



UNIVERSITÀ
di **VERONA**

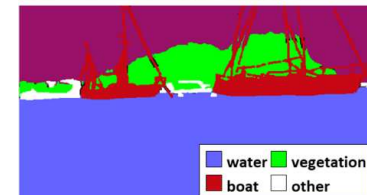
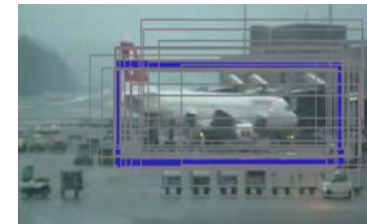
Dipartimento
di **INFORMATICA**

Laurea magistrale in Ingegneria e scienze informatiche

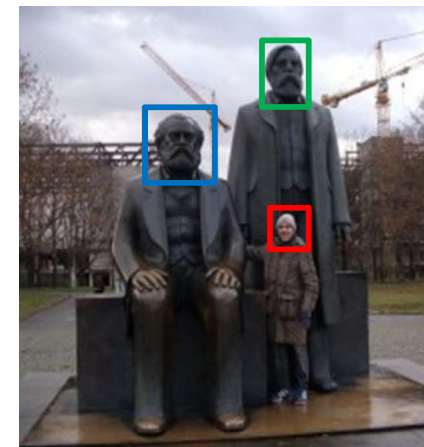
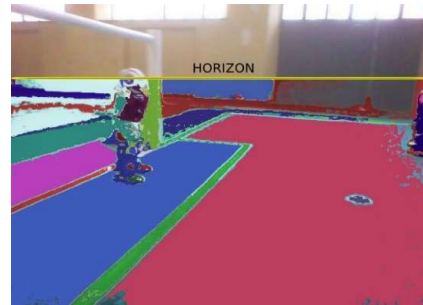


*Corso di Robotica
Parte di Laboratorio*

Docente:
Domenico Daniele Bloisi

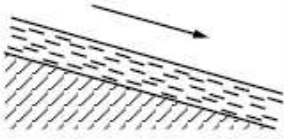
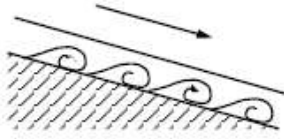







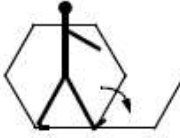


Locomozione



Ottobre 2017

Locomozione in Natura

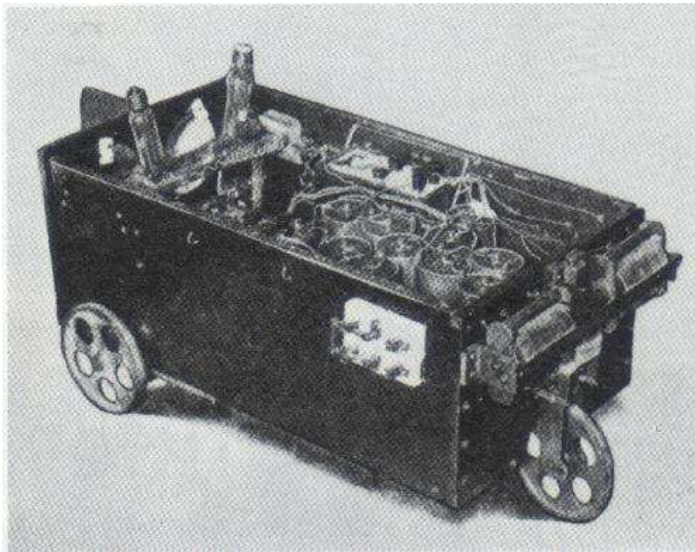
Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Periodic bouncing on a spring 
Walking 	Loss of kinetic energy	Rolling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

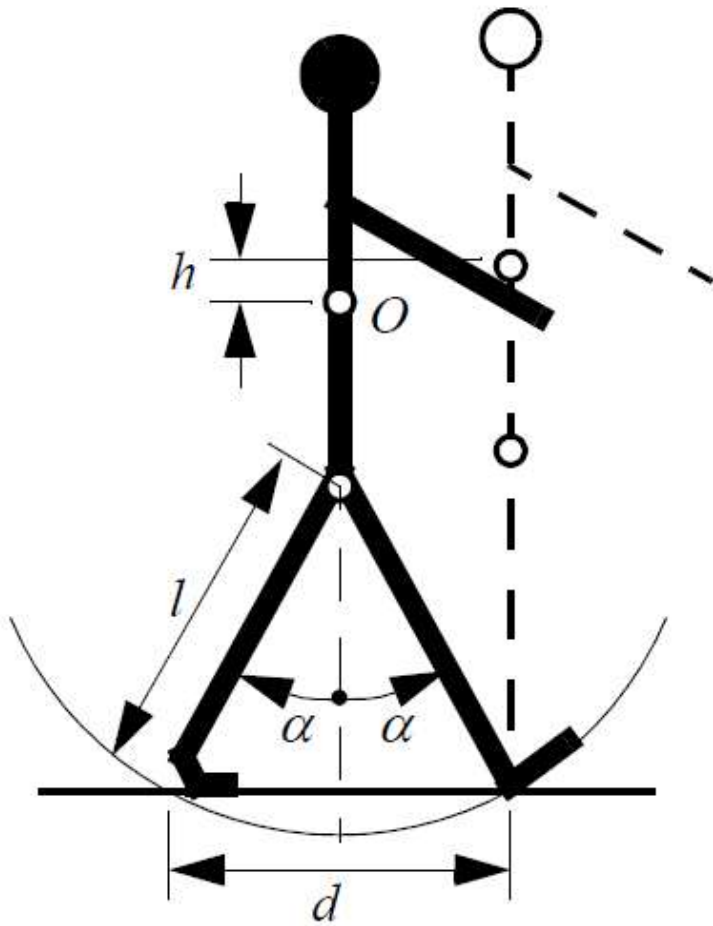


Electric Dog - 1912



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

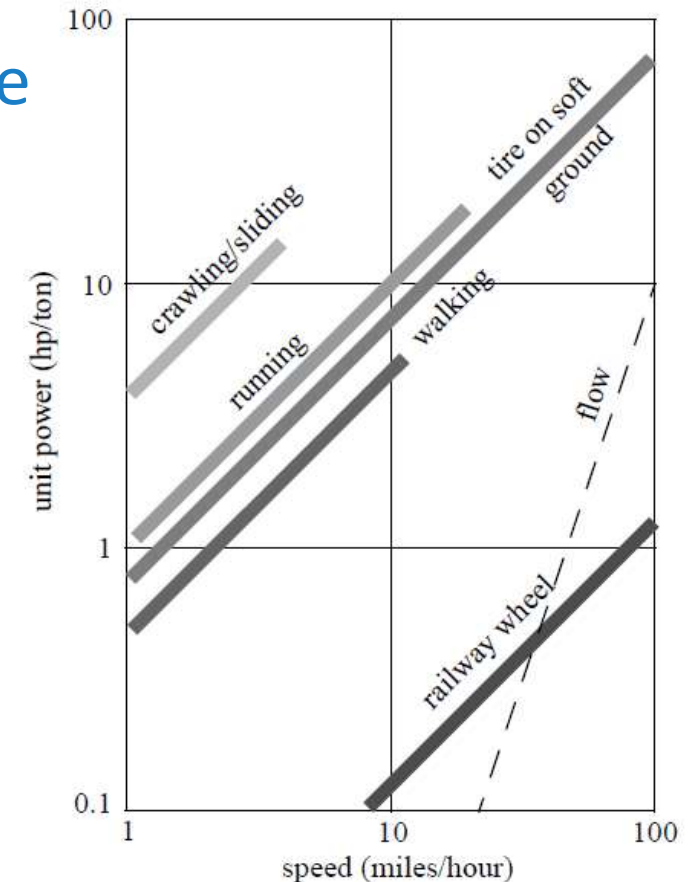
Walking vs Rolling

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

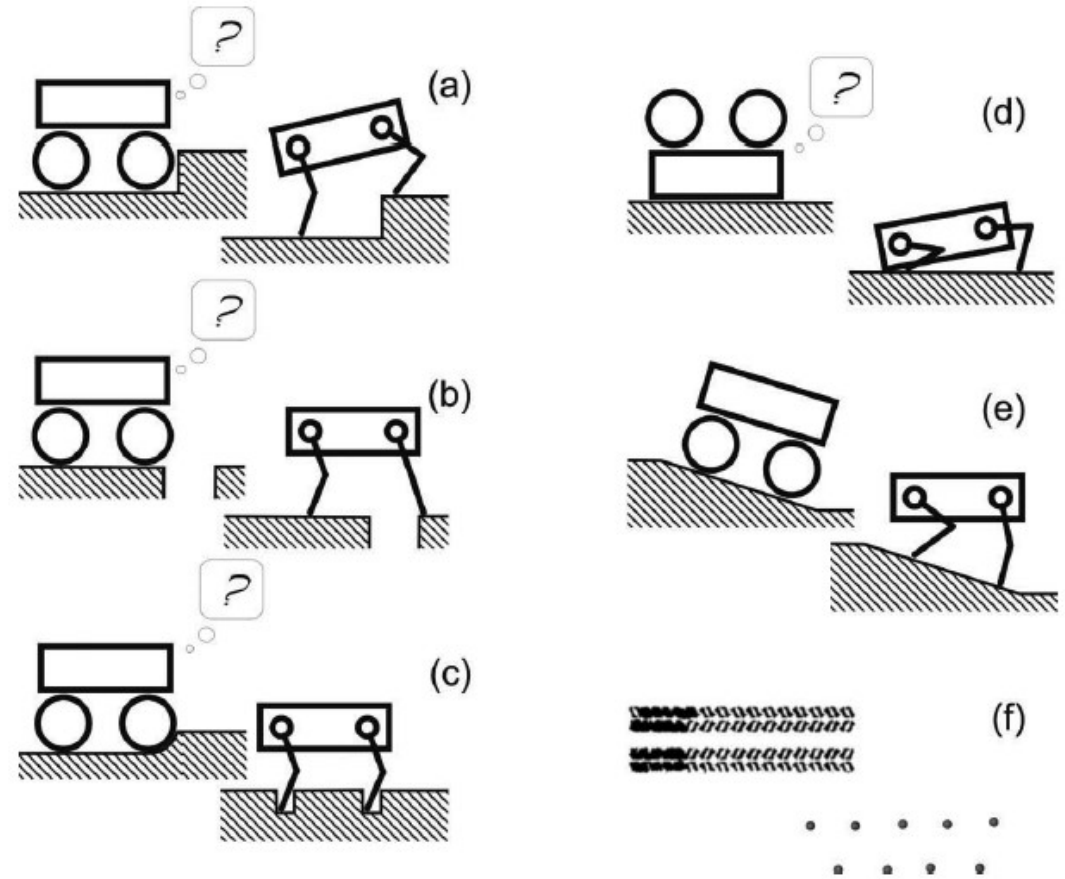


Limiti della locomozione su ruote

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

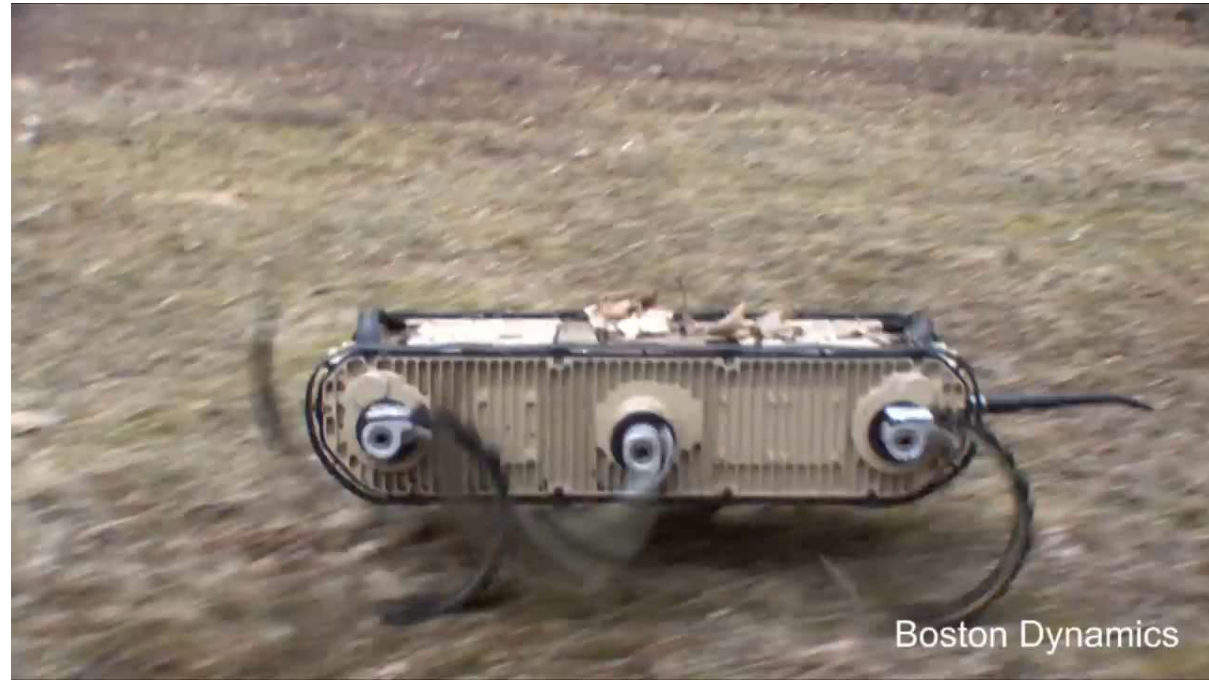
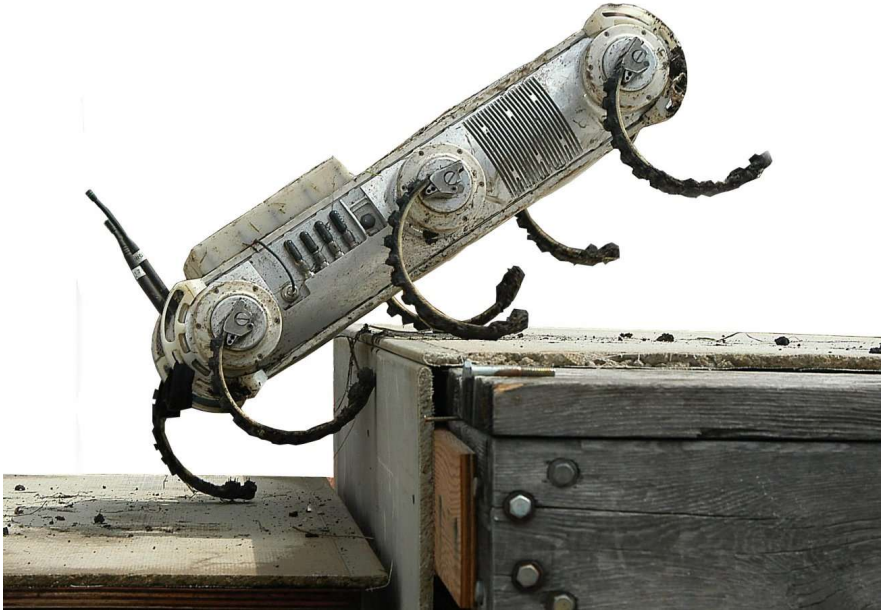
Il maggior numero di gradi di libertà permette al robot con le gambe di rialzarsi in caso di caduta (d) e di mantenere livellato il carico (e)

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



Esempio

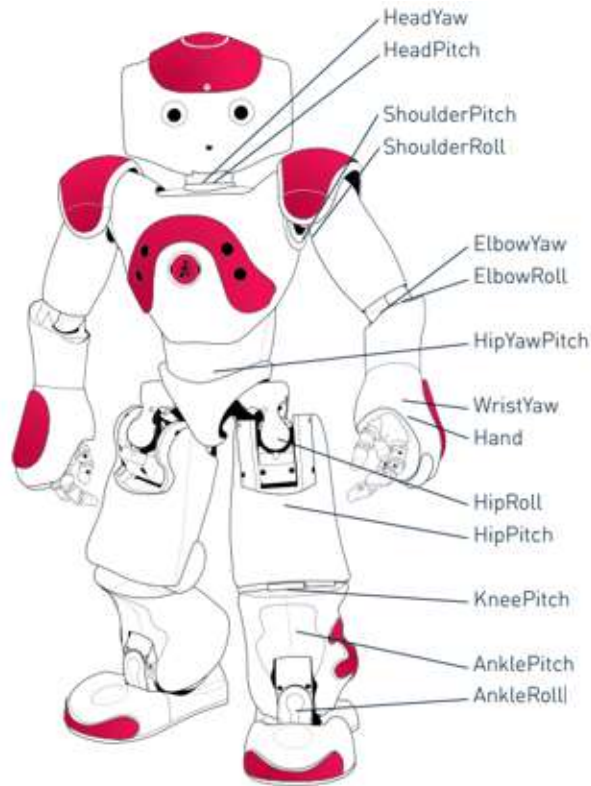
<https://www.bostondynamics.com/rhex>



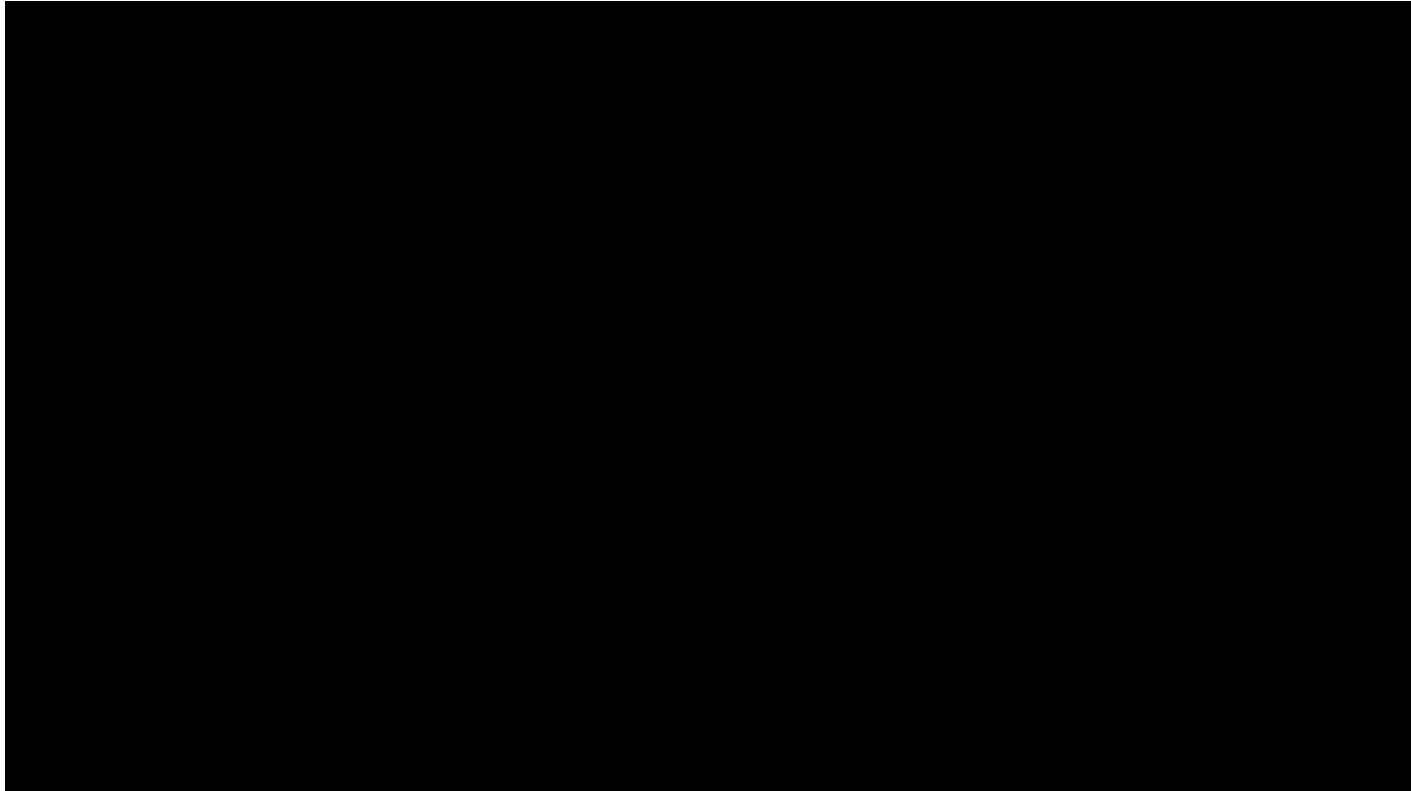
<https://www.youtube.com/watch?v=ISznqY3kESI>

Esempio

http://doc.aldebaran.com/2-1/family/nao_h25/motors_h25.html



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

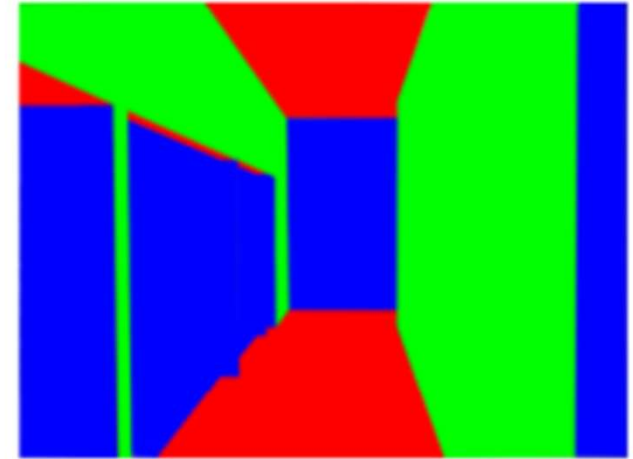
- struttura
- mezzo (acqua, aria, terreno
soffice, terreno duro)

Natura del contatto

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

Ambiente

Strutturato



Non strutturato

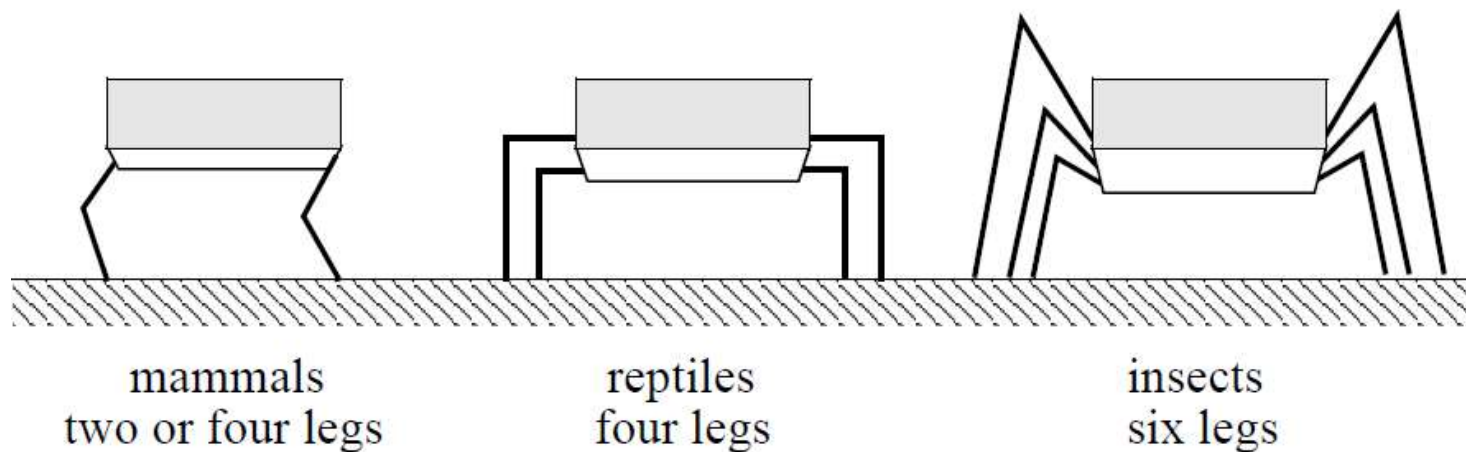


Robot mobili con gambe

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

Durante la camminata alcune gambe sono sollevate

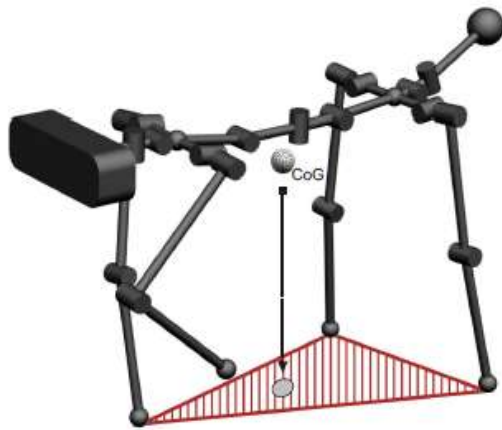
- Si perde stabilità?



Sono necessarie almeno 4 gambe per una camminata staticamente stabile

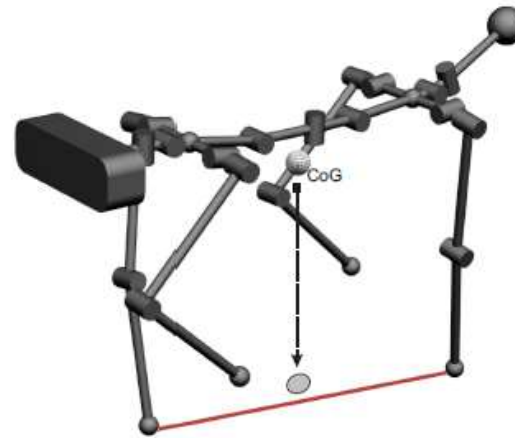
Stabilità statica/dinamica

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

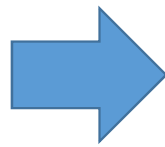
Gradi di libertà

DoF: degrees of freedom

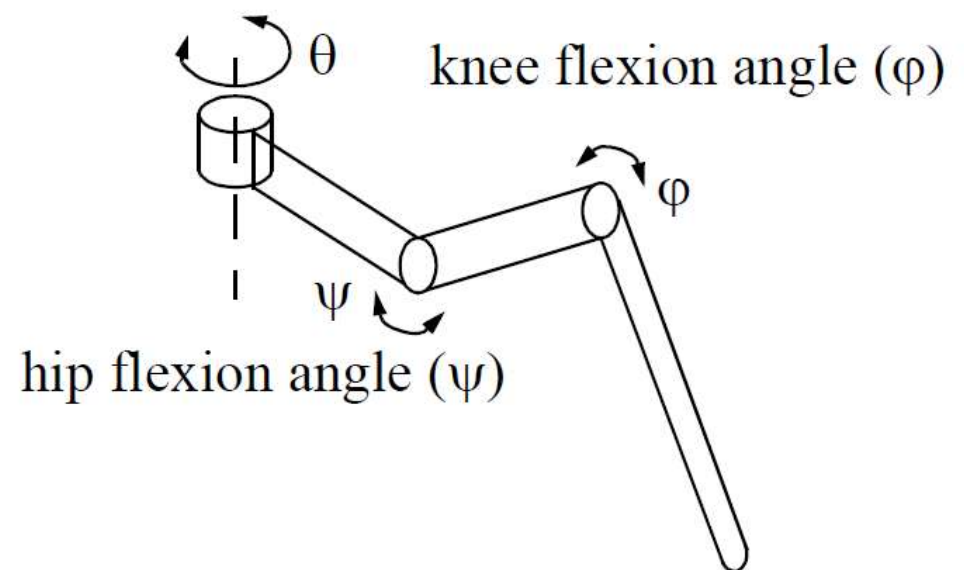
Sono necessari minimo due gradi di libertà per spostare in avanti una gamba:

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

Di solito si preferisce avere 3 DoF per ogni gamba



hip abduction angle (θ)

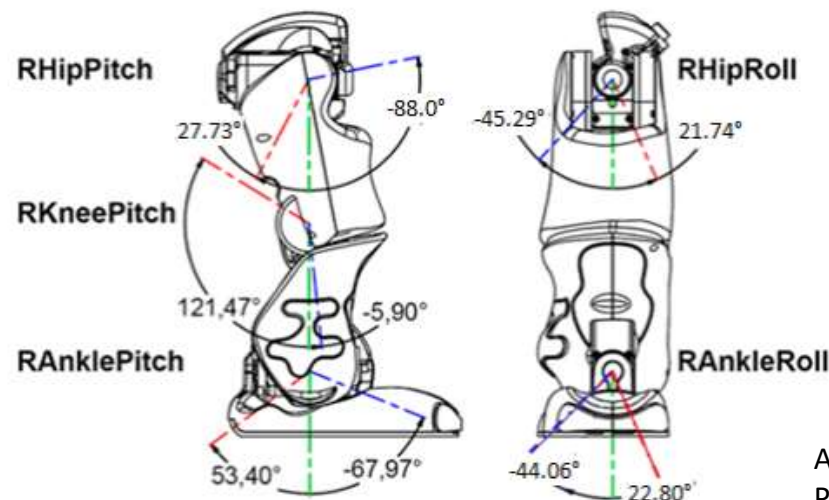


Aggiunta di DOF

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

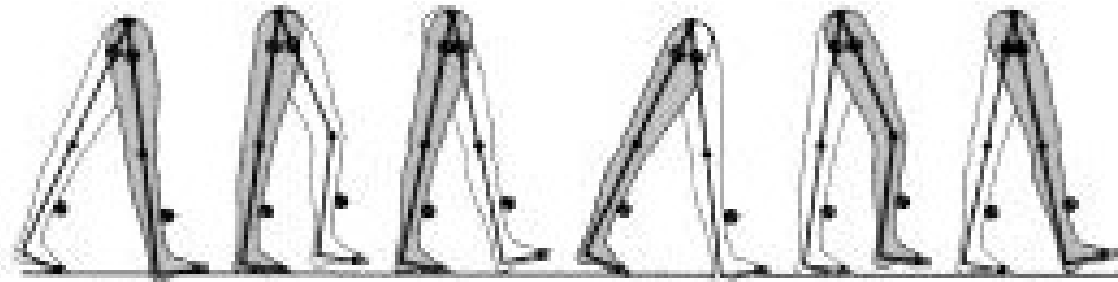
Gait

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

Il numero N di eventi con k gambe è:

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

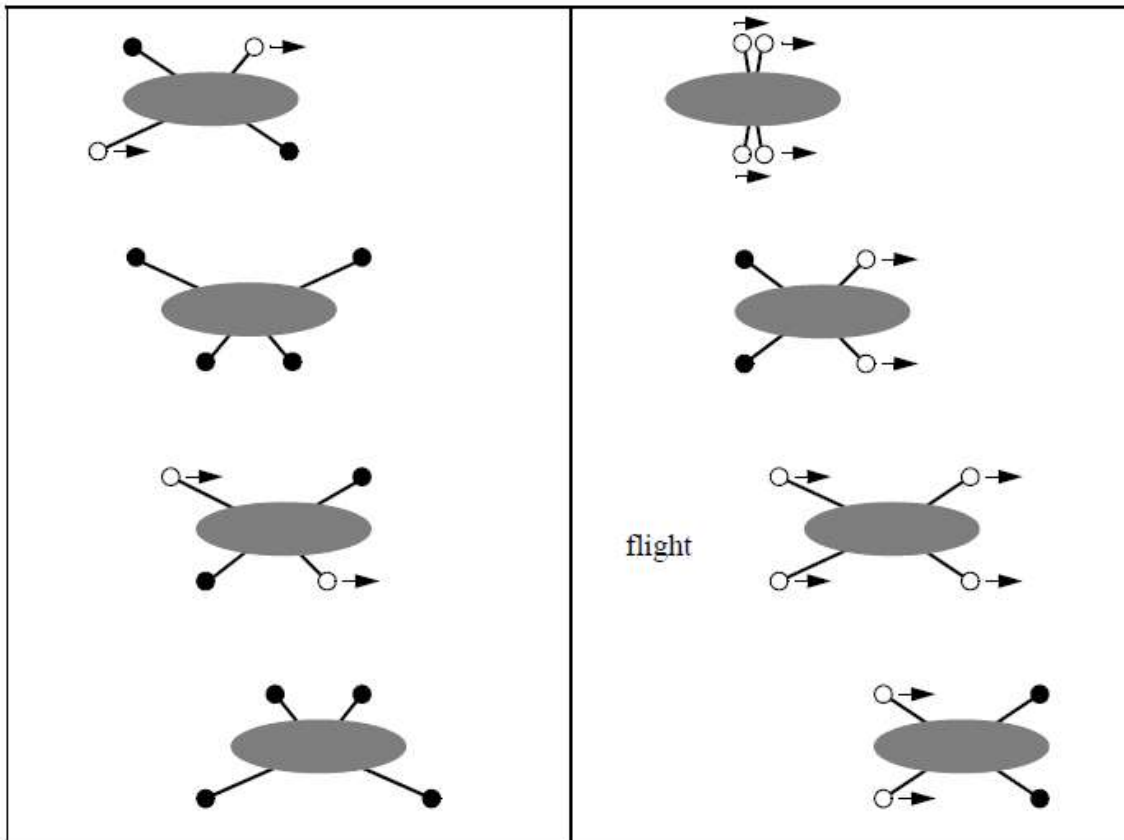
Per un bipede il numero di possibili eventi è 6



Repetitive Gait of Passive Bipedal Mechanisms in a Three-Dimensional Environment
Harry Dankowicz, Jesper Adolfsson and Arne B. Nordmark

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

Gait con 4 gambe



trotto

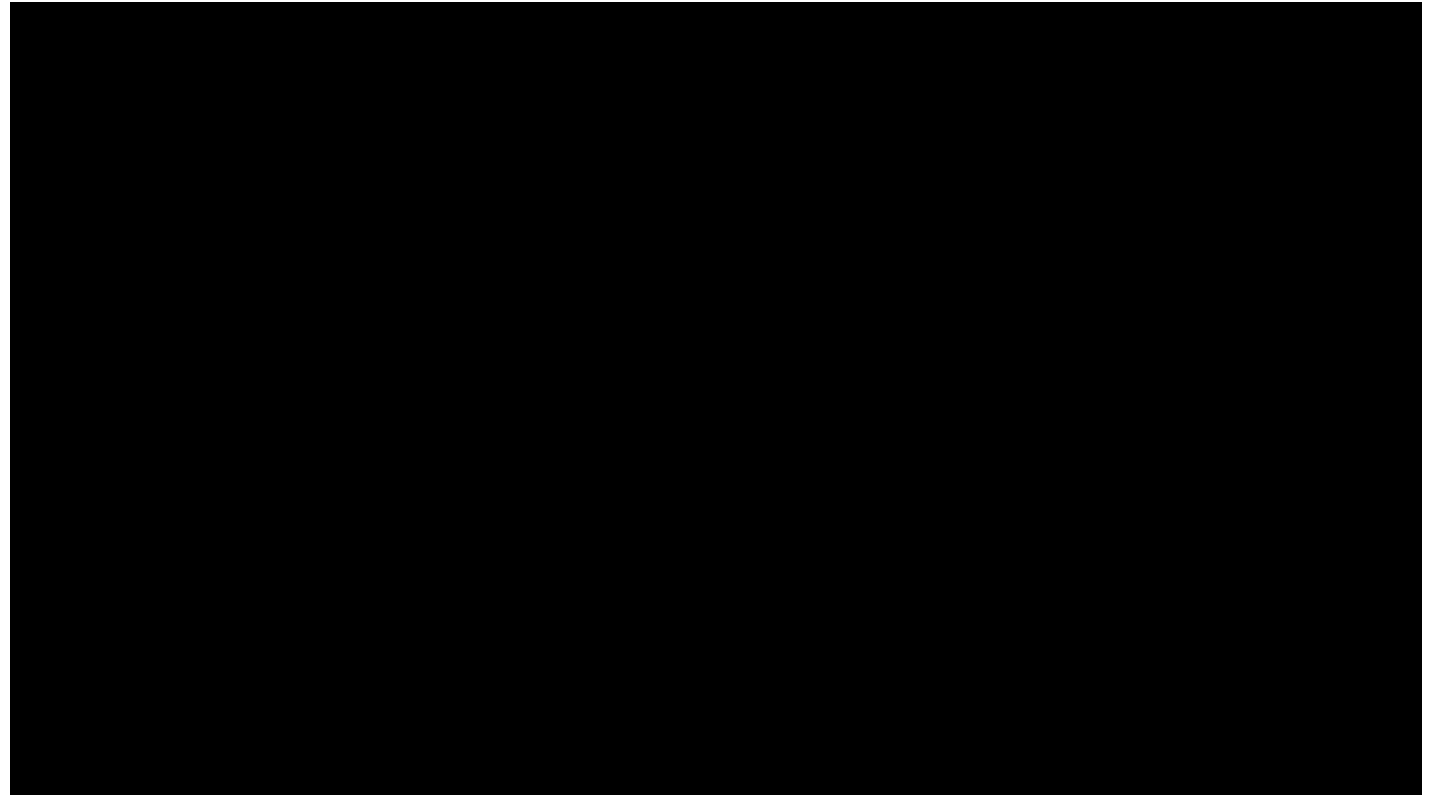
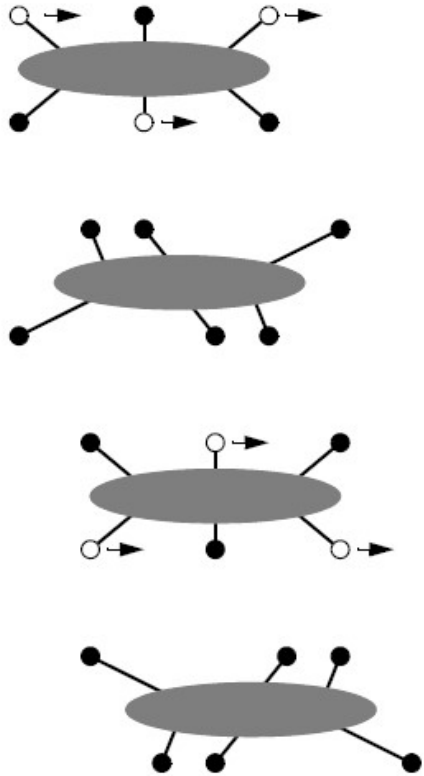
galoppo



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

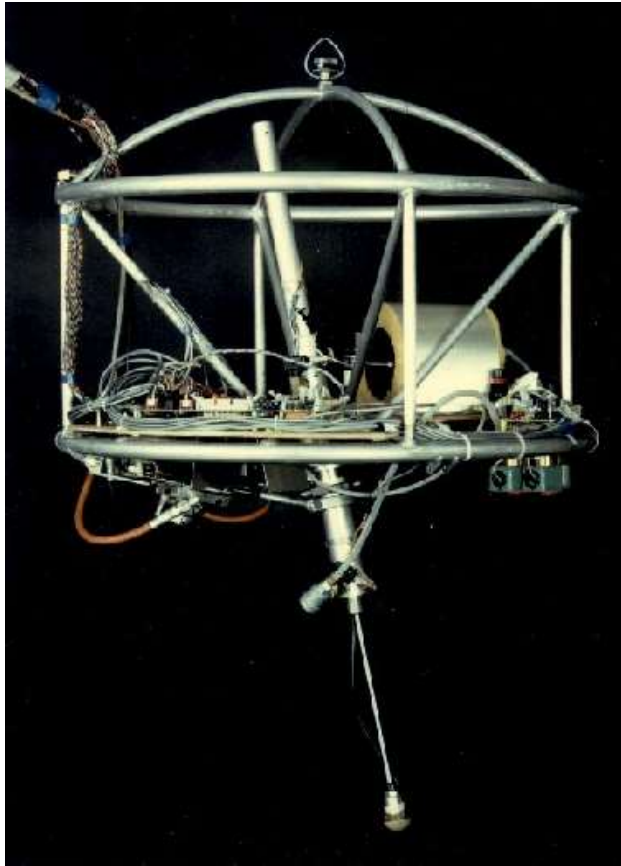


Almeno 3 gambe sono sempre in contatto con il terreno

<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

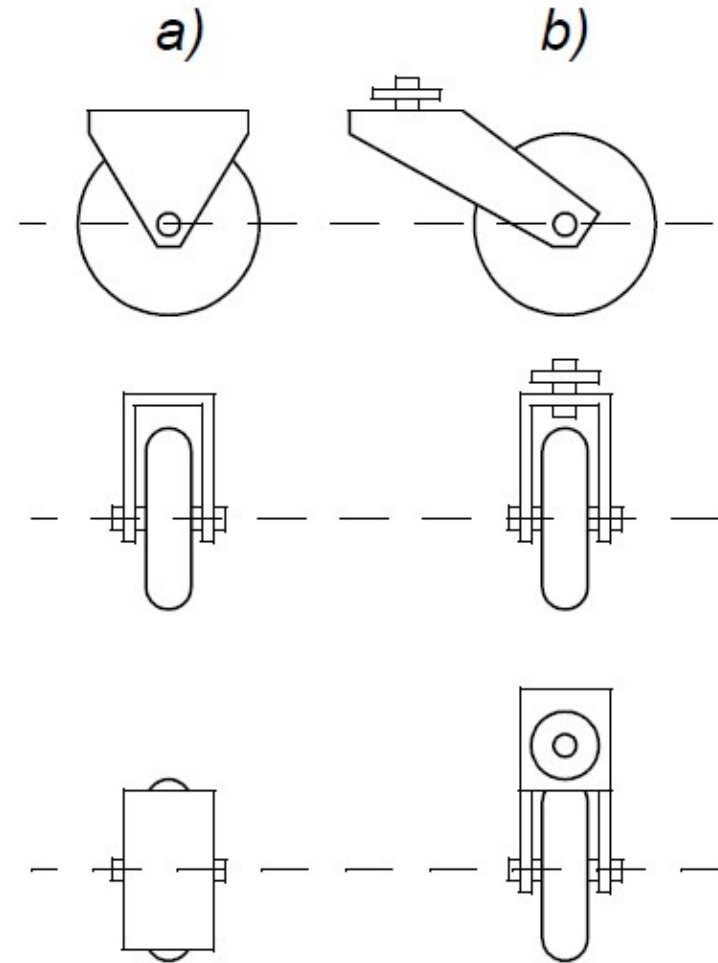
- **Ruota attiva**
collegata con un motore che fornisce una coppia motrice esterna
- **Ruota passiva**
si muove per trascinamento perchè priva di coppia motrice applicata

Ruota semplice e Castor

a) Ruota semplice

2 DoF

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



b) Castor

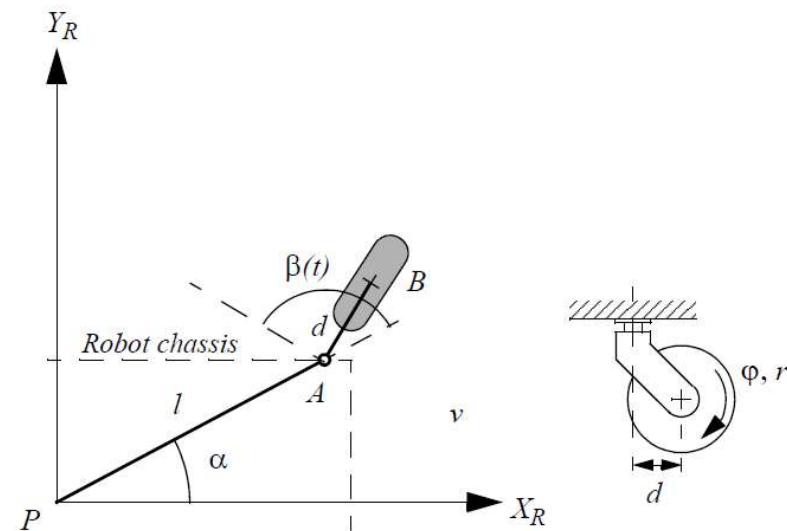
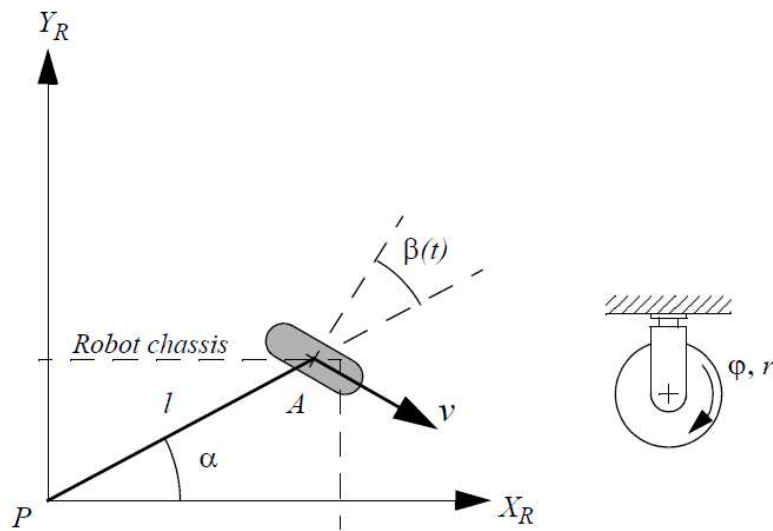
2 DoF

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

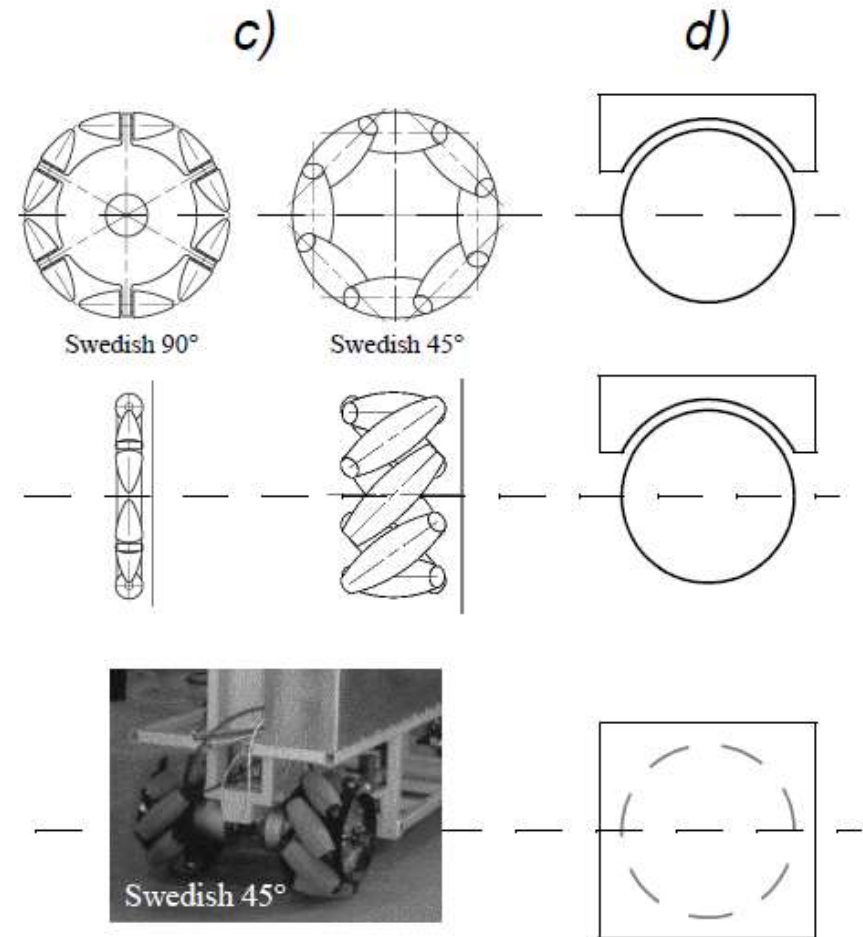


Swedish wheel e ruota sferica

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


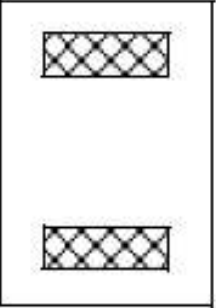
La stabilità è garantita con 3 ruote

- 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

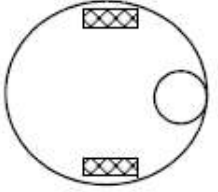
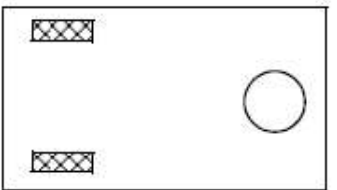
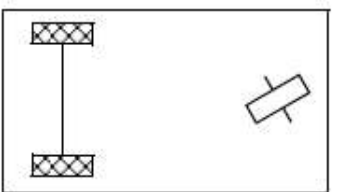
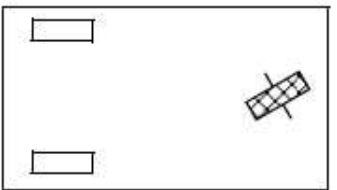
2 ruote

	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

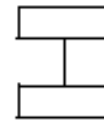
 ruota semplice sterzante

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>



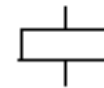
ruota non motorizzata ominidirazionale (sferica, castor, swedish)



ruote connesse

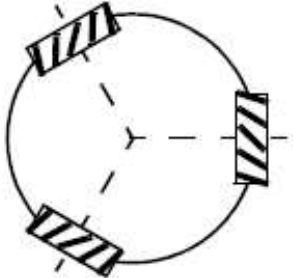
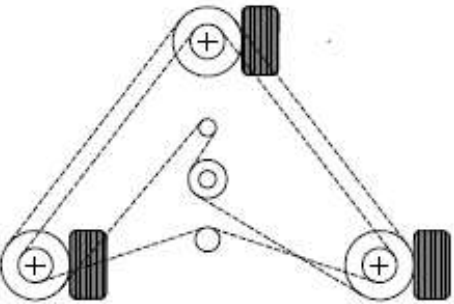


ruota semplice motorizzata



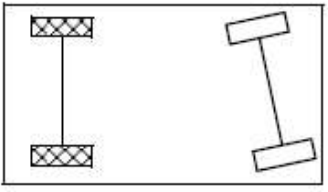
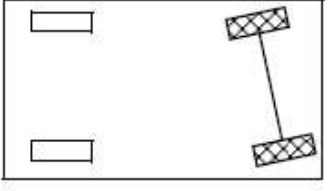
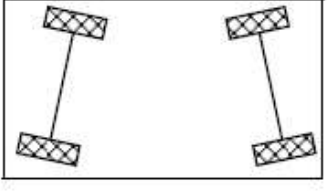
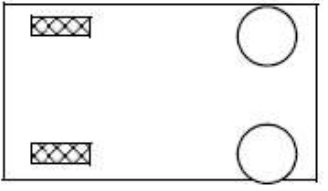
ruota semplice sterzante

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 indicate the center and radius of the vehicle.</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, indicating synchronous motorization and steering.</p>	<p>Three synchronously motorized and steered wheels; the orientation is not controllable</p>

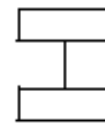
 swedish wheel motorizzata

4 ruote

	<p>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.</p>
	<p>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.</p>
	<p>Four steered and motorized wheels</p>
	<p>Two traction wheels (differential) in rear/front, two omnidirectional wheels in the front/rear</p>



ruota non motorizzata ominidirezionale (sferica, castor, swedish)

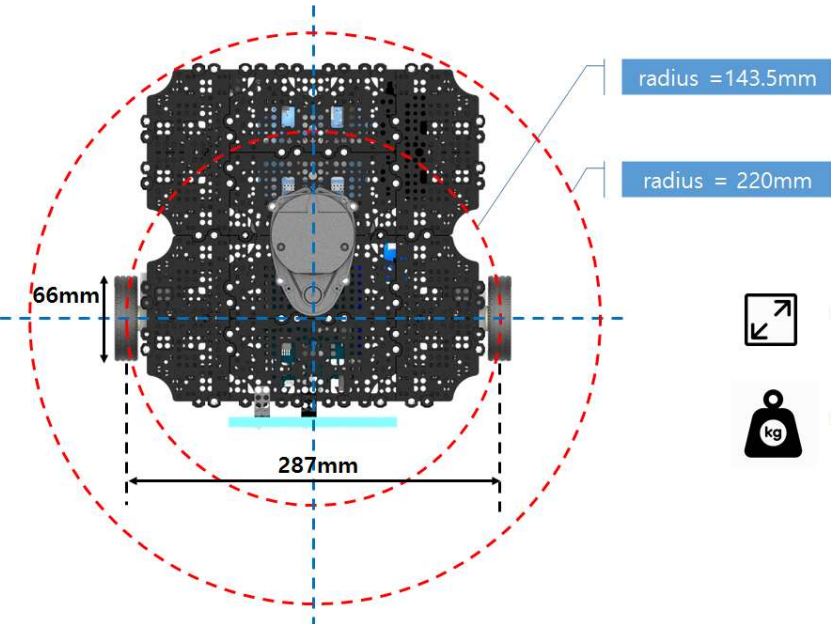



ruote connesse



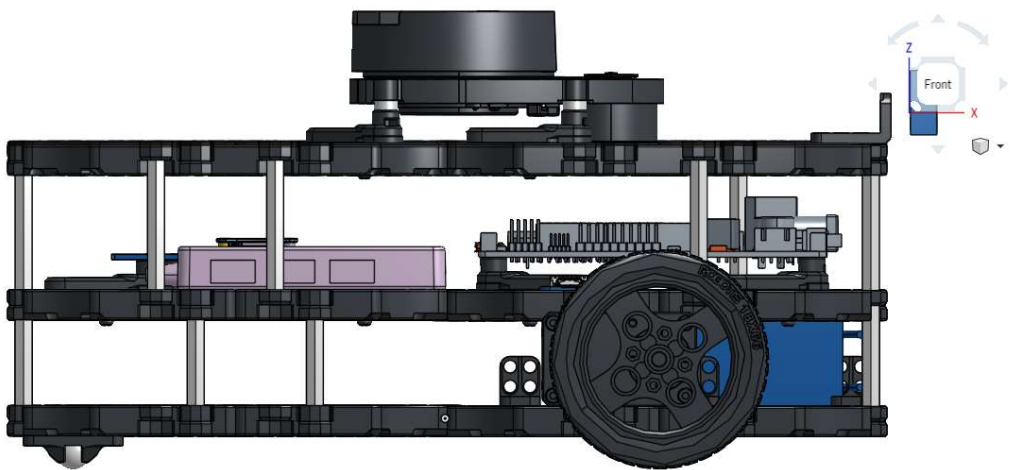
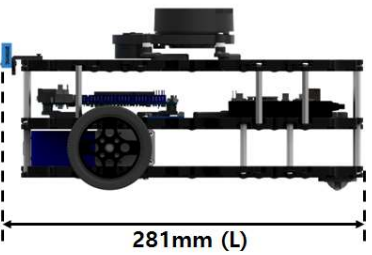
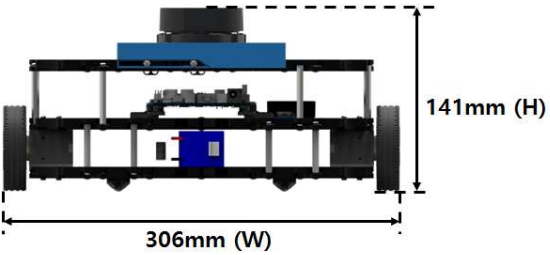
ruota semplice motorizzata

Turtlebot 3

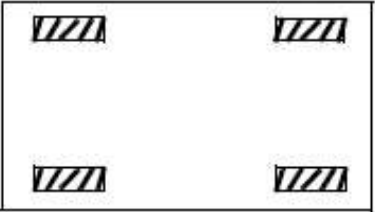
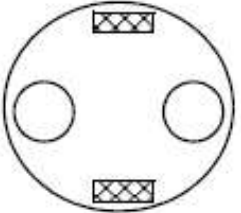
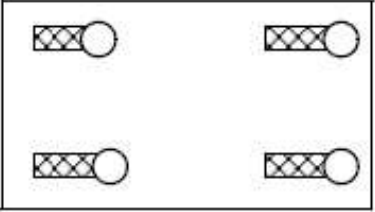


 = 281 x 306 x 141
(L x W x H, mm)

 = 1.8 Kg

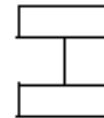


4 ruote

	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)

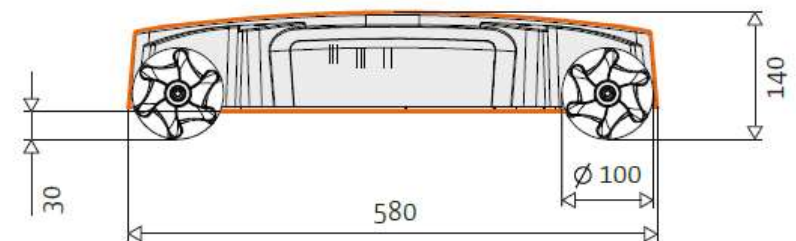
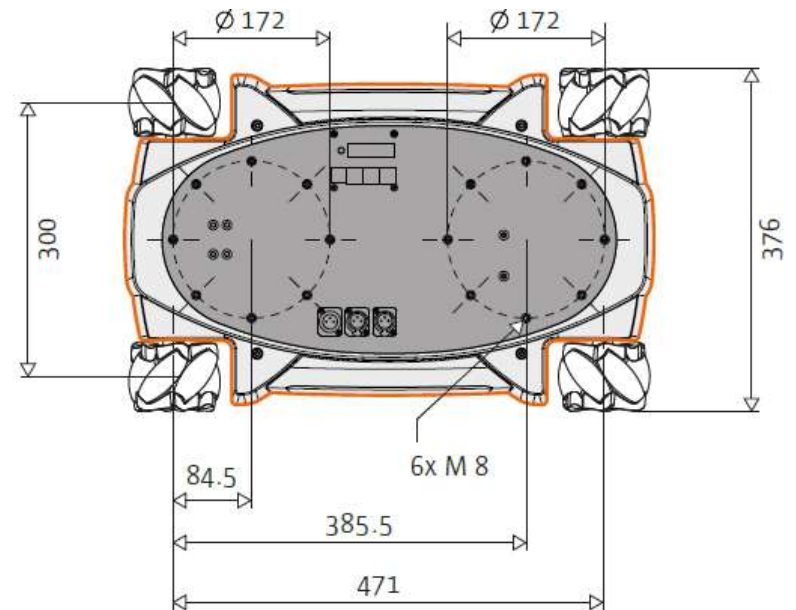


ruote connesse



ruota semplice motorizzata

Youbot



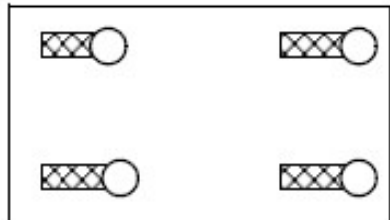
<https://www.generationrobots.com/en/402185-kuka-youbot-mobile-platform.html>

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

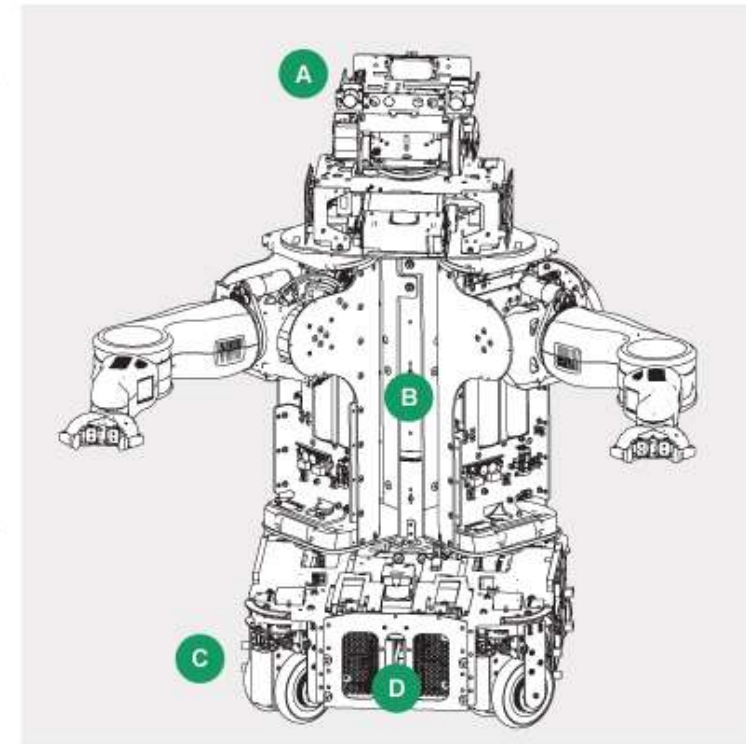
Computing

D 2x Onboard Servers

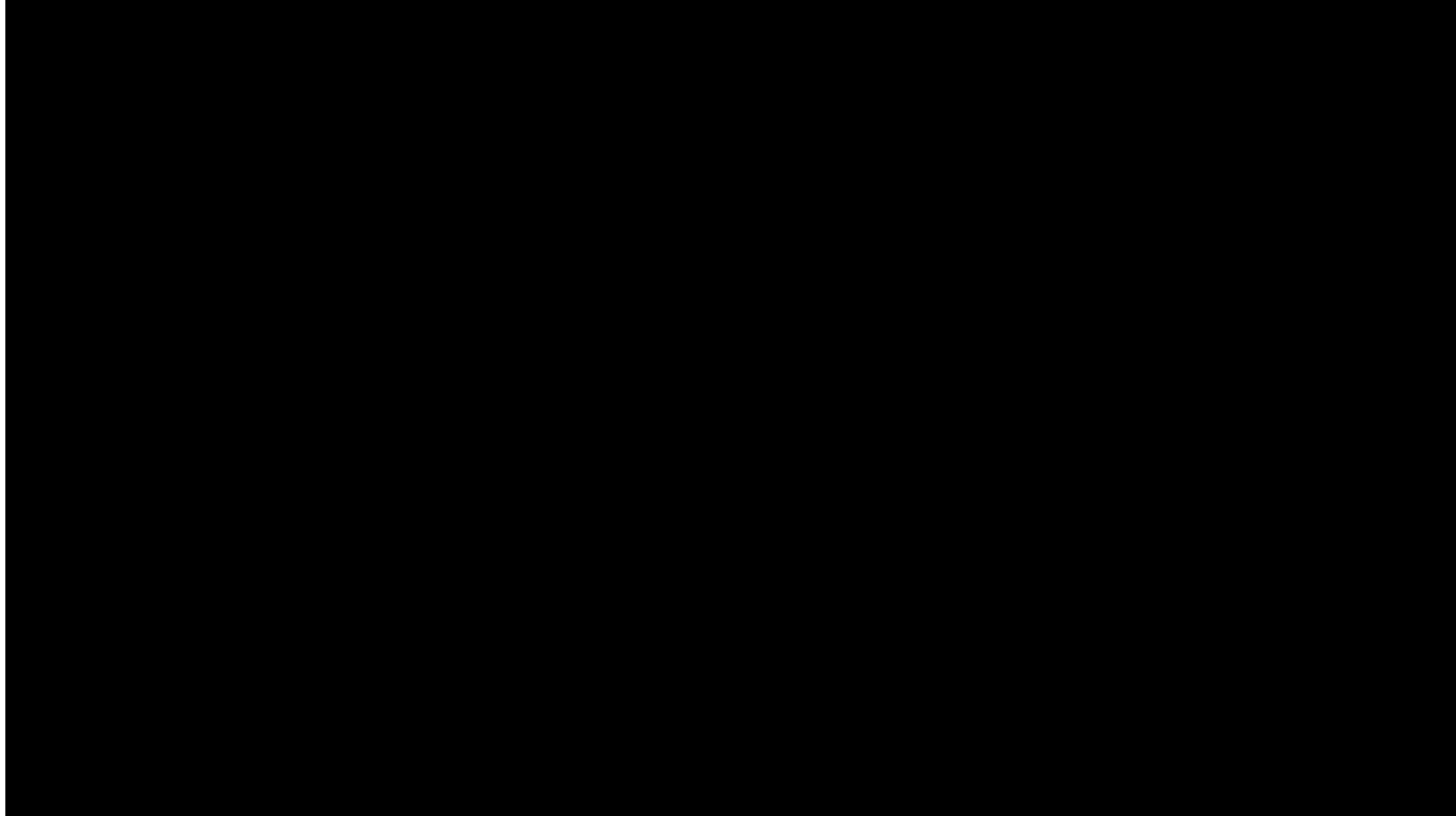
- Processors :: Two Quad-Core i7 Xeon Processors (8 cores)
- Memory :: 24 GB
- Externally Removable Hard Drive :: 1.5 TB
- Internal Hard Drive :: 500 GB

In the Box

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

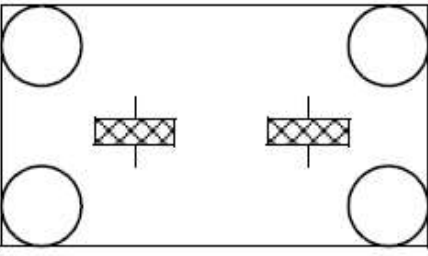
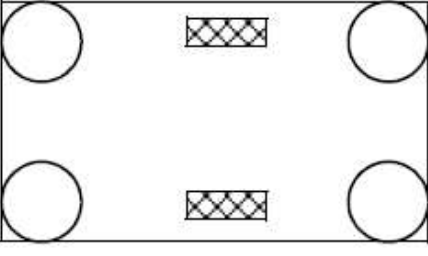


PR2 Esempio



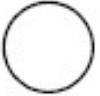
<https://www.youtube.com/watch?v=uqoBXbBtm2E>

6 ruote

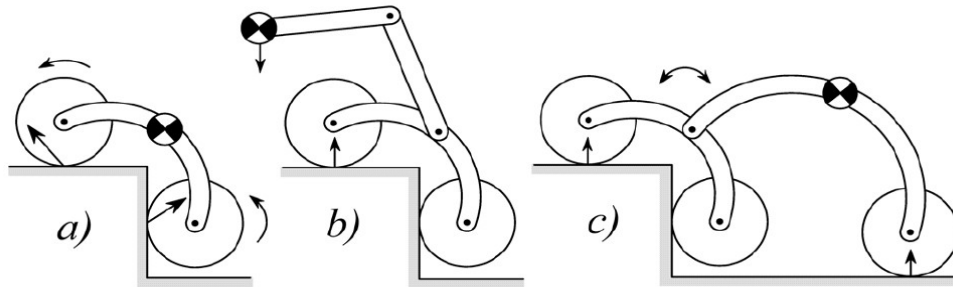
 <p>The diagram shows a rectangular chassis with four circles at the corners representing omnidirectional wheels. In the center, there are two rectangular blocks with a cross-hatch pattern, each with a vertical line extending downwards from its center, representing motorized and steered wheels.</p>	<p>Two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

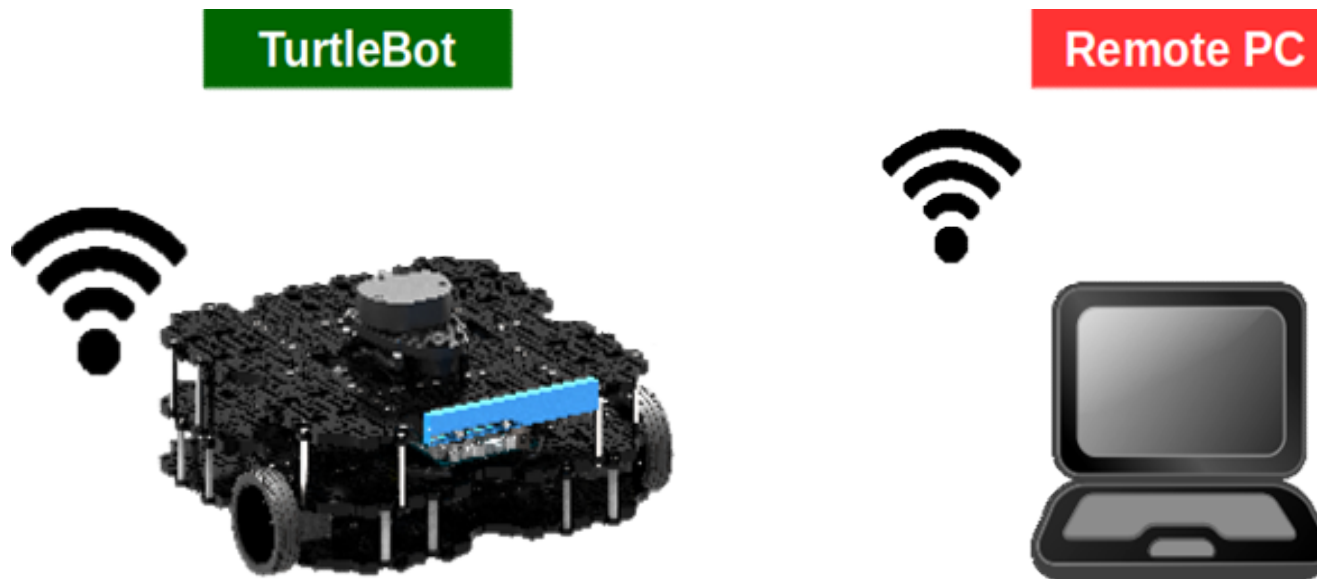
Adapted suspension mechanism with passive or active joints

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

Turtlebot 3 - Software

PC Software Setup

https://turtlebot3.readthedocs.io/en/latest/pc_software.html



Ubuntu 16.04 & ROS Kinetic

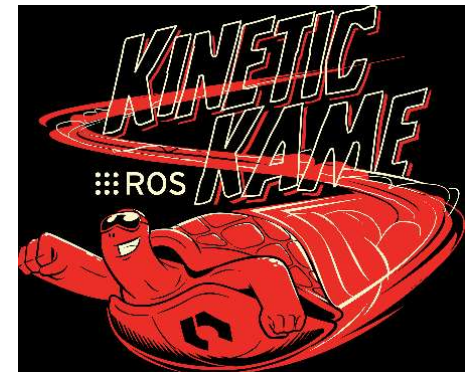
Ubuntu 16.04.3 LTS (Xenial Xerus)

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



ROS Kinetic Kame

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





UNIVERSITÀ
di VERONA

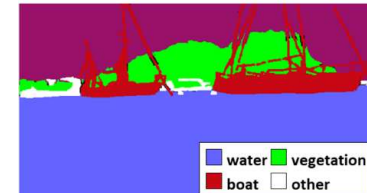
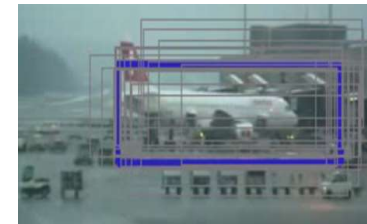
Dipartimento
di INFORMATICA

Laurea magistrale in Ingegneria e scienze informatiche

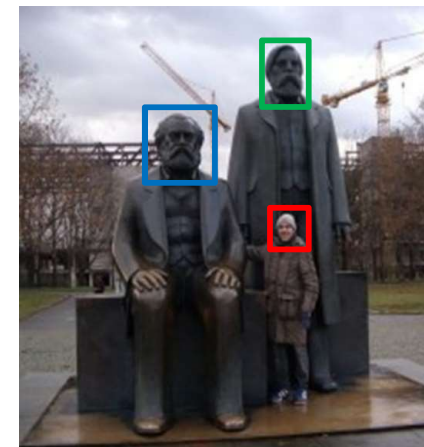
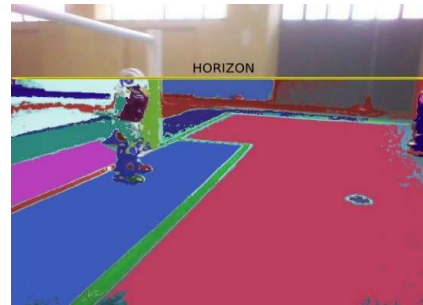


*Corso di Robotica
Parte di Laboratorio*

Docente:
Domenico Daniele Bloisi



Locomozione



Ottobre 2017