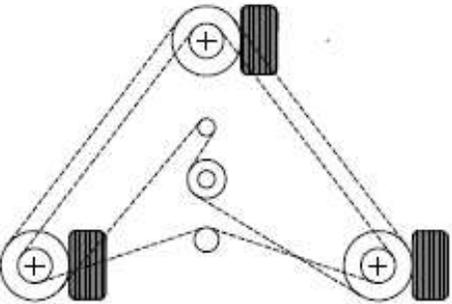
 ruota non motorizzata ominidirezionale (sferica, castor, swedish)

 ruote connesse

 ruota semplice motorizzata

 ruota semplice sterzante

# 3 ruote

 <p>A top-down diagram of a circular vehicle with three Swedish wheels (hatched rectangles) arranged in a triangle around the perimeter. Dashed lines radiate from the center to the wheels.</p>	<p>Three motorized Swedish or spherical wheels arranged in a triangle; omnidirectional movement is possible</p>
 <p>A top-down diagram of a triangular vehicle with three standard wheels (solid rectangles) at the vertices. Each wheel is connected to a central hub by a linkage system. The top wheel has a '+' sign inside a circle.</p>	<p>Three synchronously motorized and steered wheels; the orientation is not controllable</p>

 swedish wheel motorizzata

# Synchro Drive

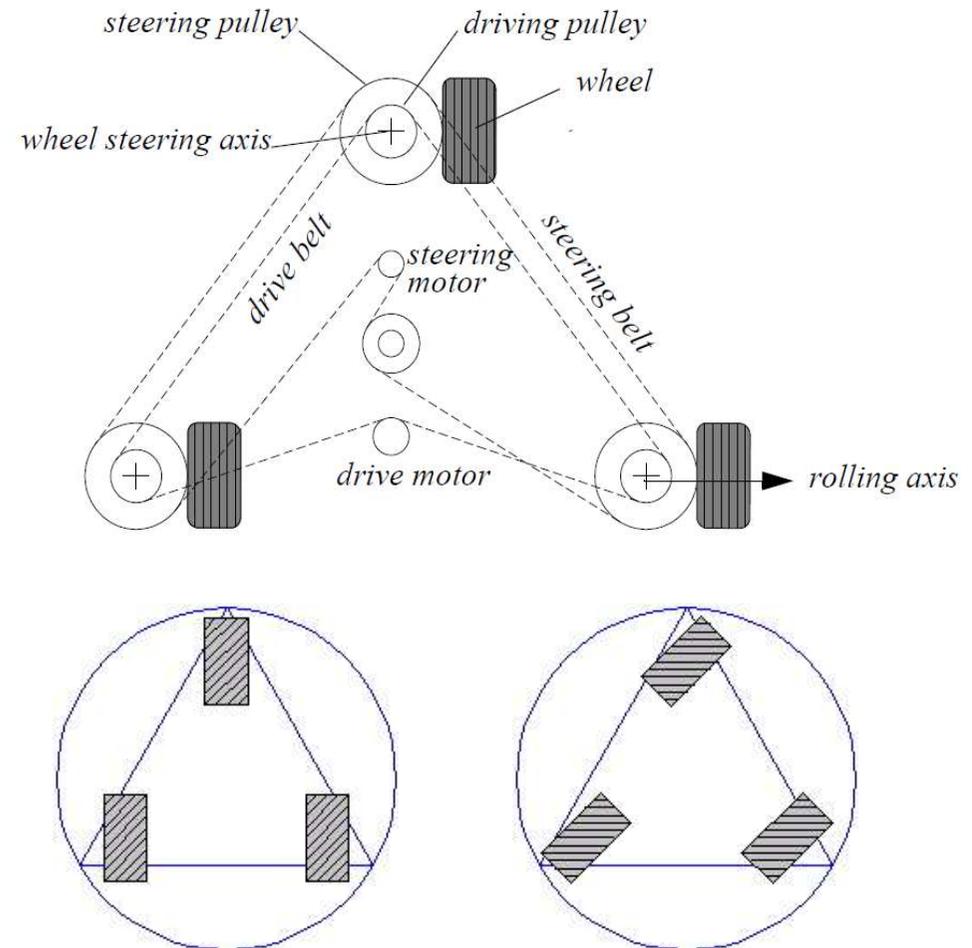
Tutte le ruote sono attuate contemporaneamente da un unico motore

- serve a definire la velocità del veicolo

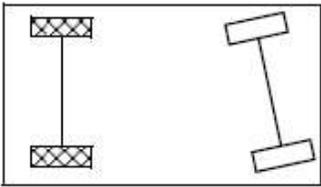
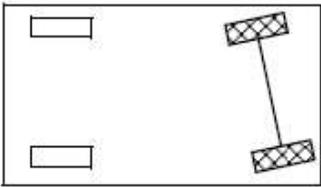
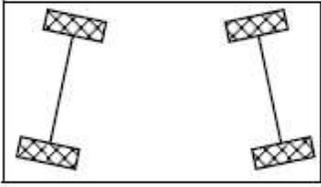
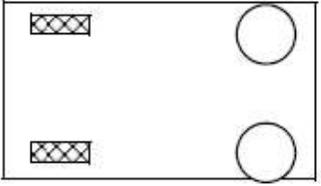
Un secondo motore controlla l'angolo di sterzata delle ruote

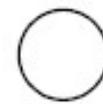
- serve a settare l'heading

Il robot si può muovere in ogni direzione, tuttavia l'orientazione della scocca non è controllabile

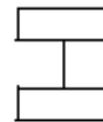


# 4 ruote

	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 ominidirezionale (sferica, castor, swedish)

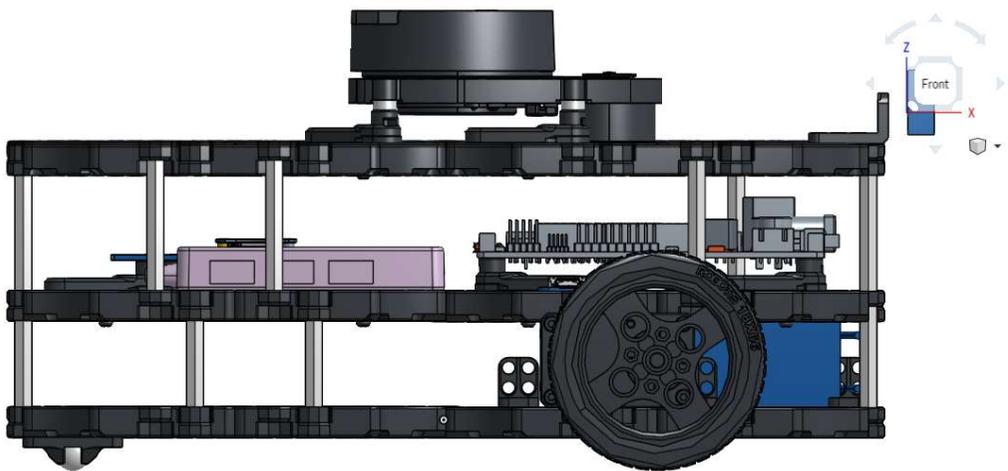
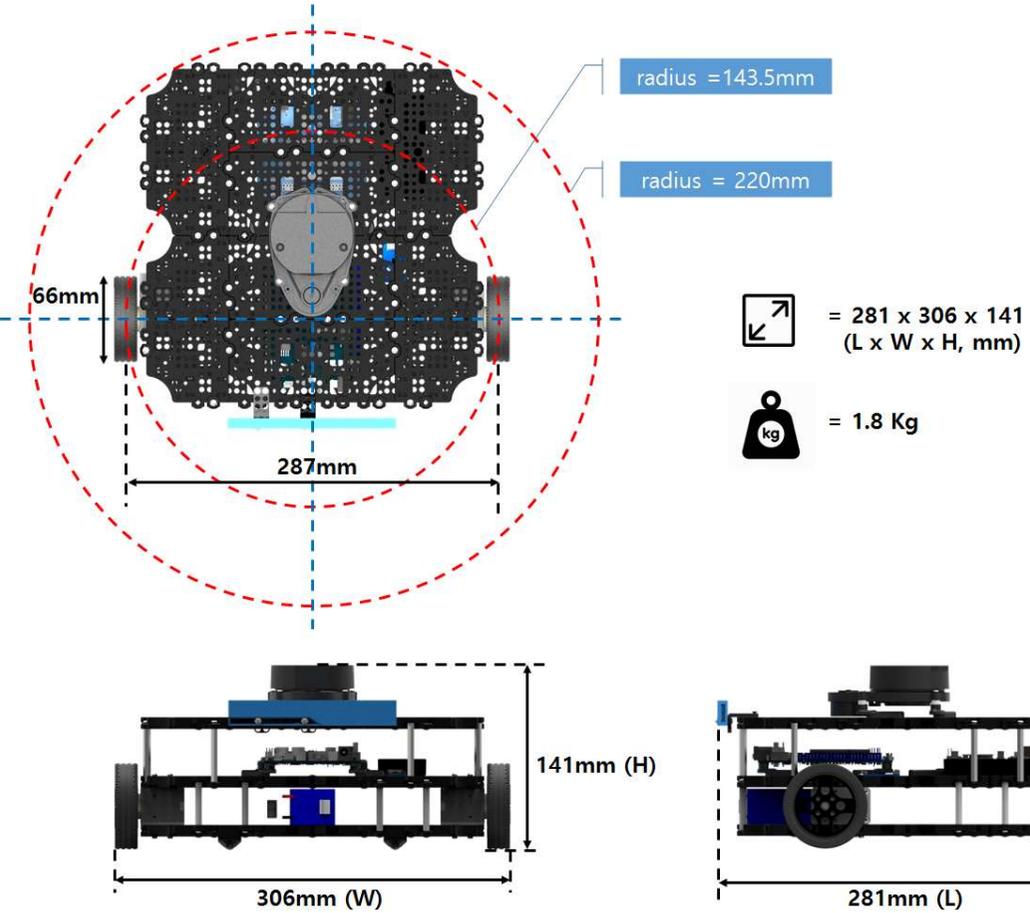


ruote connesse

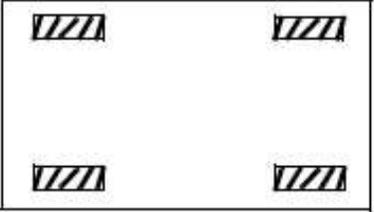
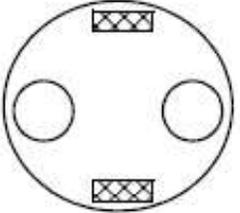
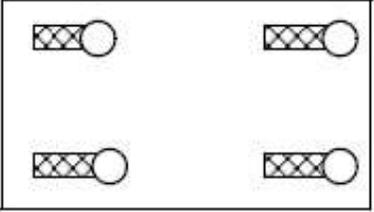


ruota semplice motorizzata

# Turtlebot 3

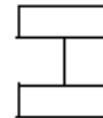


# 4 ruote

	Four omnidirectional wheels
	Two-wheel differential drive with two additional points of contact
	Four motorized and steered castor wheels



ruota non motorizzata ominidirezionale (sferica, castor, swedish)

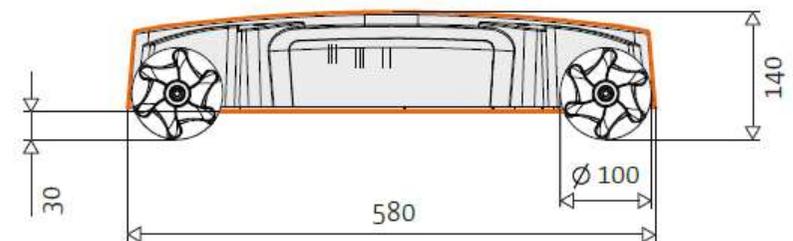
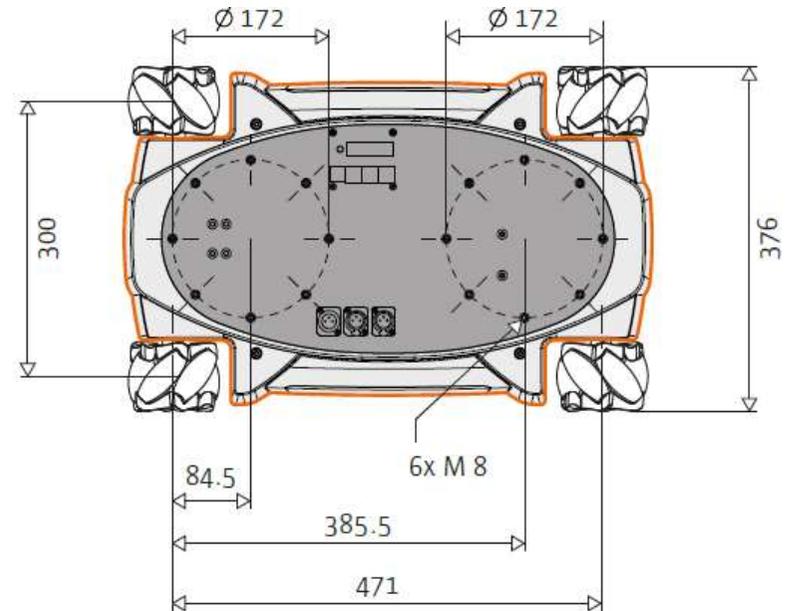


ruote connesse



ruota semplice motorizzata

# Youbot



<https://www.generationrobots.com/en/402185-kuka-youbot-mobile-platform.html>

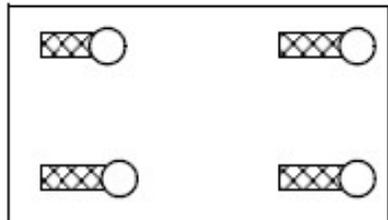
# Youbot

---

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

# PR2

- 4 ruote castor sterzanti
- permettono di ottenere un comportamento “omni-drive-like”



## Head, Spine & Base

### A Pan Tilt Head

- Pan :: 350°
- Tilt :: 115°

### B Telescoping Spine

Height Range from Floor to Top of Head:

- Short :: 1330 mm (4 ft 4.4 in)
- Tall :: 1645 mm (5 ft 4.7 in)

### C Omni Directional Base

- Casters :: 4 Steered and Driven
- Base Width & Depth :: 668 mm
- Speed :: 1 m/s

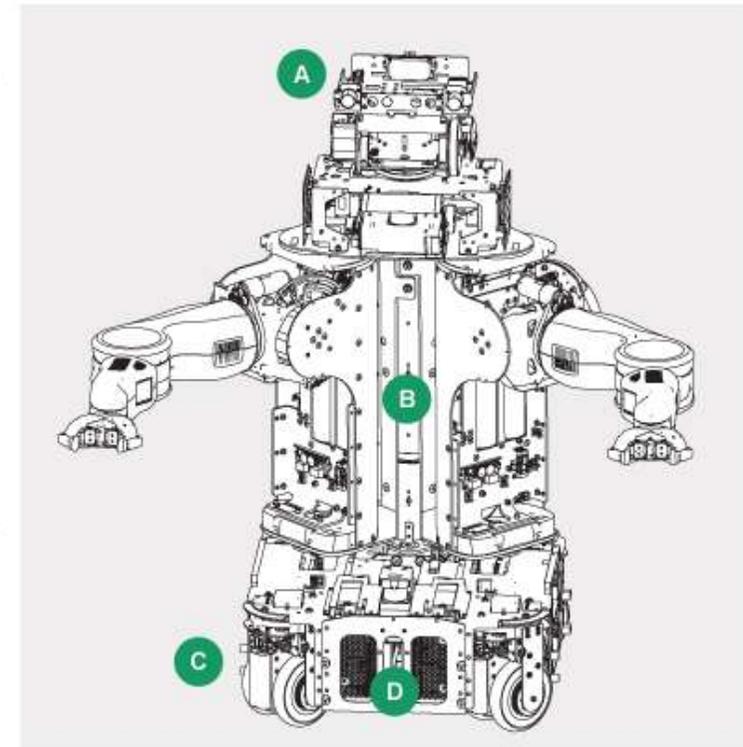
## Computing

### D 2x Onboard Servers

- Processors :: Two Quad-Core i7 Xeon Processors (8 cores)
- Memory :: 24 GB
- Externally Removable Hard Drive :: 1.5 TB
- Internal Hard Drive :: 500 GB

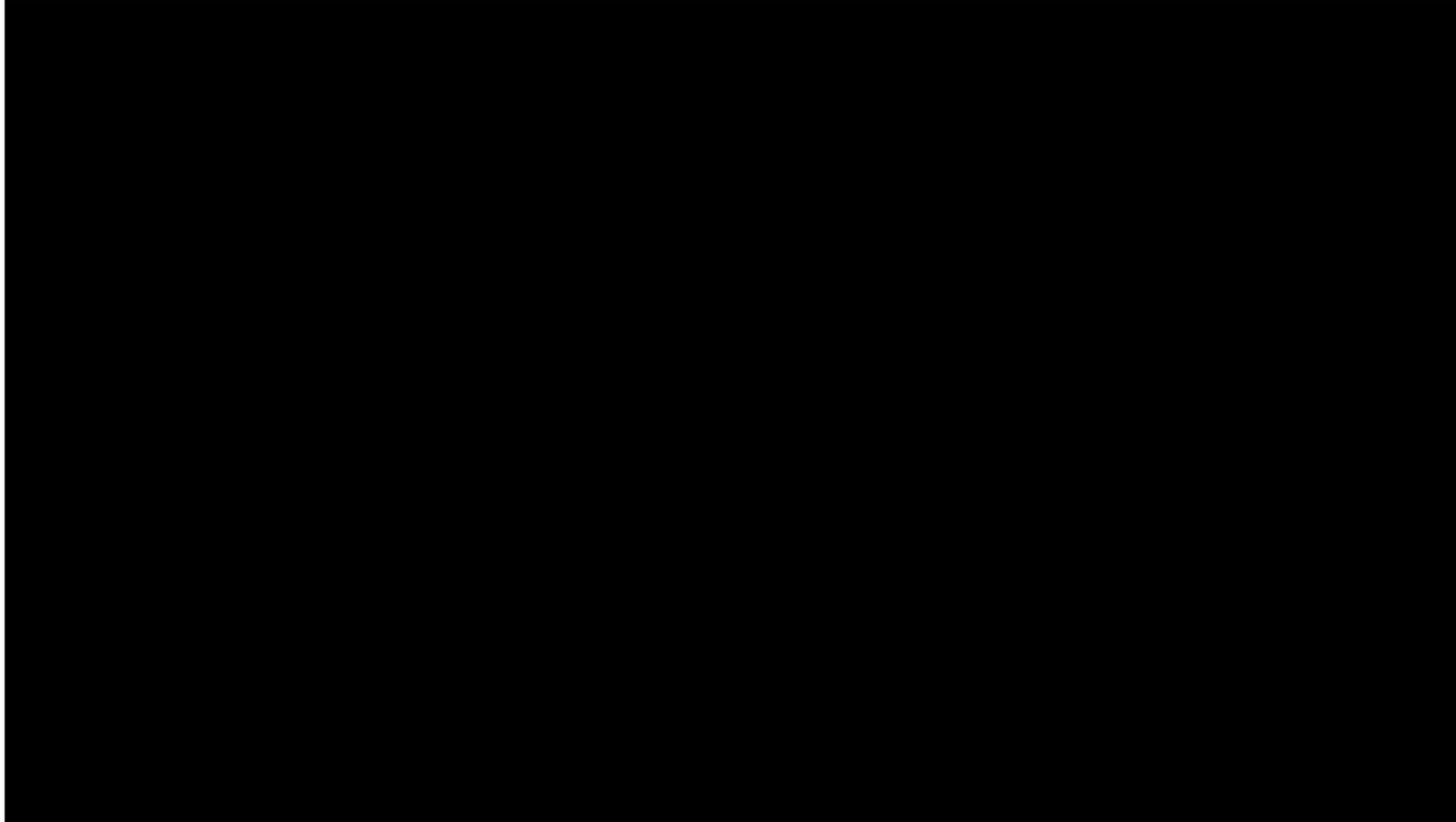
## In the Box

- Base-Station Computer
- Joystick
- Power Cable
- Self Plug-in Cable
- Small Calibration Target
- Large Calibration Target



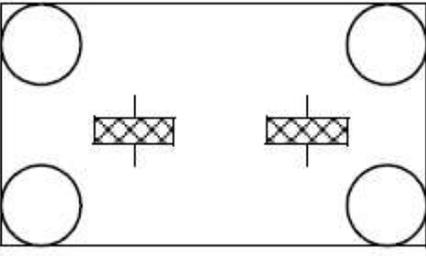
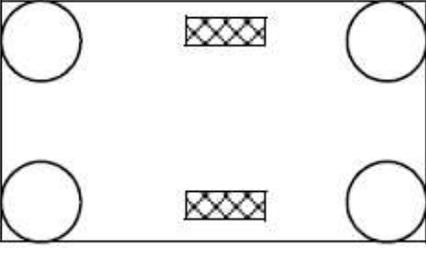
# PR2 Esempio

---



<https://www.youtube.com/watch?v=uqoBXbBtm2E>

# 6 ruote

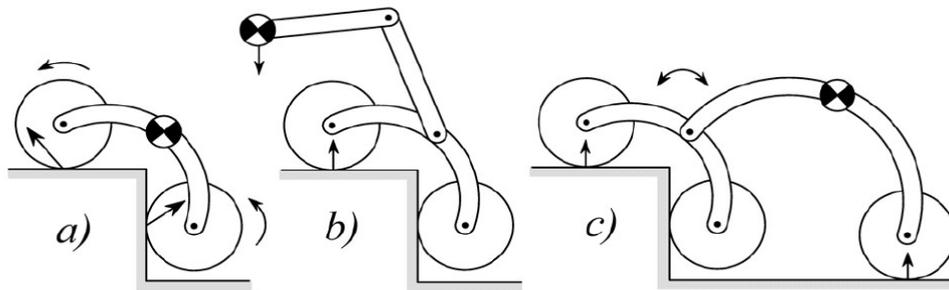
 <p>The diagram shows a rectangular chassis with four circles at the corners representing omnidirectional wheels. In the center, there are two rectangular blocks with a cross-hatch pattern, each with a vertical line extending downwards from its center, representing motorized and steered wheels.</p>	<p>Two motorized and steered wheels aligned in center, one omnidirectional wheel at each corner</p>
 <p>The diagram shows a rectangular chassis with four circles at the corners representing omnidirectional wheels. In the center, there are two rectangular blocks with a cross-hatch pattern, representing traction wheels (differential).</p>	<p>Two traction wheels (differential) in center, one omnidirectional wheel at each corner</p>

 ruota semplice motorizzata

 ruota semplice sterzante

 ruota non motorizzata omnidirezionale (sferica, castor, swedish)

# Climbing con 6 ruote



Purely  
friction  
based

Change of center  
of gravity  
(CoG)

Adapted suspension mechanism  
with passive or active joints

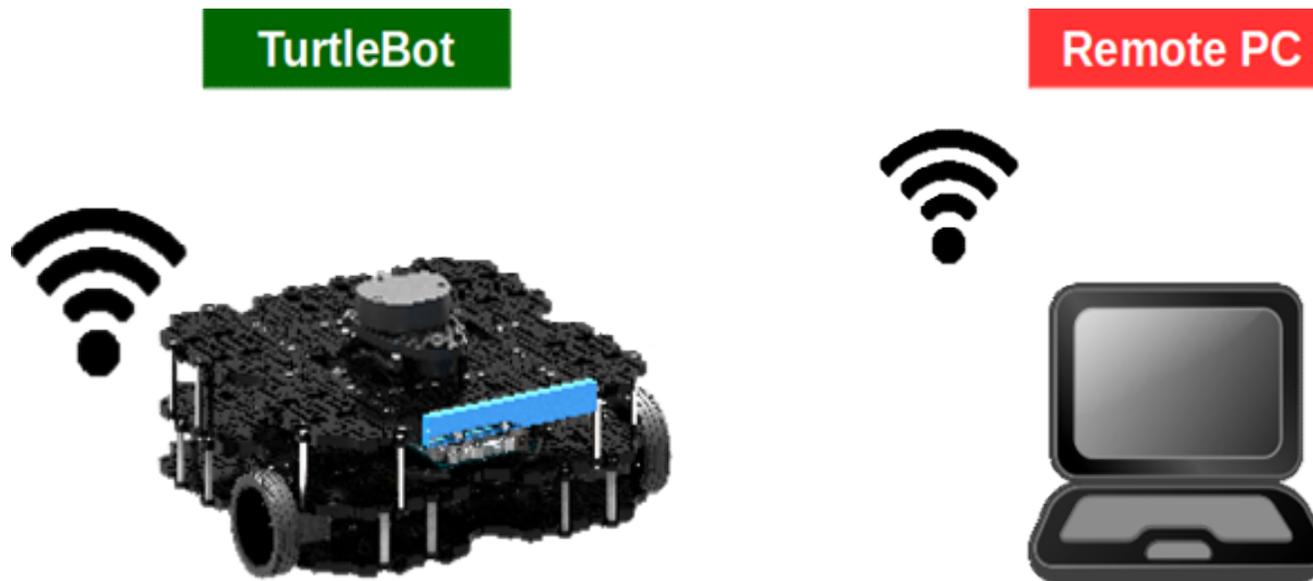
<https://www.youtube.com/watch?v=8k9s5eKNSpk>

# Turtlebot 3 - Software

---

PC Software Setup

[https://turtlebot3.readthedocs.io/en/latest/pc\\_software.html](https://turtlebot3.readthedocs.io/en/latest/pc_software.html)



# Ubuntu 16.04 & ROS Kinetic

---

Ubuntu 16.04.3 LTS (Xenial Xerus)

<http://releases.ubuntu.com/16.04/>



ROS Kinetic Kame

<http://wiki.ros.org/kinetic>





UNIVERSITÀ  
di VERONA

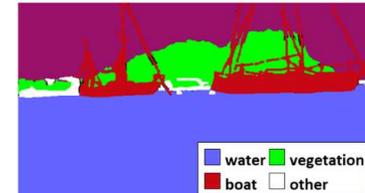
Dipartimento  
di INFORMATICA

Laurea magistrale in Ingegneria e scienze informatiche

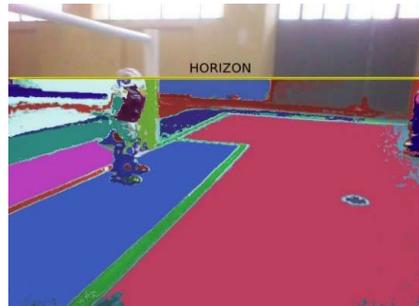


*Corso di Robotica  
Parte di Laboratorio*

Docente:  
Domenico Daniele Bloisi



# Locomozione



Ottobre 2017