



ISTITUTO ITALIANO
DI TECNOLOGIA
DYNAMIC LEGGED SYSTEMS

Robot quadrupedi: innovazione, applicazioni e sfide future

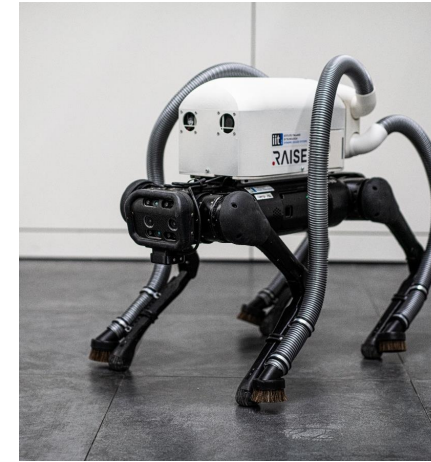
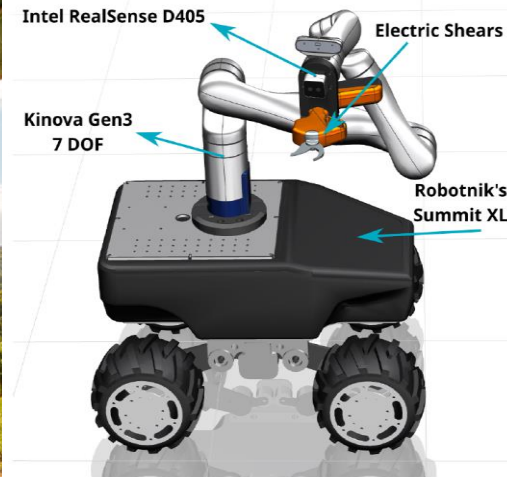
Matteo Villa

Confindustria Bergamo

2 Dicembre 2025

Un viaggio nell'evoluzione dei **robot quadrupedi**

- Introduzione
- Breve storia dei robot a gambe
- Sviluppo dei robot quadrupedi presso IIT
- Applicazioni dei robot quadrupedi
- Analisi di mercato e prospettive future







Istituto Italiano di Tecnologia

11 CENTRI IN ITALIA
2 OUTSTATIONS (USA)

GENOVA:

- Center for Convergent Technologies
- Center for Synaptic Neuroscience and Technology
- Center for Human Technologies
- Center for Robotics and Intelligent Systems



 <p>Computational Sciences</p> <p>is focused on massive simulations of physical systems, repeated numerous times to generate robust statistics and data mining of vast datasets to identify unexpected patterns.</p>	 <p>LifeTech</p> <p>is devoted to developing advanced genetic, molecular, electrophysiological, computational, imaging, and perturbation tools for dissecting the microscopic neural processes underlying brain function.</p>	 <p>Nanomaterials</p> <p>includes new sustainable/biodegradable materials, nanocomposites, 2D materials, nanofabrication technologies and nanodevices, and new colloidal chemistry approaches.</p>	 <p>Robotics</p> <p>advances the state of the art by developing new robotic platforms in hardware and software.</p>
---	--	---	--



Focus su Ricerca e Trasferimento Tecnologico

-  Center for Neuroscience e Cognitive Science, Università di Trento, TRENTO
-  Center for Genomic Science, Campus IFOM-IEO, MILANO
-  Center for Nano Science and Technology, Politecnico di Milano, MILANO
-  Center for Sustainable Future Technologies, Politecnico di Torino, TORINO
-  Center for Translational Neurophysiology, Università di Ferrara, FERRARA
-  Center for Microbiorobotics, Scuola Superiore Sant'Anna, PISA
-  Center for Nanotechnology Innovation, Scuola Normale Superiore, PISA
-  Center for Life Nanoscience, Università degli Studi di Roma La Sapienza, ROMA
-  Center for Advanced Biomaterials for Health Care, Università Federico II di Napoli, NAPOLI
-  Center for Biomolecular Nanotechnologies, Università del Salento, LECCE
-  Center for Cultural Heritage Technology, Università Ca' Foscari, VENEZIA

- Machine Learning, MIT, BOSTON (USA)
- Neurobiology Dept., Harvard Univ., BOSTON (USA)

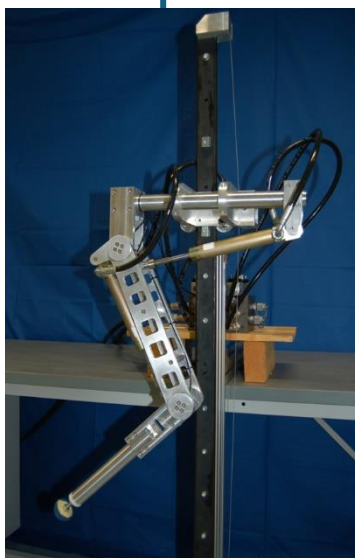


19 anni di esperienza:

PI: Claudio Semini

nella progettazione e nel controllo di **robot quadrupedi**

2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025



HyQ leg prototype

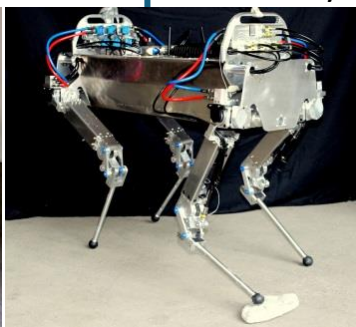
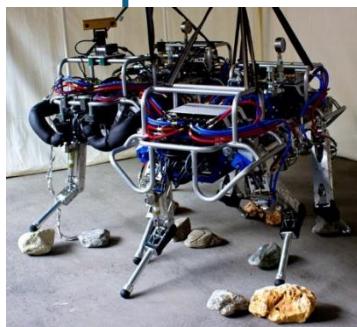


HyQ robot (90kg)

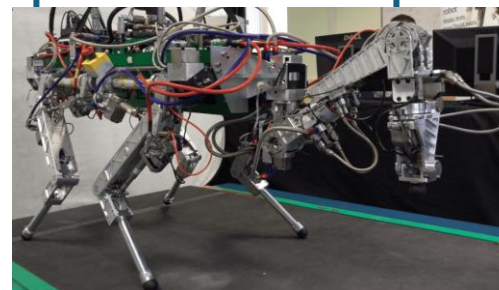
HyQ robot copies sold



HyQ2Max (80kg)



MiniHyQ



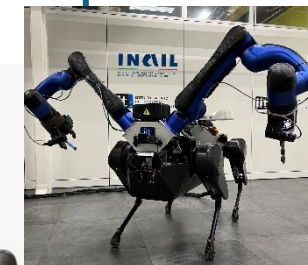
HyQ-centaur



HyQReal (140kg)



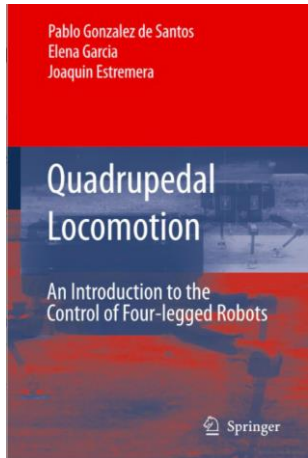
HyQReal with INAIL-IIT arm



HyQReal2 with dual arm system (by IIT-HHCM)



Vantaggi delle zampe



<p>Mobility</p>	
<p>Obstacle surmounting</p>	
<p>Active suspension</p>	
<p>Natural terrain (non-continuous terrain)</p>	
<p>Slippage and jamming</p>	
<p>Environmental damage</p>	
<p>Average speed</p>	

Movimento omnidirezionale

6 gradi di libertà del torso (x, y, z, roll, pitch, yaw) con gli stessi punti d'appoggio

Piccoli movimenti del torso, ostacoli più alti

Il torso rimane stabile anche su terreni irregolari

Fessure, terreno non continuo

Ruote affondano nei terreni morbidi

Minori danni, percorso continuo vs. punti di contatto discreti

Zampe mantengono una velocità media simile su diversi tipi di terreno

Un viaggio nell'evoluzione dei **robot quadrupedi**

- Introduzione
- Breve storia dei robot a gambe
- Sviluppo dei robot quadrupedi presso IIT
- Applicazioni dei robot quadrupedi
- Analisi di mercato e prospettive future



Automa di Leonardo da Vinci (intorno al 1500)



Leonardo
Da Vinci
(1452 – 1519)



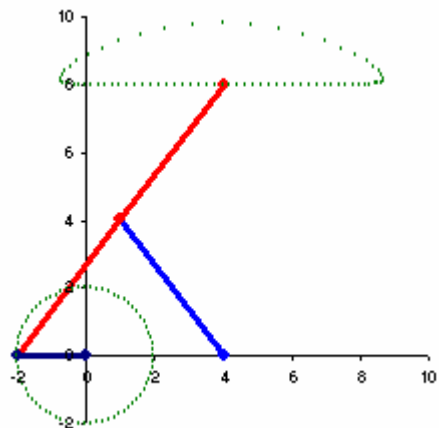
Leonardo's Knight (1495) - ricostruito



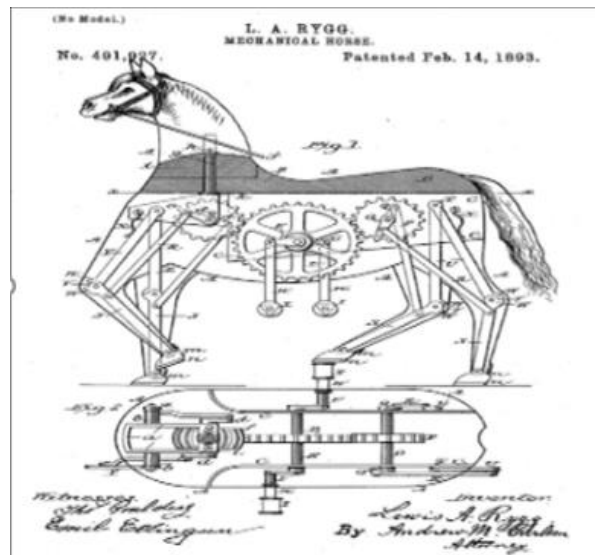
Leonardo's Lion (1505) - ricostruito

Automi meccanici a corde e pulegge.

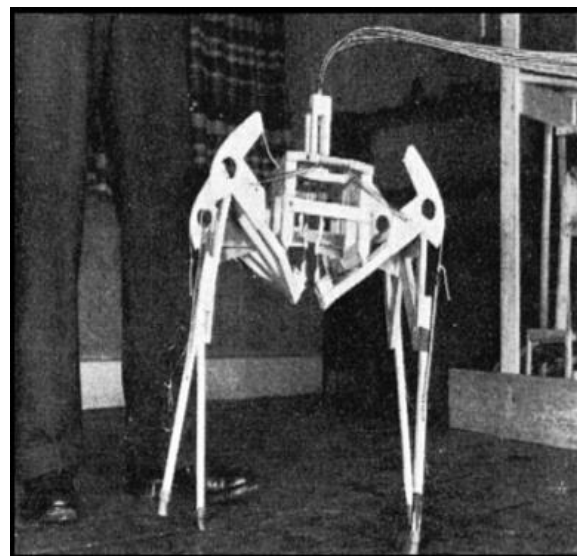
XIX secolo, anni '40 e '60 del Novecento



Chebyshev Mechanism (1870)



Mechanical Horse (Rygg, 1893)



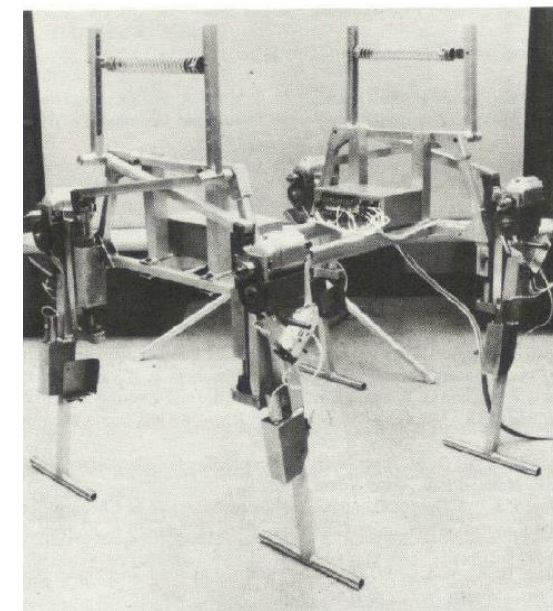
Hutchinson Quadruped (1940)

otto giunti controllati da cavi flessibili



GE Walking Truck (Mosher & Liston, mid 1960's)

azionato da un operatore seduto all'interno del veicolo

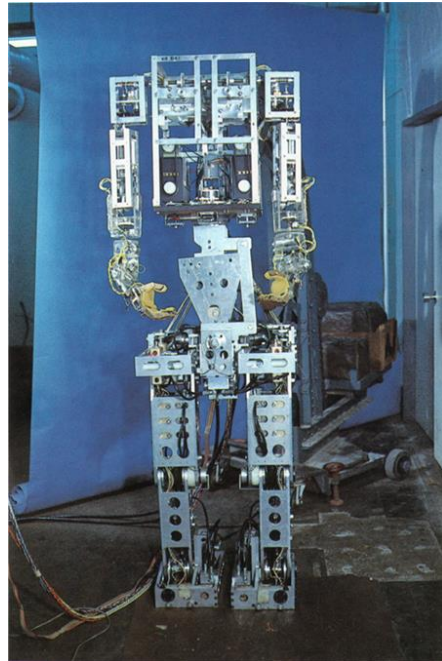


Phony Pony (McGhee & Frank, 1966)

Prima logica elettronica basata su flip-flop

Storia dei robot a gambe

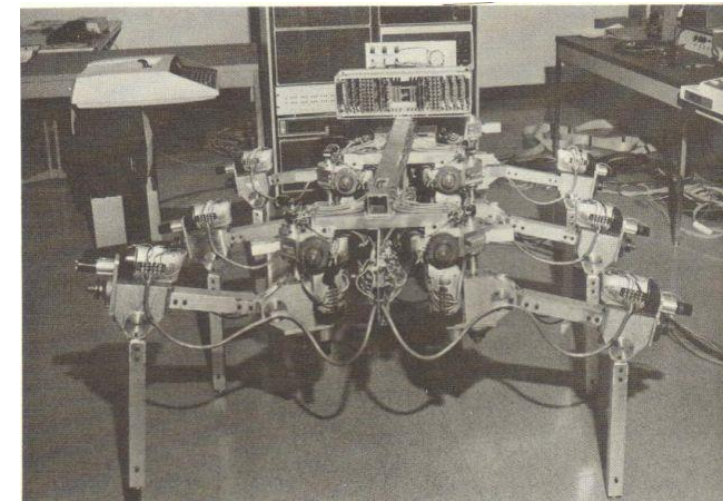
anni '70



WABOT-I (Kato, 1973)

Il WABOT-I, azionato idraulicamente, fu il primo robot umanoide sviluppato al mondo presso l'Università Waseda di Tokyo.

• 人と協調してきたWASEDAのロボット研究
 世界初の人間型ロボットや楽器演奏ロボット, 乳がん診断用ロボット, 筋電義手

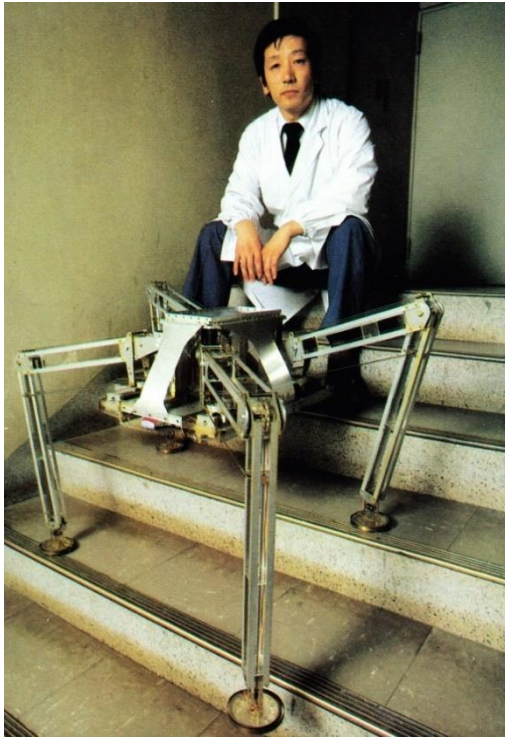


OSU Hexapod (McGhee, 1977)

L'esapode OSU è stato il primo robot a camminare controllato da un computer.

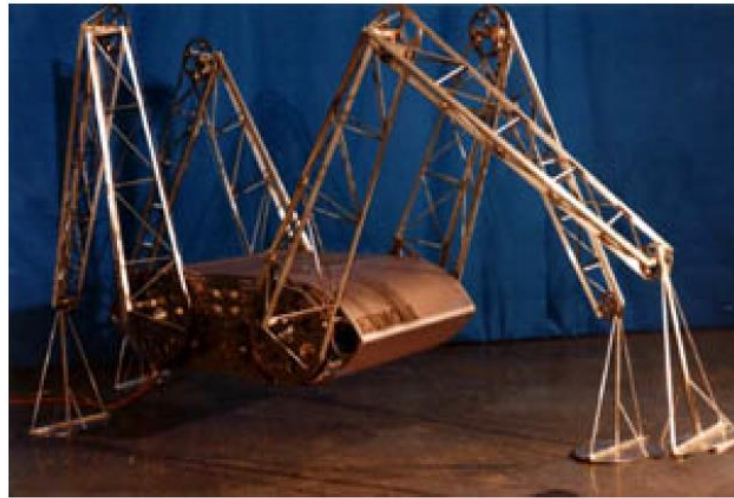
Storia dei robot a gambe

anni '70, Shigeo Hirose (Tokyo Tech)



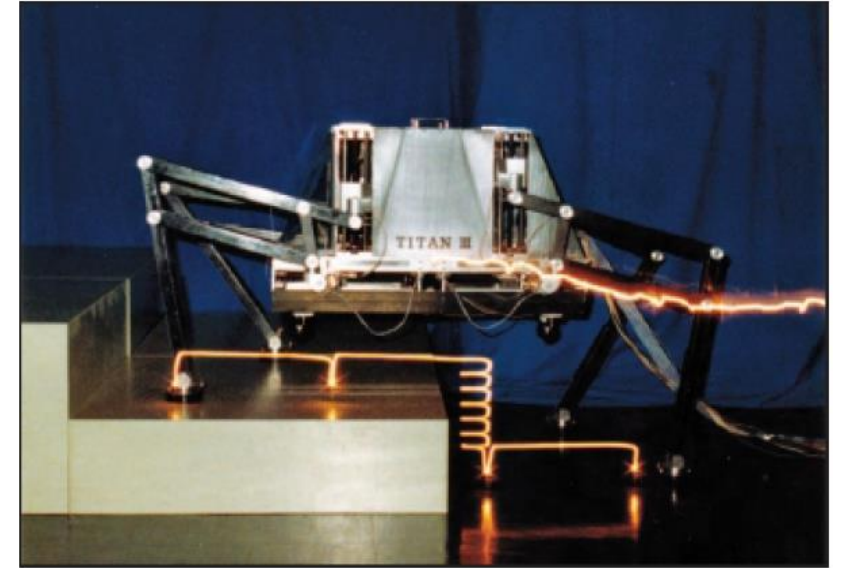
PV-II (Hirose, 1978-79)

Nel 1979, il PV-II rappresentò il primo successo al mondo nella salita di scale basata su sensori, grazie all'impiego di sensori tattili posti all'estremità delle gambe.



KUMO-1 (Hirose, 1976)

KUMO-I fu il primo prototipo di robot deambulante di Hirose, ispirato al ragno dalle zampe lunghe.



TITAN-III (Hirose, 1985)

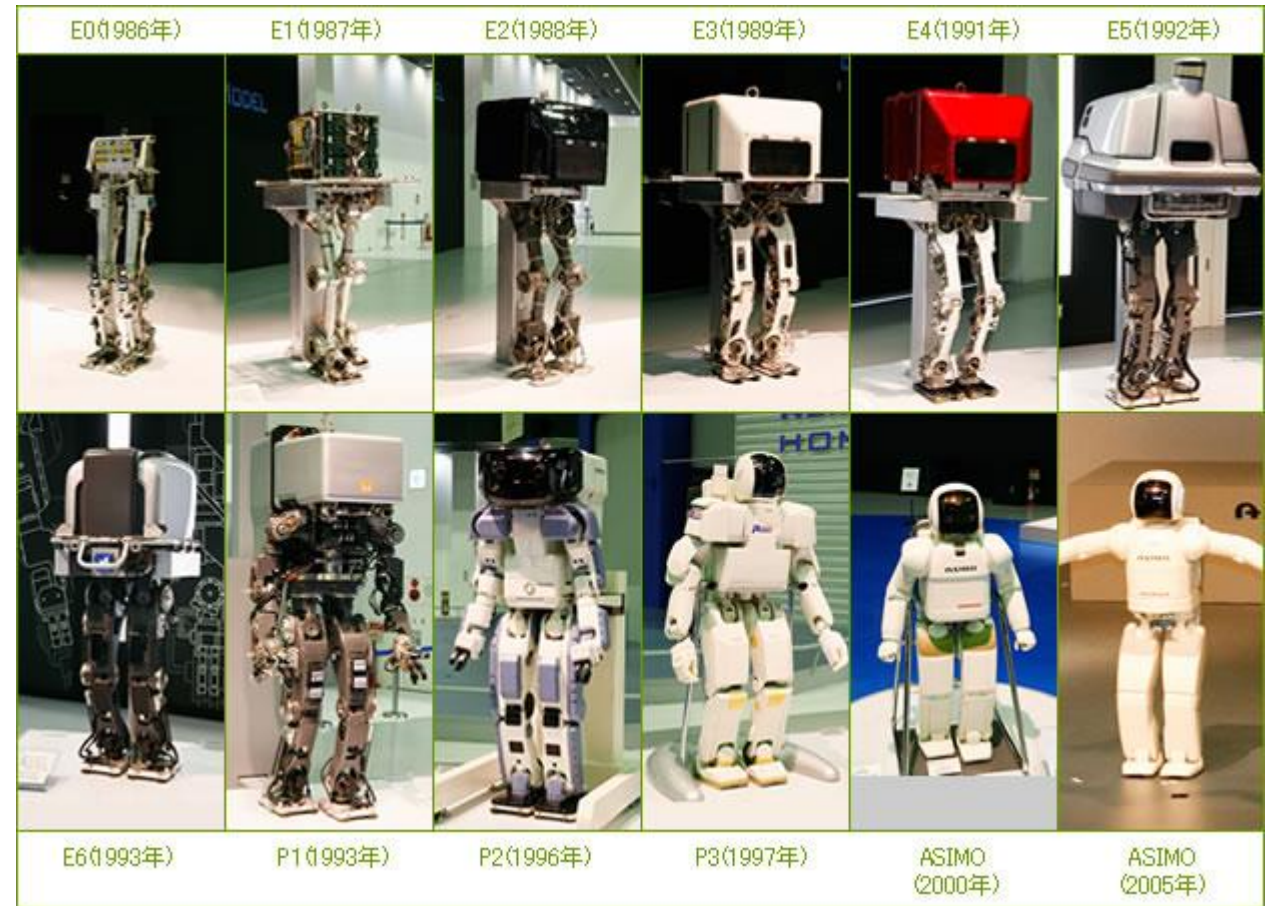
Questo robot è dotato di un programma intelligente progettato per generare una camminata adattiva al terreno, utilizzando un sensore d'assetto e un nuovo sensore di contatto (sensore Whisker).

anni '80



ASV hexapod (McGhee & Waldron, 1986)

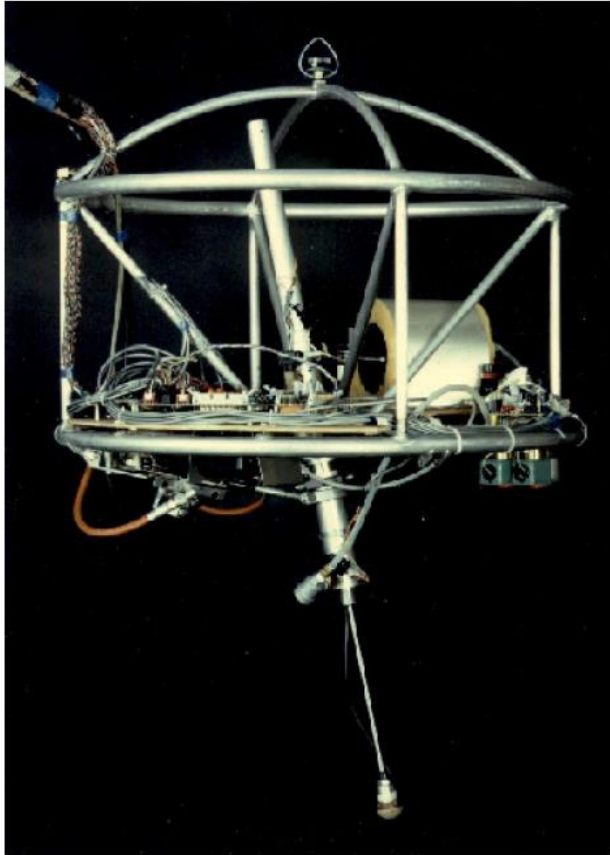
Nel 1986, McGhee insieme a Waldron costruì e testò l'esapode Adaptive Suspension Vehicle (ASV) dal peso di 2,7 tonnellate.



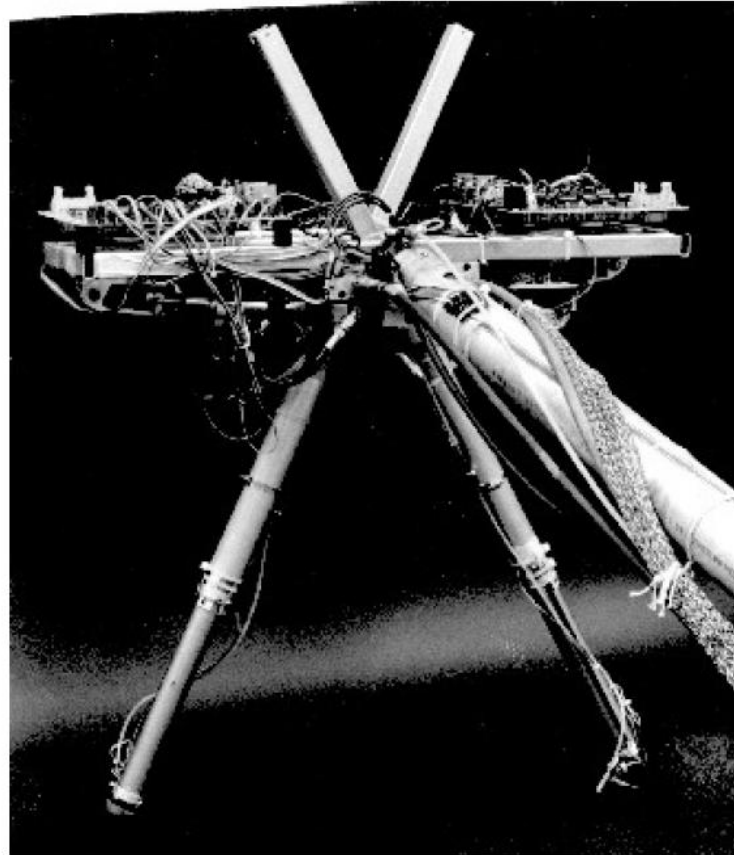
I robot umanoidi di HONDA, ASIMO (1986-2005)

Storia dei robot a gambe

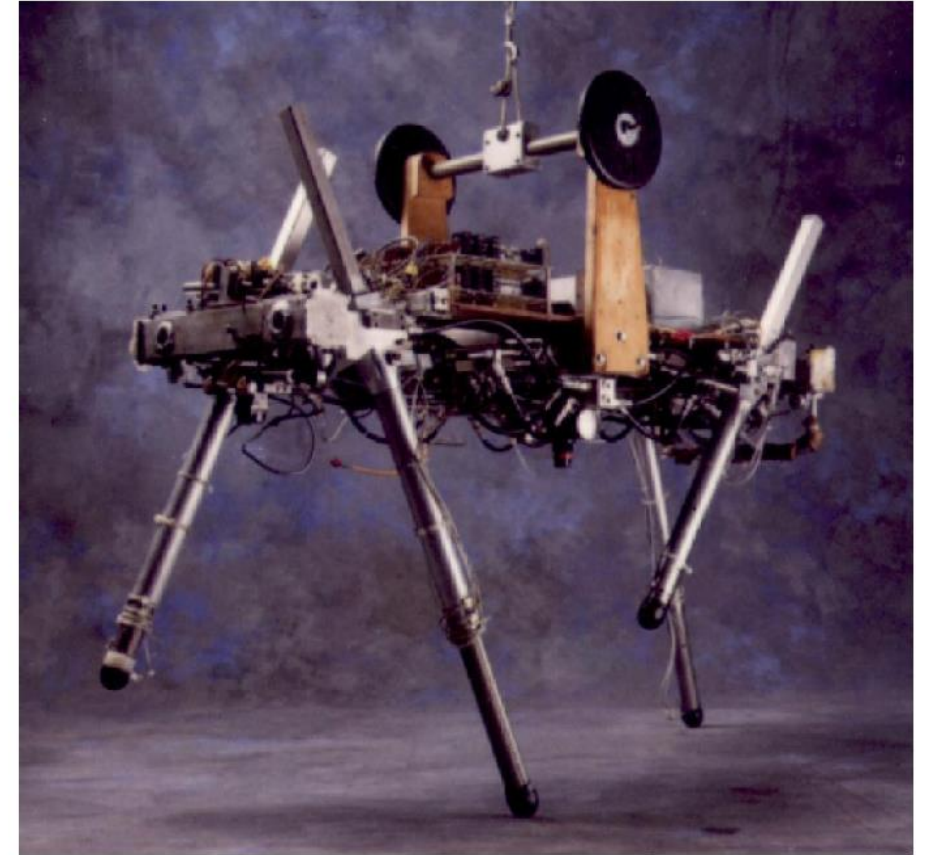
anni '80, Marc Raibert (MIT/CMU)



Monopod 3D-hopper



2D-bipede



quadrupede

Il LegLab di Marc Raibert (inizialmente alla CMU, poi al MIT) sviluppò diversi robot a gambe con stabilità dinamica. La maggior parte di essi era azionata idraulicamente e dotata di gambe prismatiche.

Storia dei robot a gambe

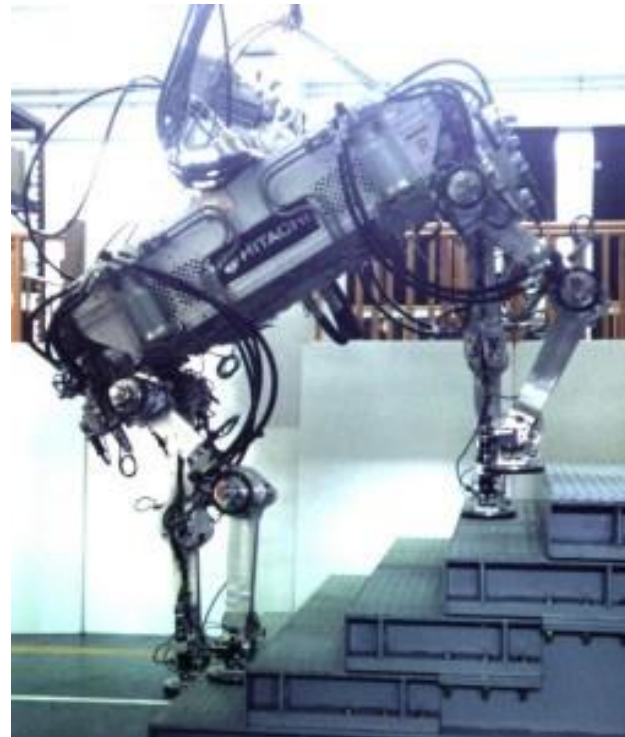
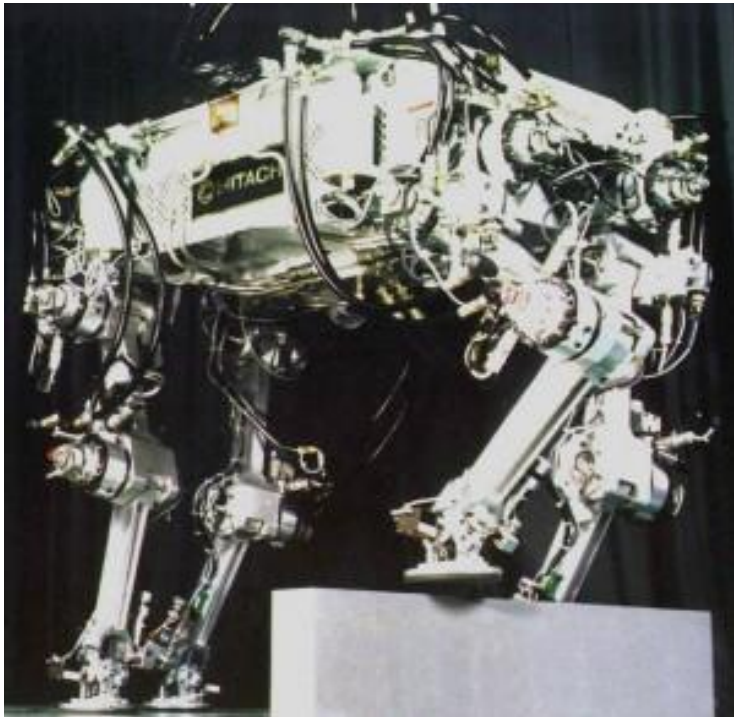


Monopod 3D-hopper del MIT Leg Lab

<https://youtu.be/AFXj81mvInc>

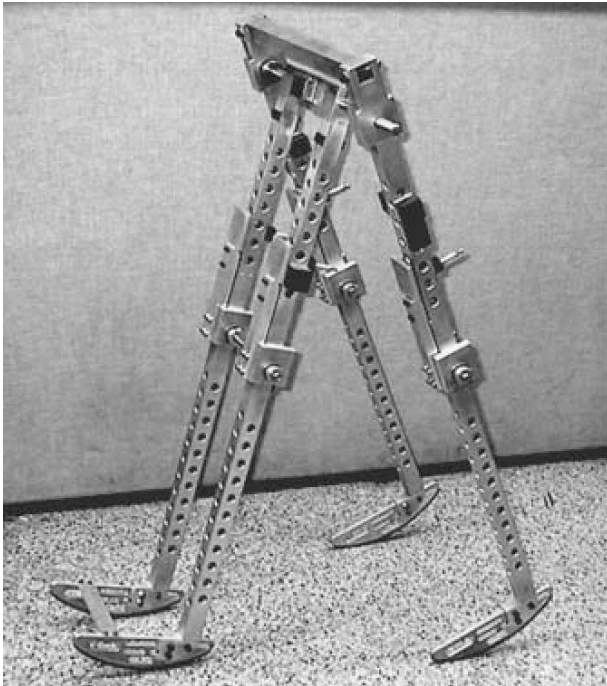
Storia dei robot a gambe

1983-1990



Advanced Robots for Hazardous Environments
by Hitachi, Waseda, and other entities

1990's



Passive Dynamic Walker (McGeer, 1990)



McGeer and Passive Dynamic Bipedal Walking (1990)

<https://youtu.be/WOPED7I5Lac>

Storia dei robot a gambe

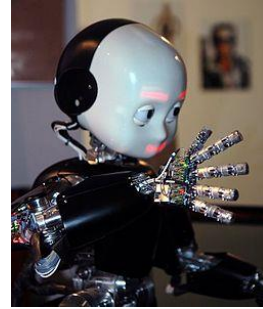
ASIMO
(Honda, 2000)



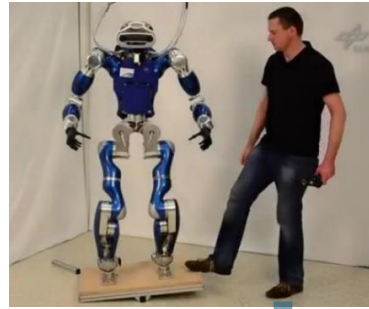
HRP-2
(Kawada, 2002)



iCub
(IIT, 2009)



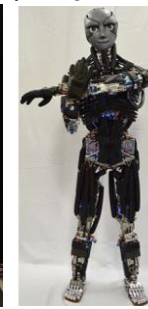
Toro
(DLR, 2013)



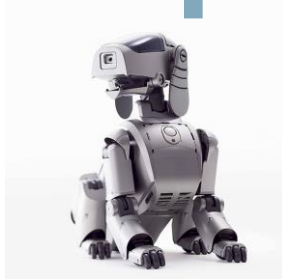
Walkman
(IIT, 2015)



Kengoro,
(Tokyo U., 2016)



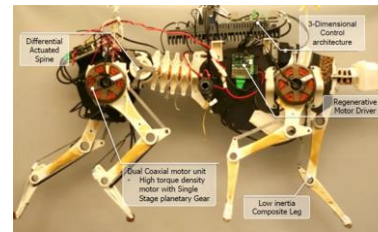
Atlas
(Boston Dynamics, 2019)



AIBO
(Sony, 1999)



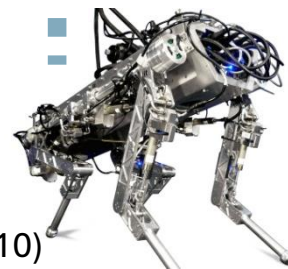
BigDog
(Boston Dynamics, 2008)



MIT-Cheetah
(MIT, 2013)



ANYmal
(Anybotics, 2016)



HyQ
(IIT, 2010)



HyQReal
(IIT, 2019)

Storia dei robot a gambe

Dal 2020: un numero crescente di aziende ha iniziato a commercializzare robot quadrupedi.



SPOT, Boston Dynamics



Anymal, Anybotics



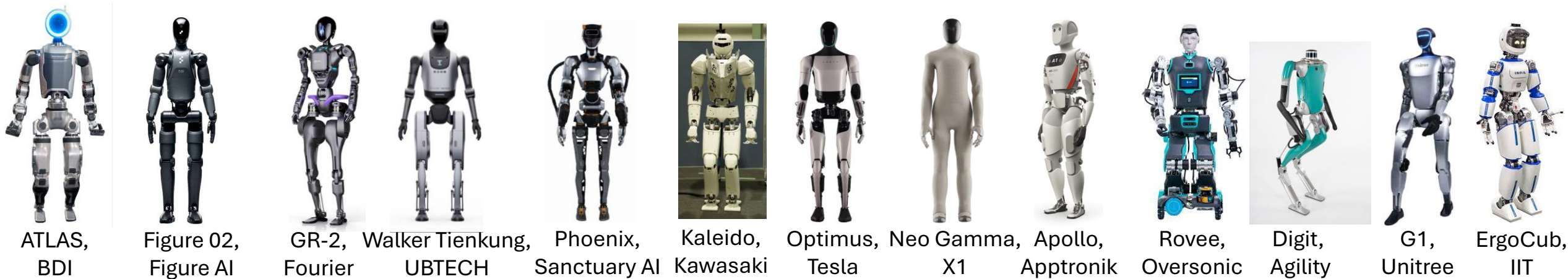
A2, Unitree



2020

2025

Dal 2020: un numero sempre maggiore di aziende ha iniziato a lavorare su robot umanoidi.



ATLAS, BDI

Figure 02, Figure AI

GR-2, Fourier

Walker Tienkung, UBTECH

Phoenix, Sanctuary AI

Kaleido, Kawasaki

Optimus, Tesla

Neo Gamma, X1

Apollo, Aptronik

Rovee, Oversonic

Digit, Agility

G1, Unitree

ErgoCub, IIT

Tendenze di R&S:

- Ibridi ruote-gambe
- Bracci manipolatori montati su robot quadrupedi
- LLM, VLM e VLA per comportamenti intelligenti
- ...



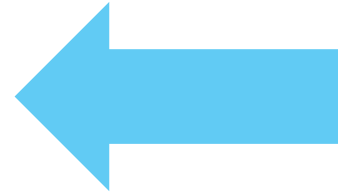
B2-W, Unitree



SPOT, RAI + Boston Dynamics

Un viaggio nell'evoluzione dei **robot quadrupedi**

- Introduzione
- Breve storia dei robot a gambe
- Sviluppo dei robot quadrupedi presso IIT
- Applicazioni dei robot quadrupedi
- Analisi di mercato e prospettive future



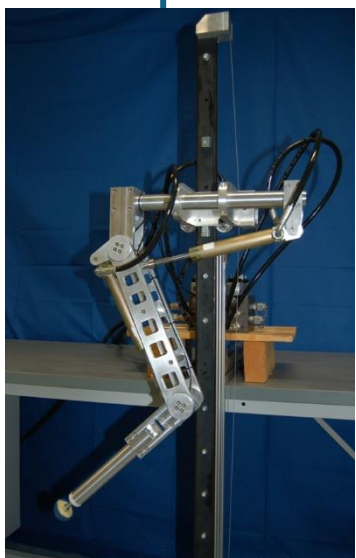


19 anni di esperienza:

PI: Claudio Semini

nella progettazione e nel controllo di **robot quadrupedi**

2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025



HyQ leg prototype

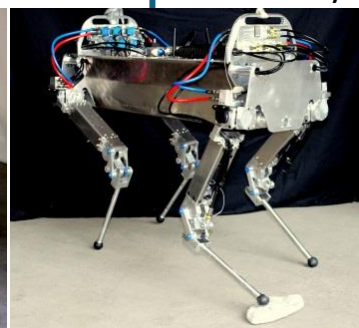
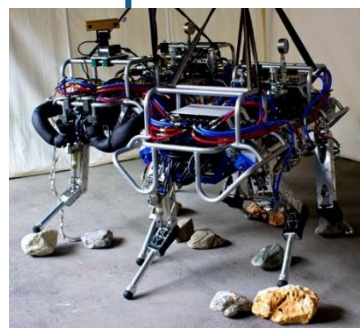


HyQ robot (90kg)

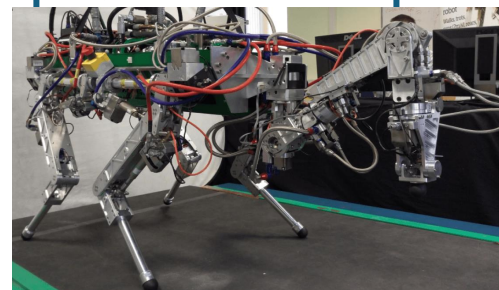
HyQ robot copies sold



HyQ2Max (80kg)



HyQ-centaur



MiniHyQ



HyQReal (140kg)



HyQReal with INAIL-IIT arm

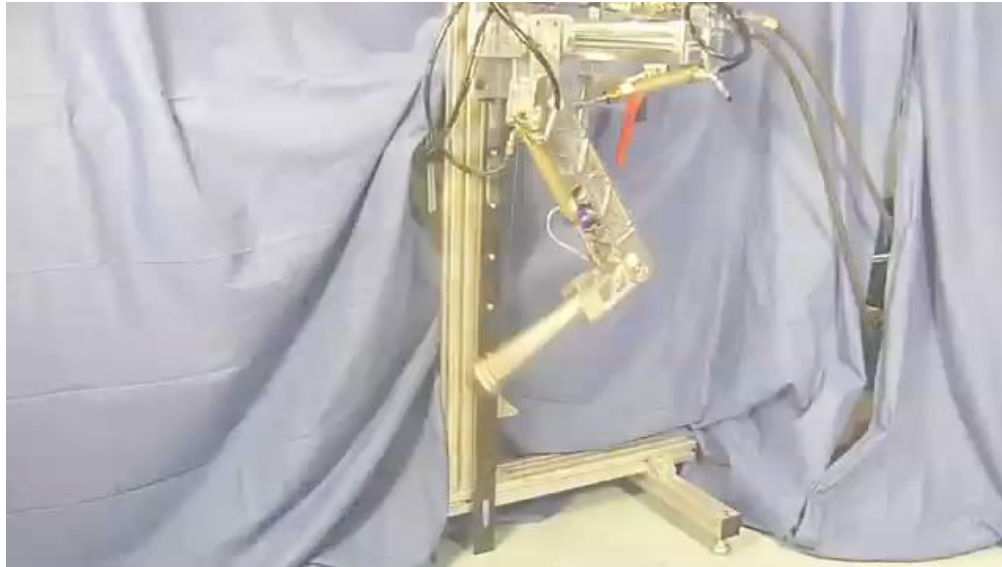


HyQReal2 with dual arm system (by IIT-HHCM)



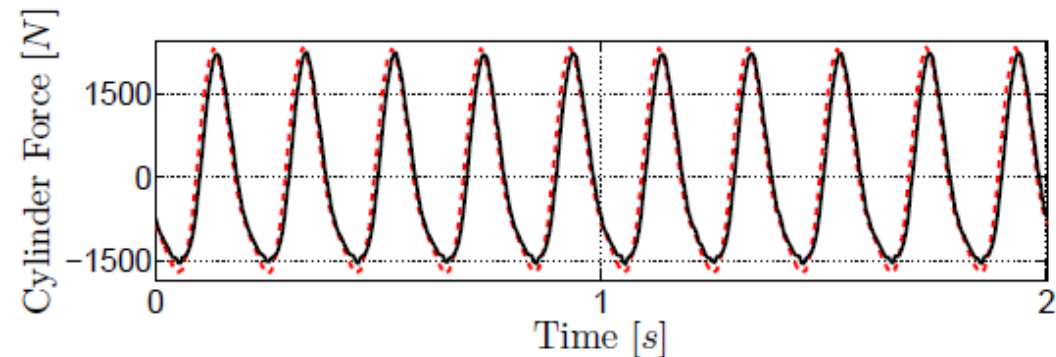
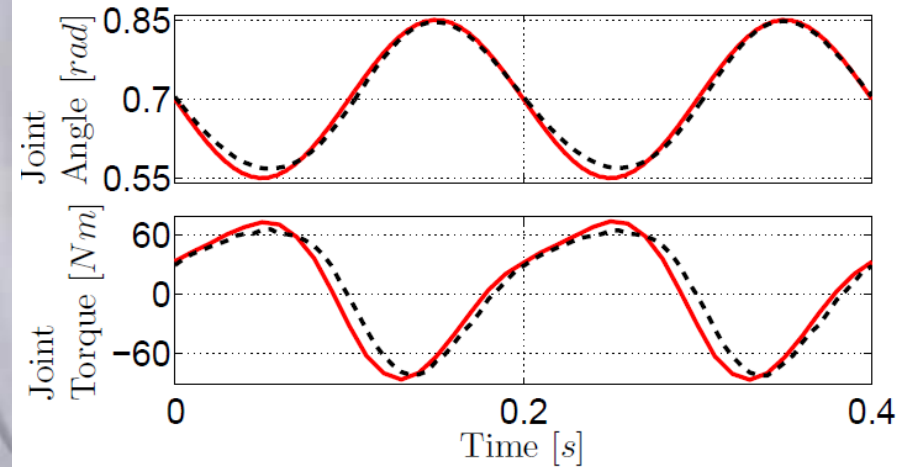
Controllo della zampe con pistoni idraulici

Controllo della coppia idraulica basato su modello



— reference
 measured

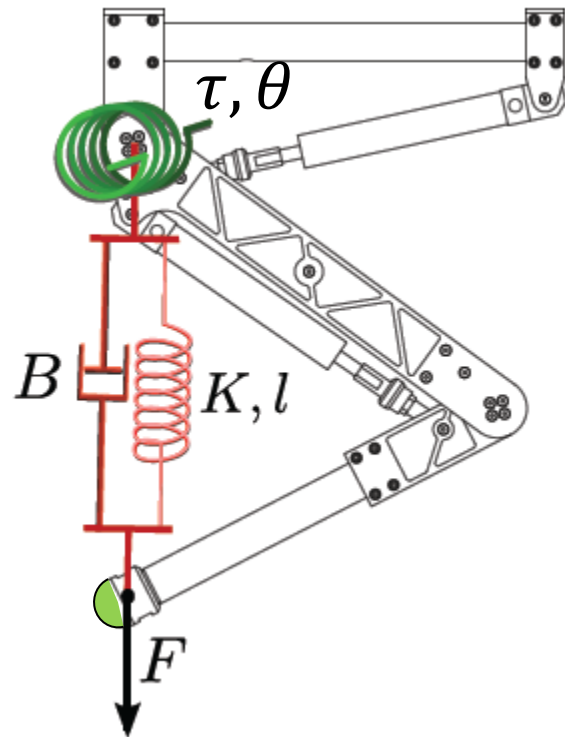
5Hz sine (hip f/e joint)



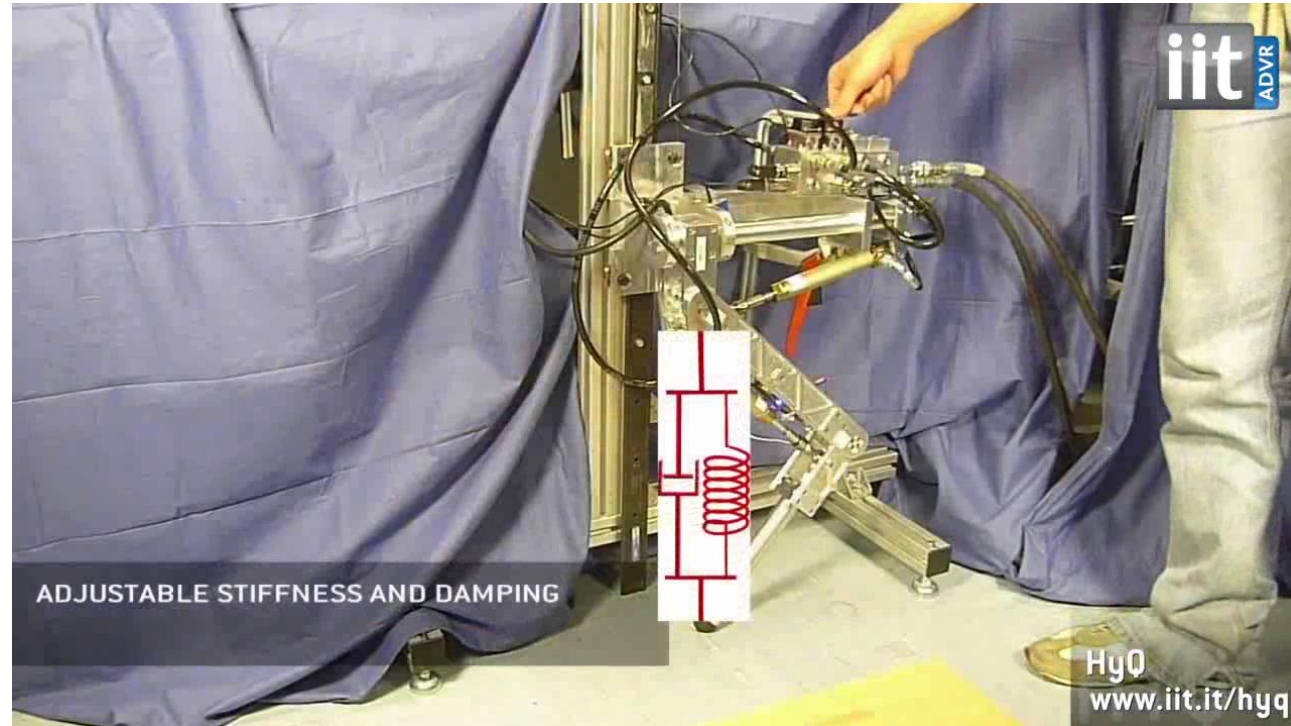
MOOG E024

T. Boaventura et al, ICRA, 2012

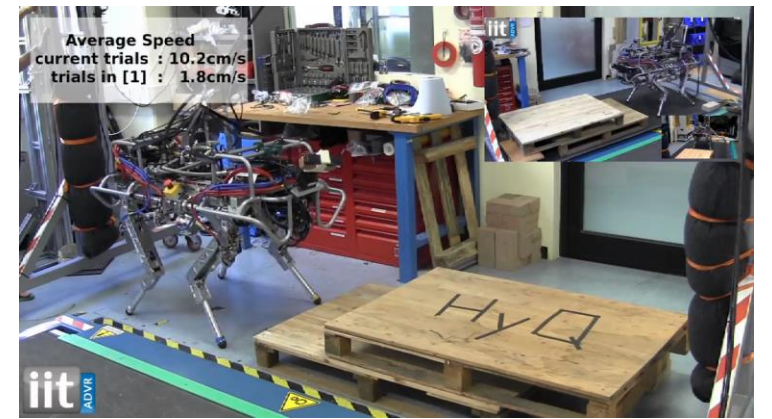
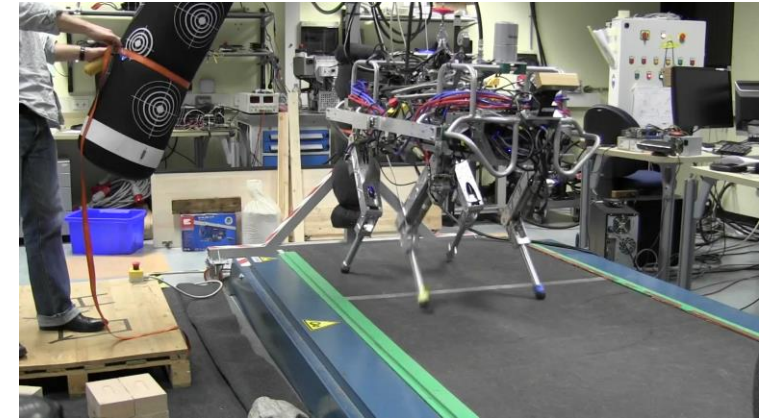
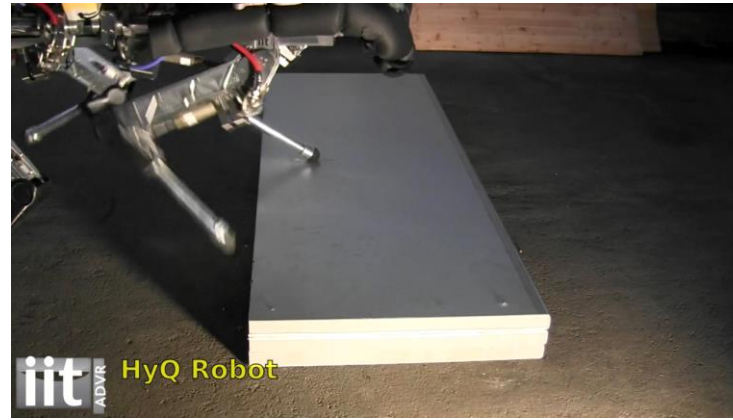
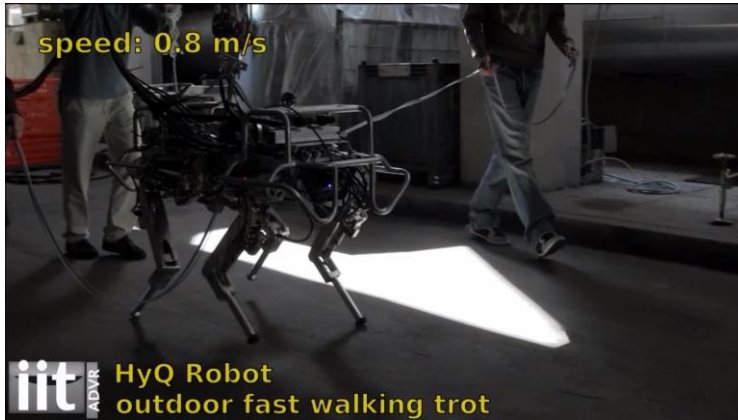
- Molla e smorzatore virtuali, sia rotazionali che lineari



T. Boaventura et al, T-RO, 2015



HyQ robot locomozione



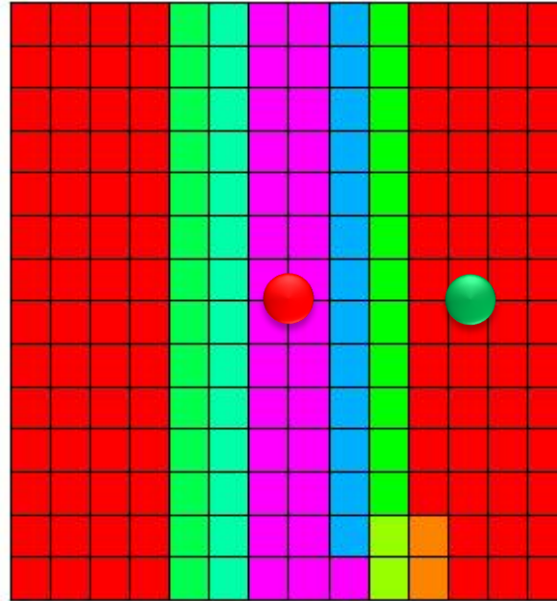
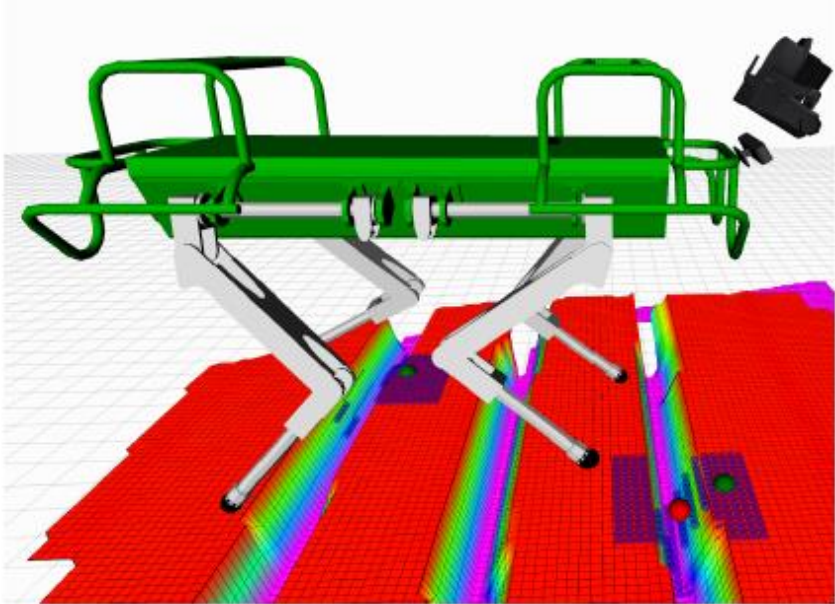
V. Barasuol, ICRA, 2013
M. Focchi, STAR book, 2020

M. Focchi, CLAWAR, 2013
C. Semini, IJRR, 2015

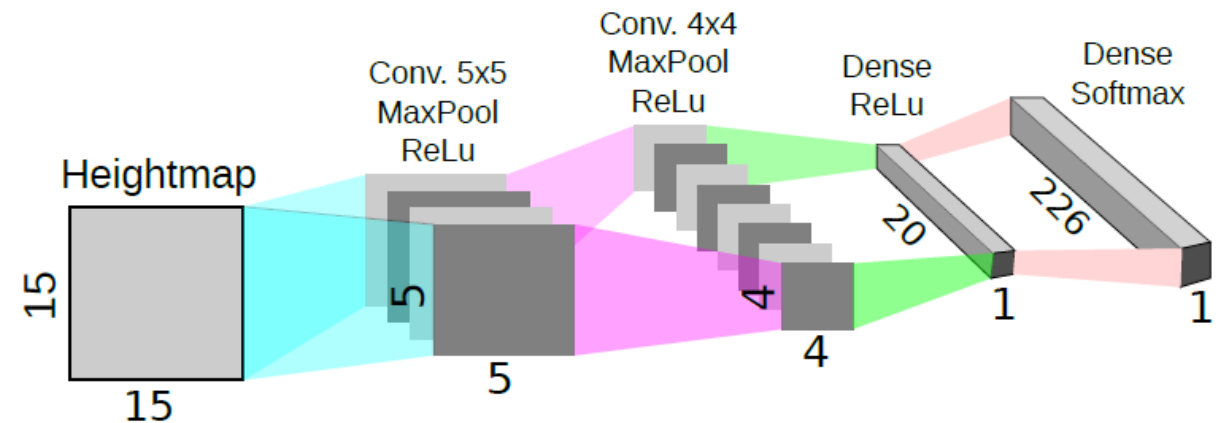
V. Barasuol, ICRA, 2013
A. Winkler, ICRA, 2015

Vision-Based Foothold Adaptation (VFA)

Deep Neural Network per l'adattamento del punto d'appoggio basato sulla visione

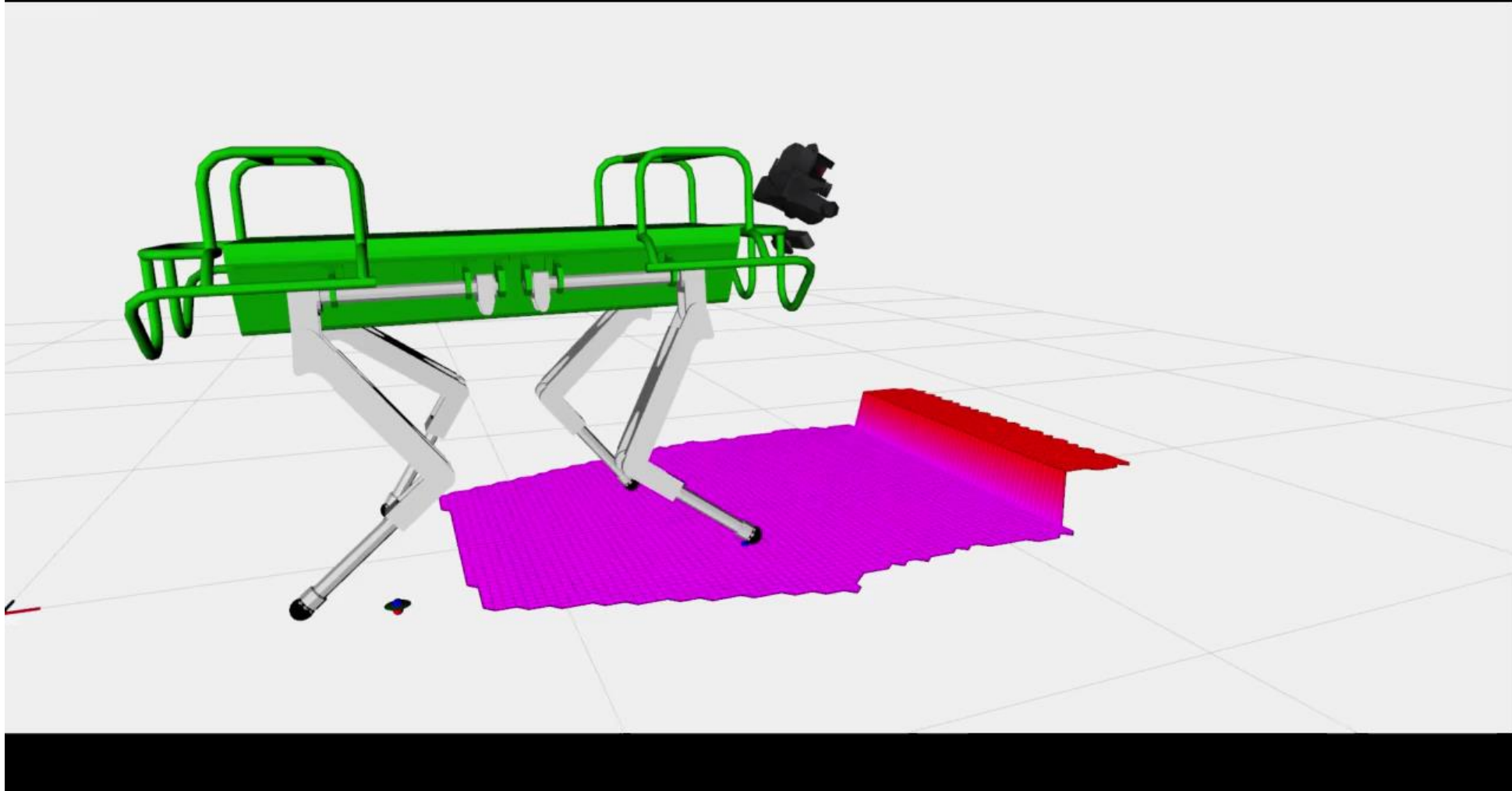


- Punto d'appoggio nominale
- Punto d'appoggio adattato

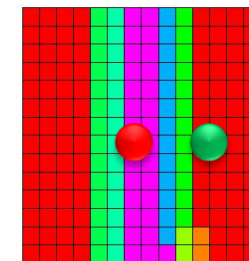
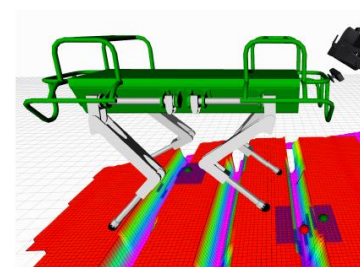
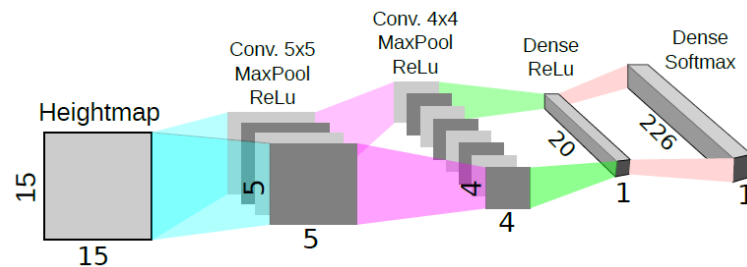
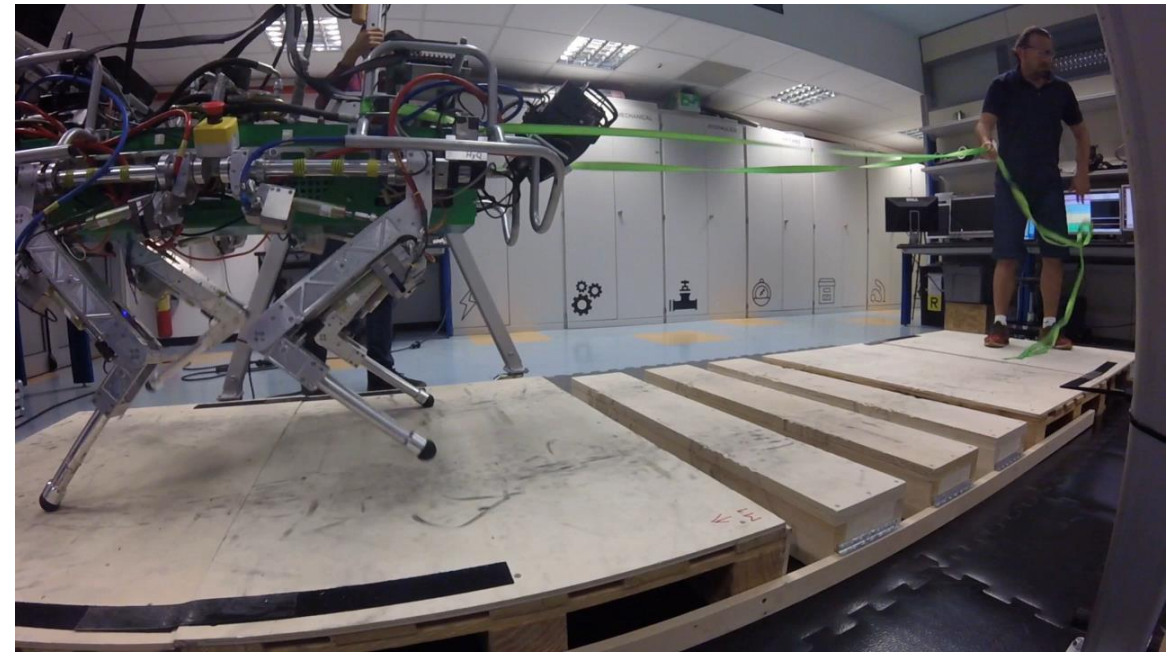
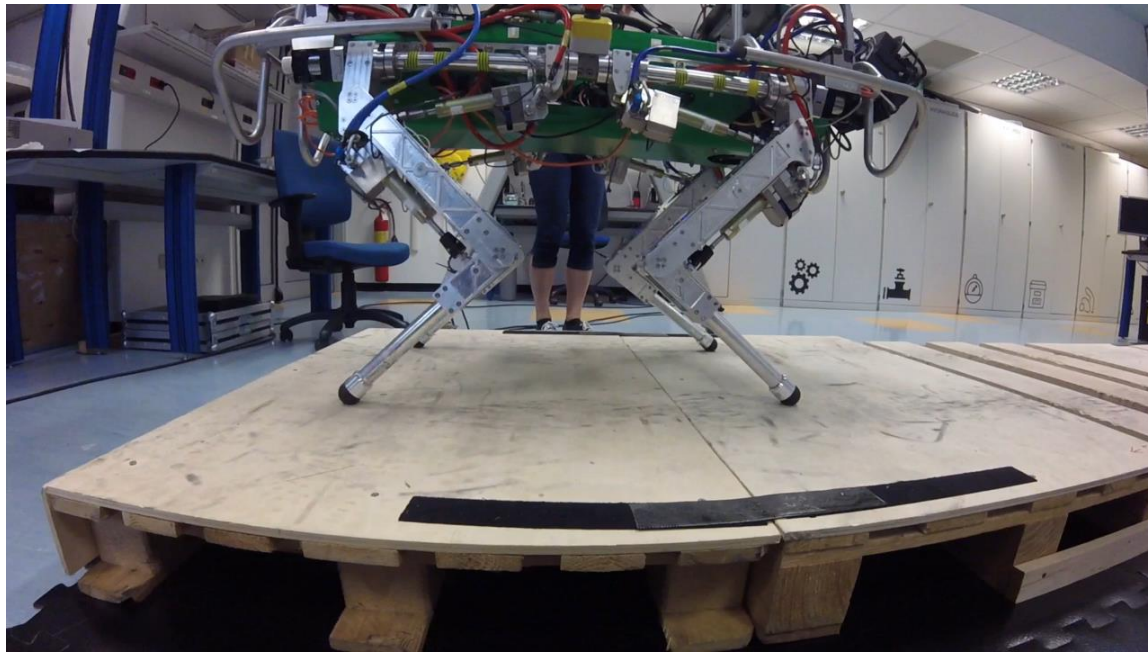


O. Villarreal, RA-L, 2019

Simulation (multi-gap crossing at 0.3 m/s)



Adattamento continuo del punto d'appoggio per la locomozione dinamica tramite feedback visivo

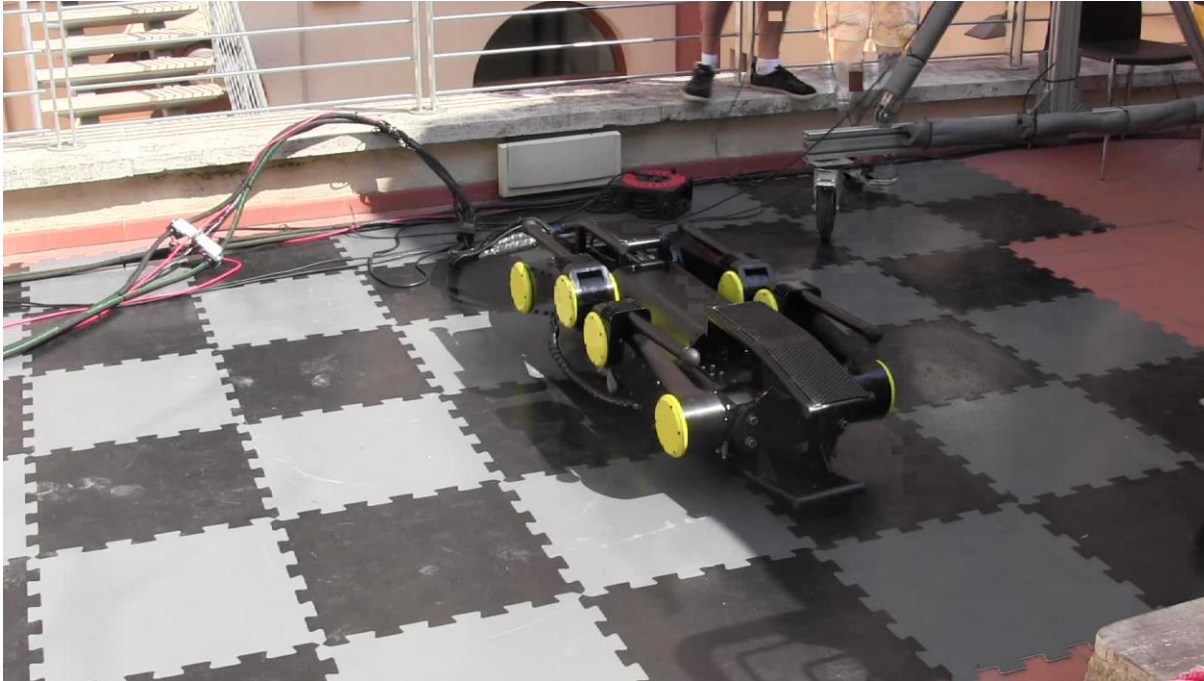


- Punto d'appoggio nominale
- Punto d'appoggio adattato

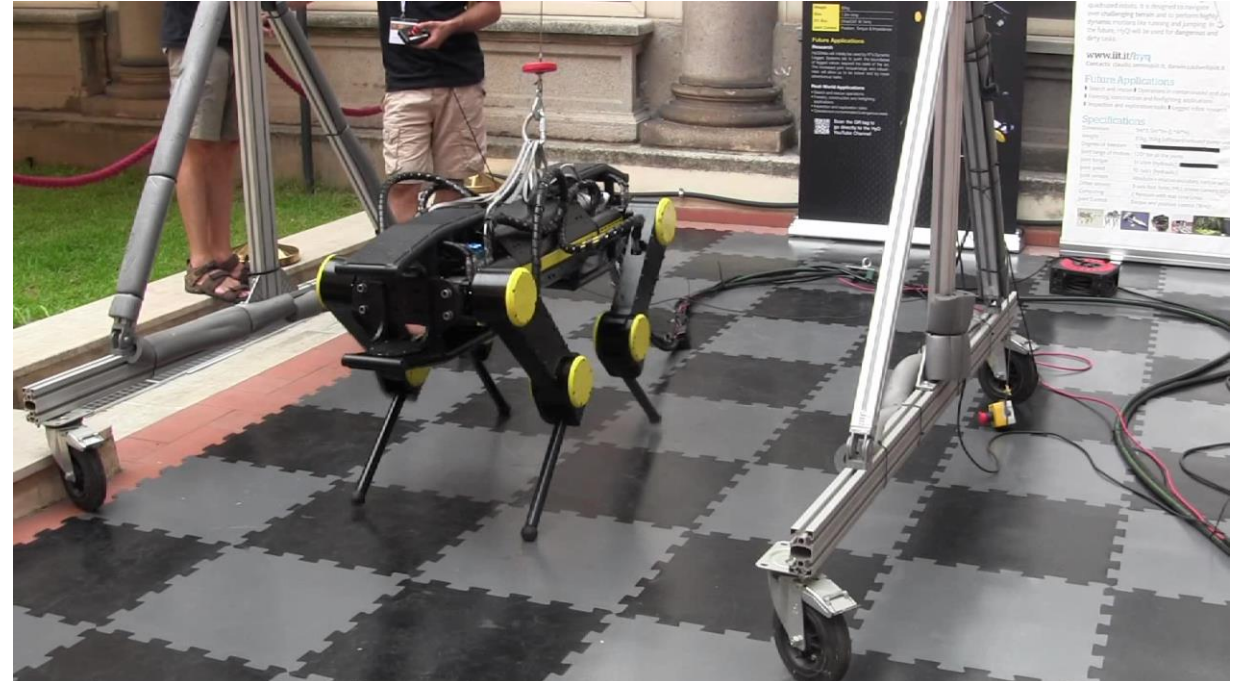
O. Villarreal, RA-L, 2019

Il prototipo HyQ2Max

Demo di HyQ2Max durante la conferenza RSS 2015 a Roma (Luglio 2015)



Auto-raddrizzamento



Trotto omnidirezionale

Limitazioni:

1. Autonomia energetica
2. Affidabilità

MOOG

Leader mondiale nelle soluzioni di controllo del movimento ad alte prestazioni

Vendite nette 2024: 3,6 miliardi USD

Personale: 13.500 dipendenti

Sede centrale: New York state, USA

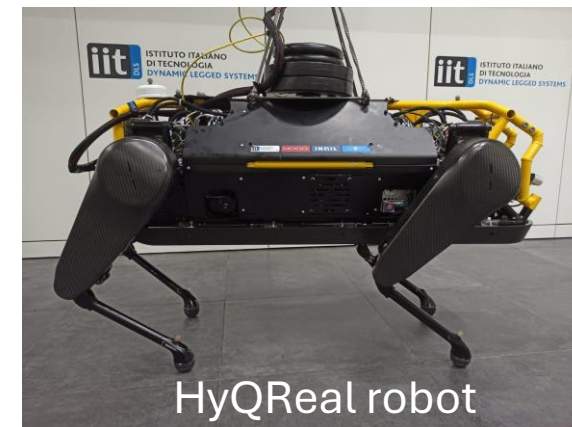
www.moog.com



HyQReal traina un aeroplano (2019)



HyQReal traina un aereo (forza di trazione: picco di 800 N)



HyQReal robot
carico >45kg



Piaggio P180 Avanti

Peso: 3300kg

Lunghezza: 14.4m

Apertura alare: 14m

Passegeri: 9



Partner industriale:
MOOG

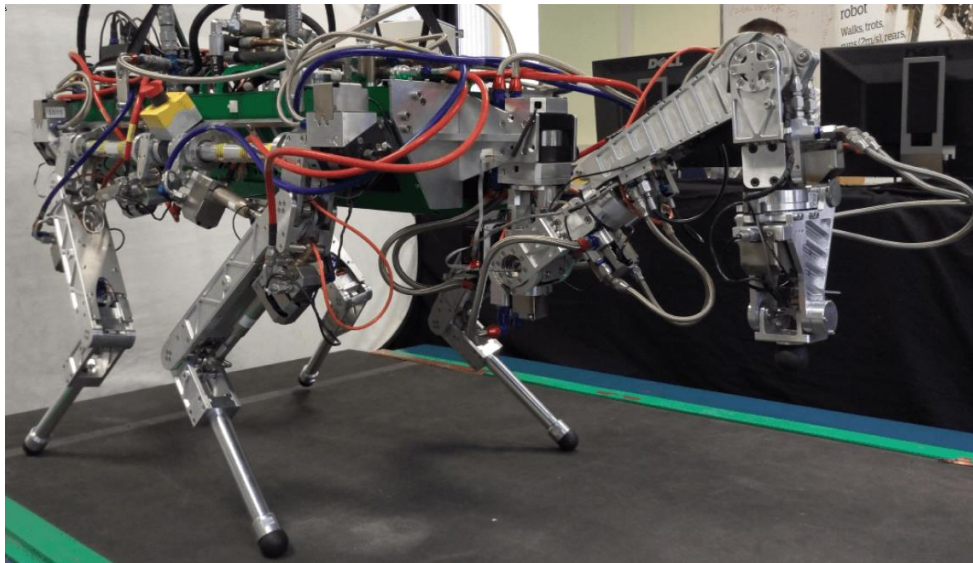
Fondi esterni:



European Union grant
agreement n. 601116



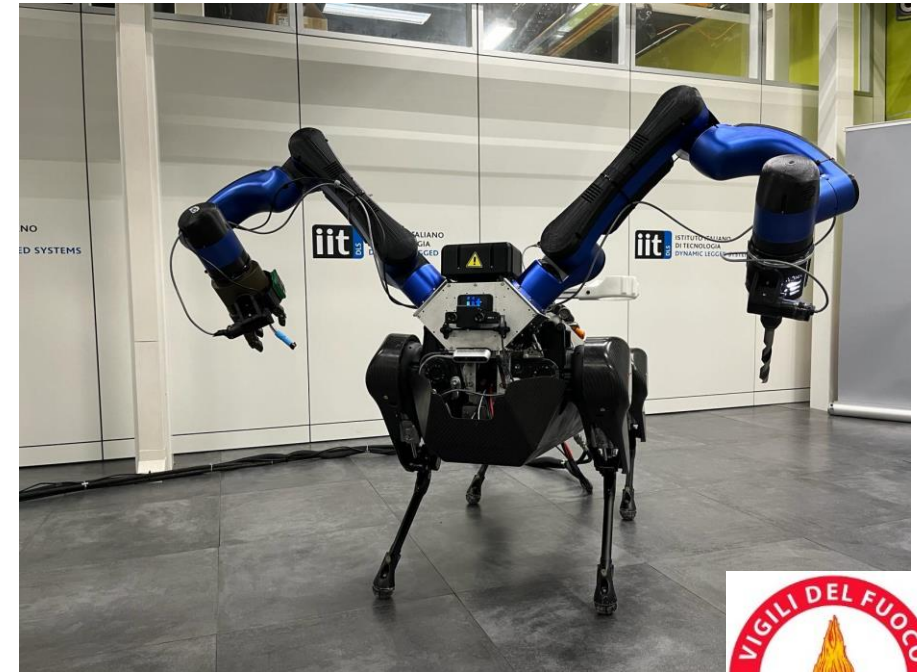
ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



2016 – hydraulic arm (IIT-DLS)



2021 – electric arm (IIT-HHCM)



2024 – electric dual-arm (IIT-HHCM)



Leadership:
Semini, Barasuol
Villa, Gagliesi

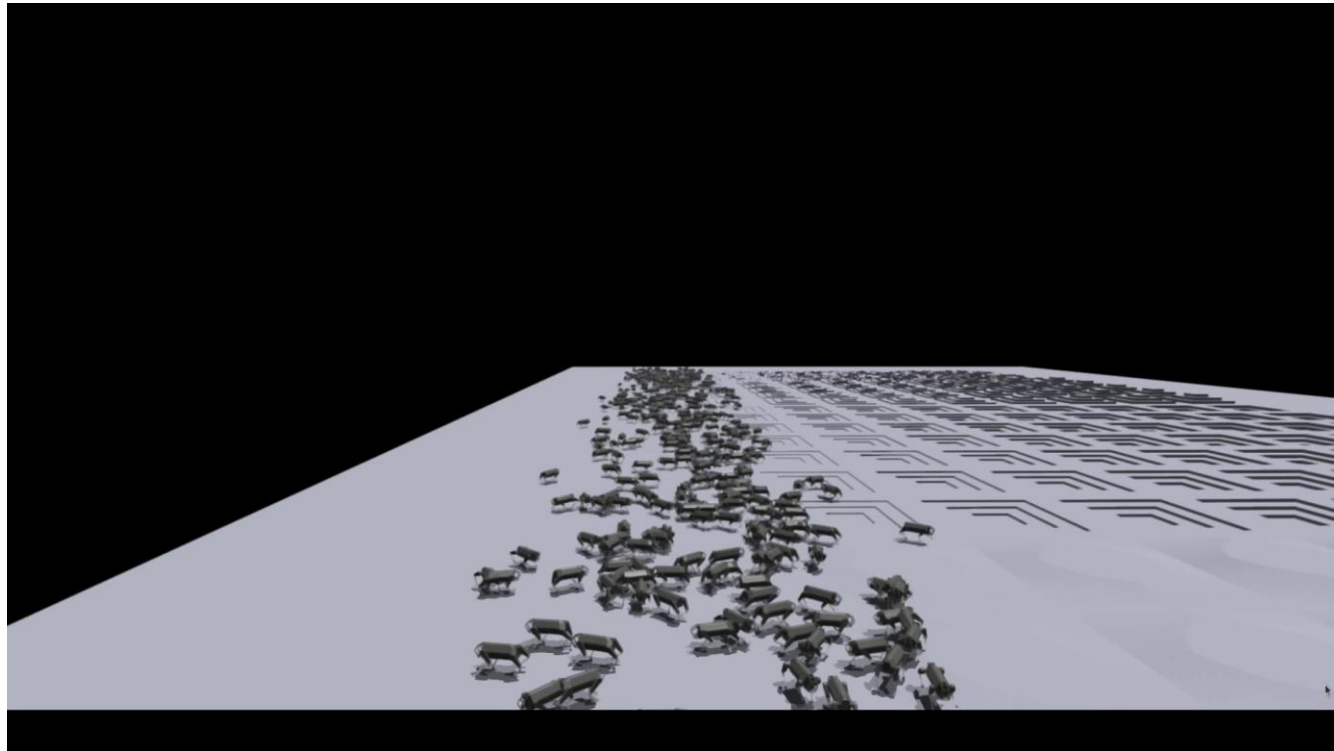


With Sarakouglu,
Tsagarakis



With Deshpande,
Caldwell

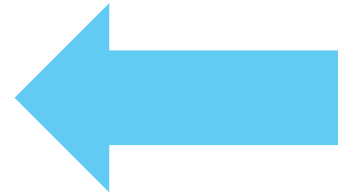
Apprendimento per rinforzo per la locomozione



Lavoro di Giulio Turrisi (IIT) e Shafeef (IIT)

Un viaggio nell'evoluzione dei **robot quadrupedi**

- Introduzione
- Breve storia dei robot a gambe
- Sviluppo dei robot quadrupedi presso IIT
- Applicazioni dei robot quadrupedi
- Analisi di mercato e prospettive future



Dal laboratorio all'applicazione





Agricoltura di Precisione

- Potatura invernale in vigneto
- Monitoraggio piante e suolo



Salvataggio

- Salvataggio, lotta antincendio
- Teleopera. in zone pericolose



Clean-Tech

- Raccolta dei mozziconi
- Raccolta dei rifiuti su terreni accidentati



Esplorazione Spaziale

- Esplorazione planetaria
- Installazione di infrastrutture



CDP Venture Capital Sgr



ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

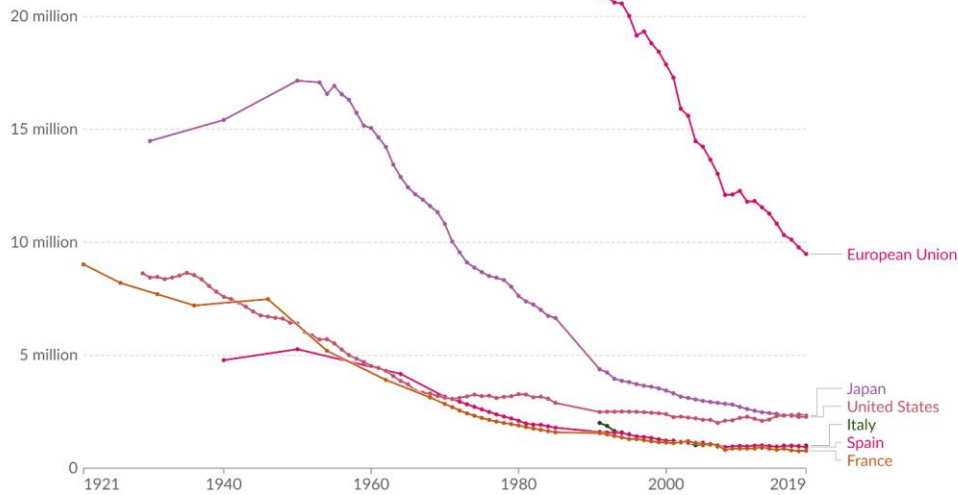


Agenzia Spaziale Italiana

Il settore agricolo è sotto pressione: la carezza di manodopera è in aumento, i lavoratori qualificati stanno uscendo dalla forza lavoro e le attività nei campi restano fisicamente impegnative e difficili da coprire.

Number of people employed in agriculture, 1921 to 2019

Agriculture includes the cultivation of crops and livestock production, as well as forestry, hunting, and fishing. Employment includes anyone engaged in any activity to produce goods or services for pay or profit.



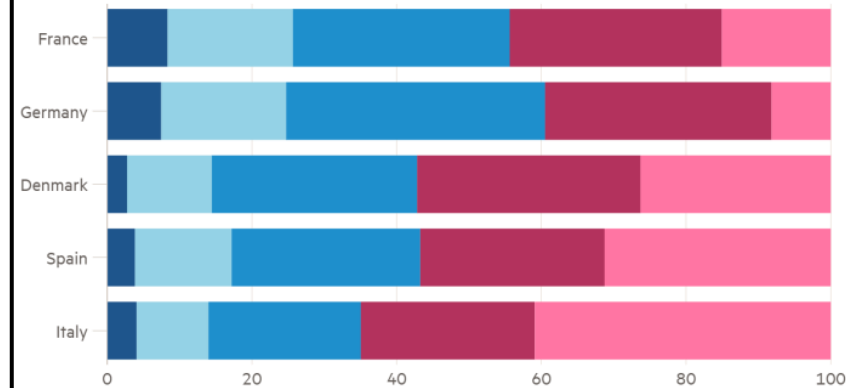
Data source: Our World in Data based on International Labor Organization (via the World Bank) and historical sources
OurWorldInData.org/employment-in-agriculture | CC BY

Our World in Data

Europe faces a wave of retirements among farmers

Per cent of farm owners or managers by age group, 2021

Up to 35 years old | 35-44 years old | 45-54 years old | 55-64 years old | 65 and over



Source: Eurostat, Cour des Comptes
© FT





UNIVERSITÀ
CATTOLICA
del Sacro Cuore

Prof. Matteo Gatti
Prof. Stefano Poni



Obiettivo:
Automazione della potatura invernale
della vite attraverso AI e robotica

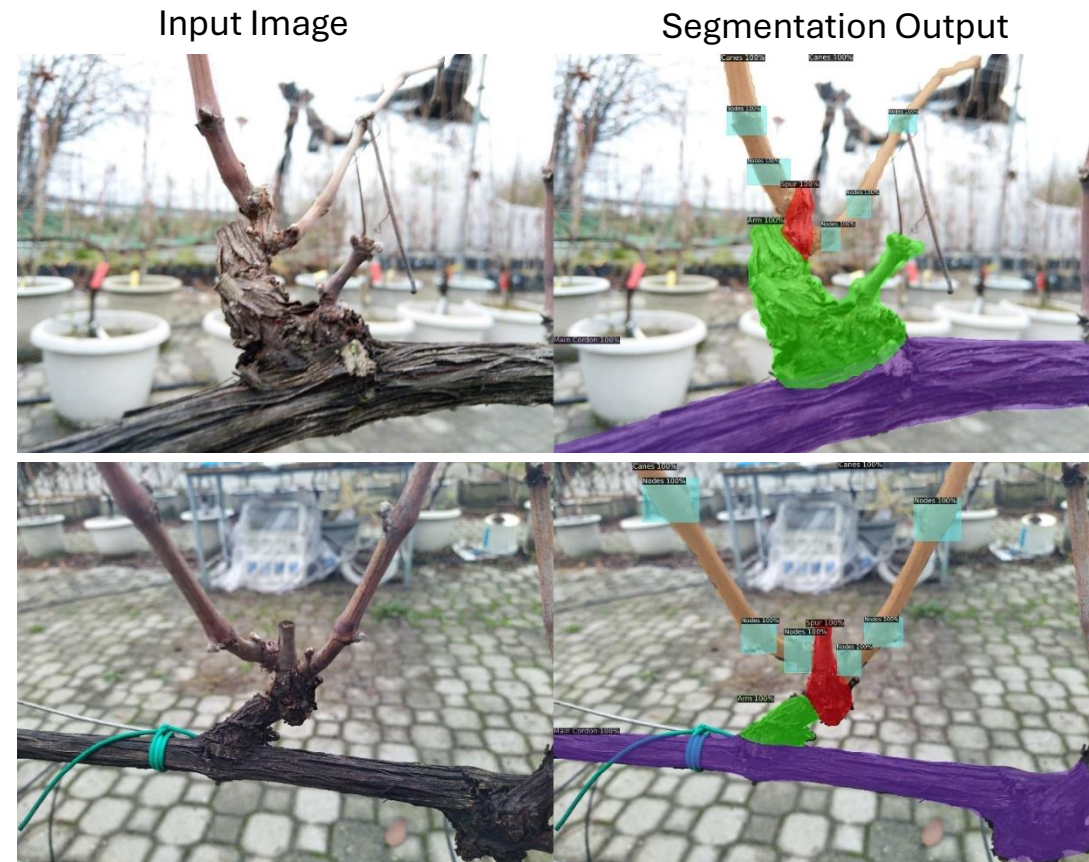
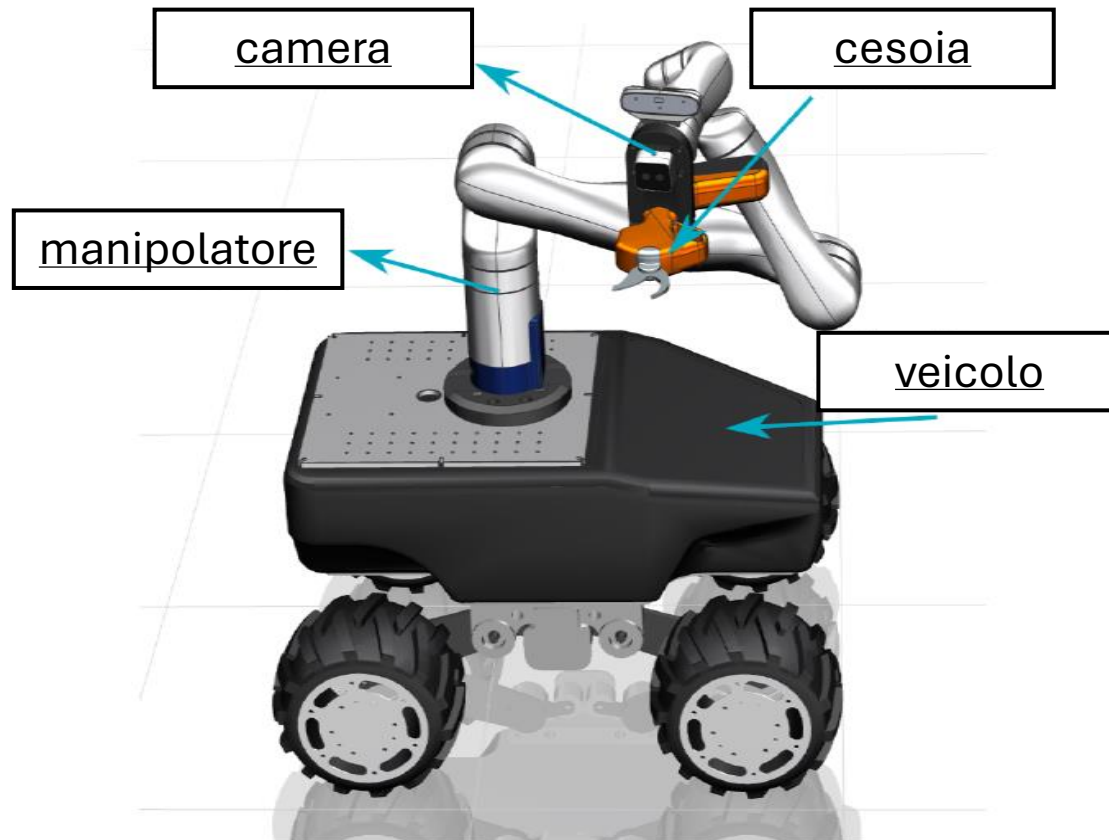


Finanziamenti: IIT (internal and RAISE funding), UCSC (internal and National PRIN funding), CDP/RobotT

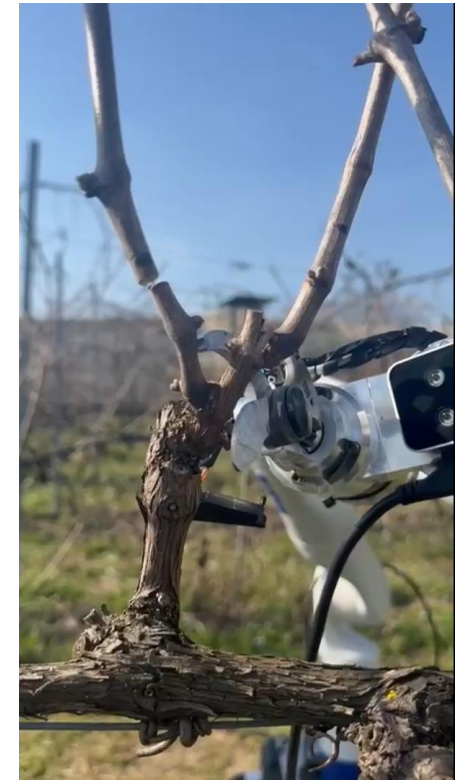
VINUM concetto di sistema

Robotica: veicolo e braccio commerciali, end-effector proprietario dell'IIT

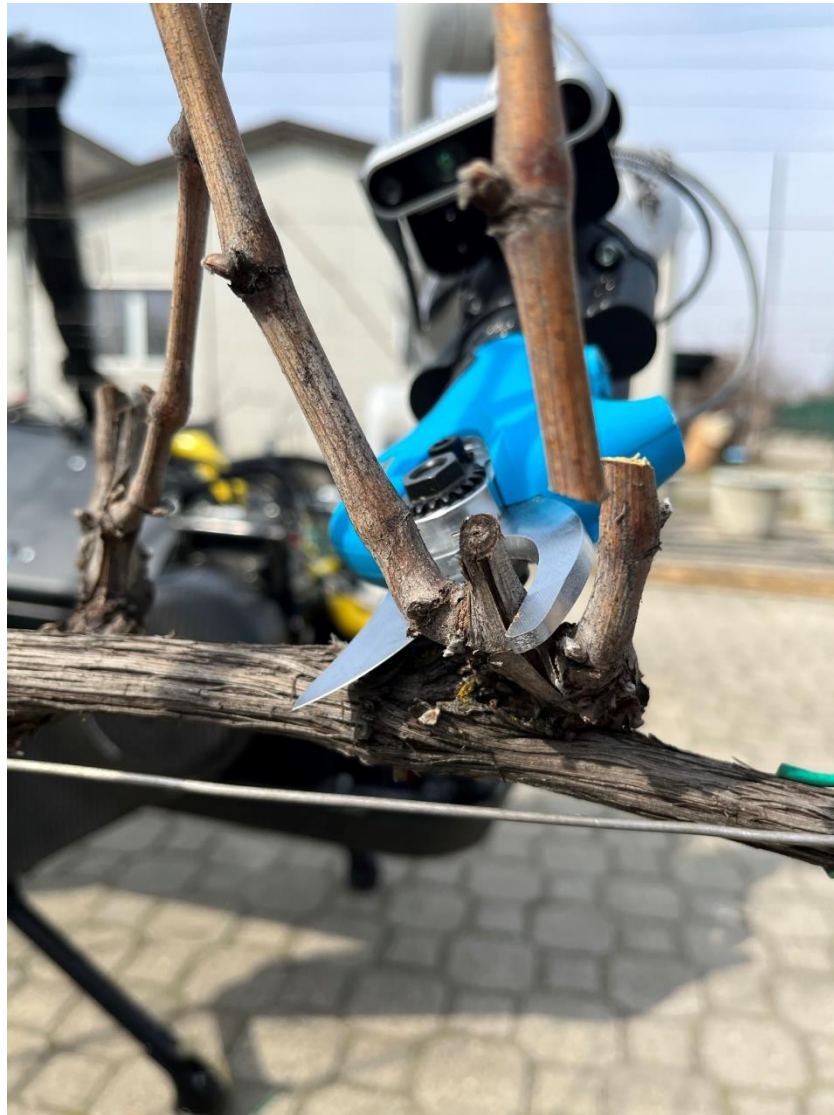
AI: reti neurali proprietarie dell'IIT per la segmentazione degli organi della pianta



Test in campo per la potatura invernale



Looking for seed
round investors and
Technology partners
for Farmhand
Robotics



FARMHAND
Robotics

Pre-seed ricevuto da RoboIT

RoboIT

Il Polo Nazionale di Trasferimento
Tecnologico della Robotica

cdp

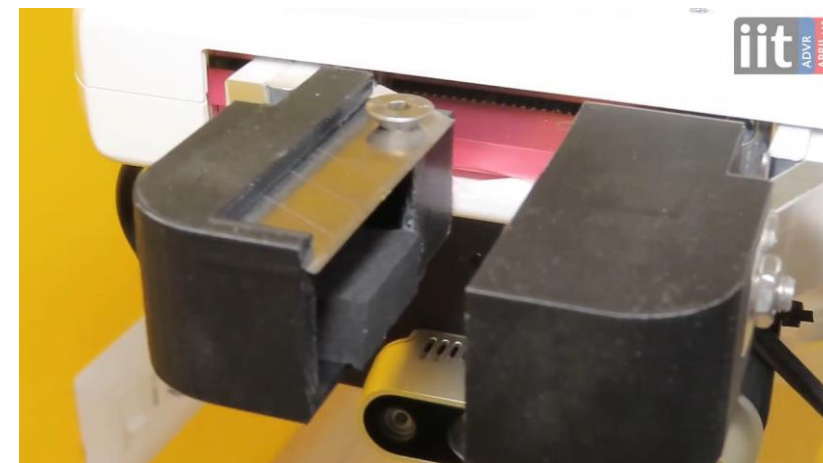
CDP Venture Capital Sgr

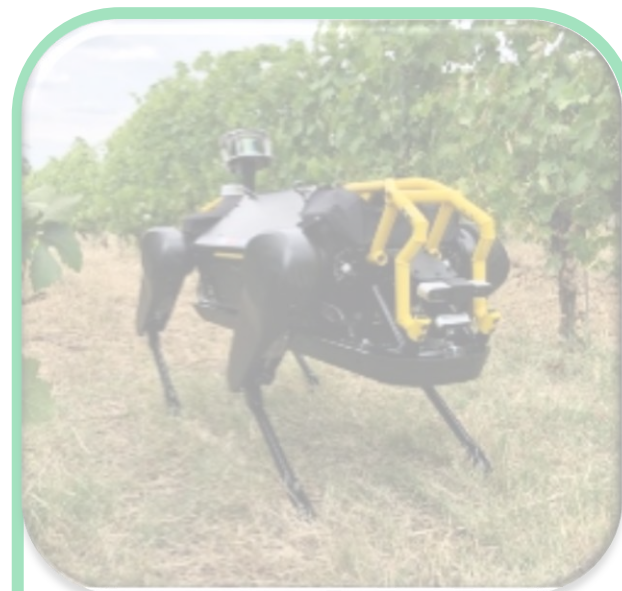
Raccolta dell'uva da tavola

Concetto: braccio robotico con forbici e telecamere + machine learning + robot mobile con cestello



Rete neurale per rilevare il grappolo e il suo peduncolo





Agricoltura di Precisione

- Potatura invernale in vigneto
- Monitoraggio piante e suolo



Salvataggio

- Salvataggio, lotta antincendio
- Teleopera. in zone pericolose



Clean-Tech

- Raccolta dei mozziconi
- Raccolta dei rifiuti su terreni accidentati



Esplorazione Spaziale

- Esplorazione planetaria
- Installazione di infrastrutture



ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



INAIL

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

In sintesi

• Fase 1: 2018-2020

• Fase 2 e 3: 2021-2027



Vicarios VR/AR interface



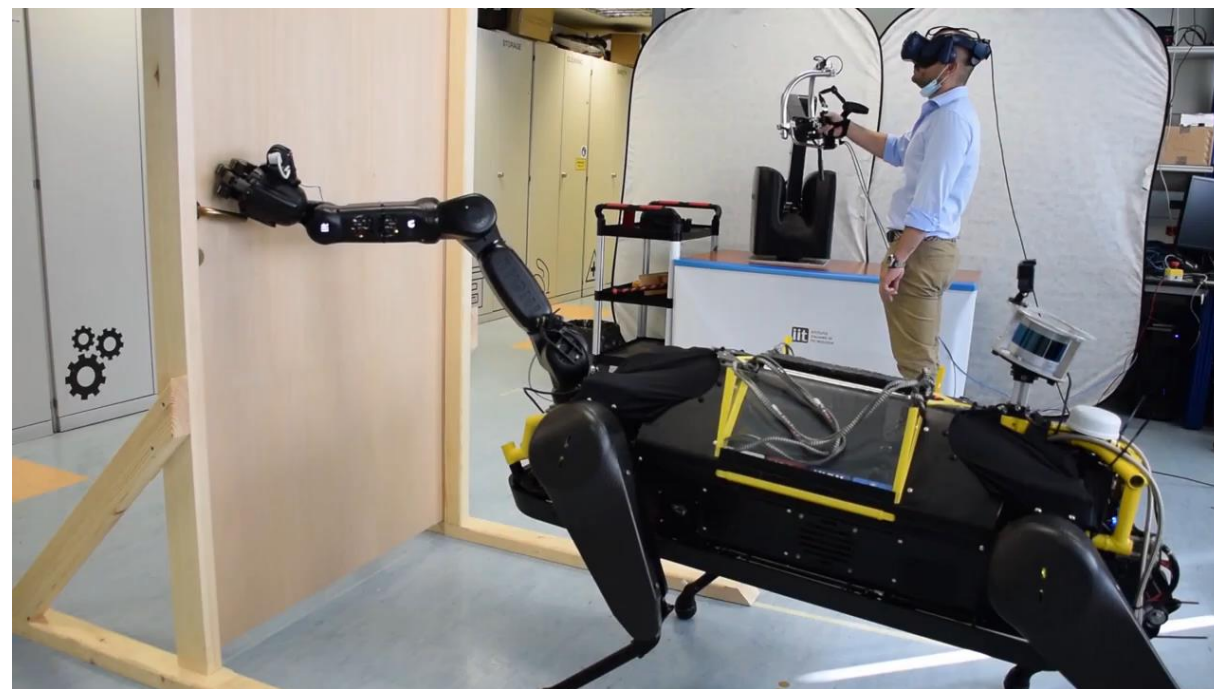
HyQReal quadruped



INAIL-IIT arm



HEXOTrAc-Plus exoskeleton



In collaborazione con:



Con Y. Tefera,
D. Caldwell



Con I. Sarakouglu,
N. Tsagarakis

INAIL

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



VVF Centro Formazione Nazionale
Montelibretti, 5/Oct/2022



In collaborazione con:



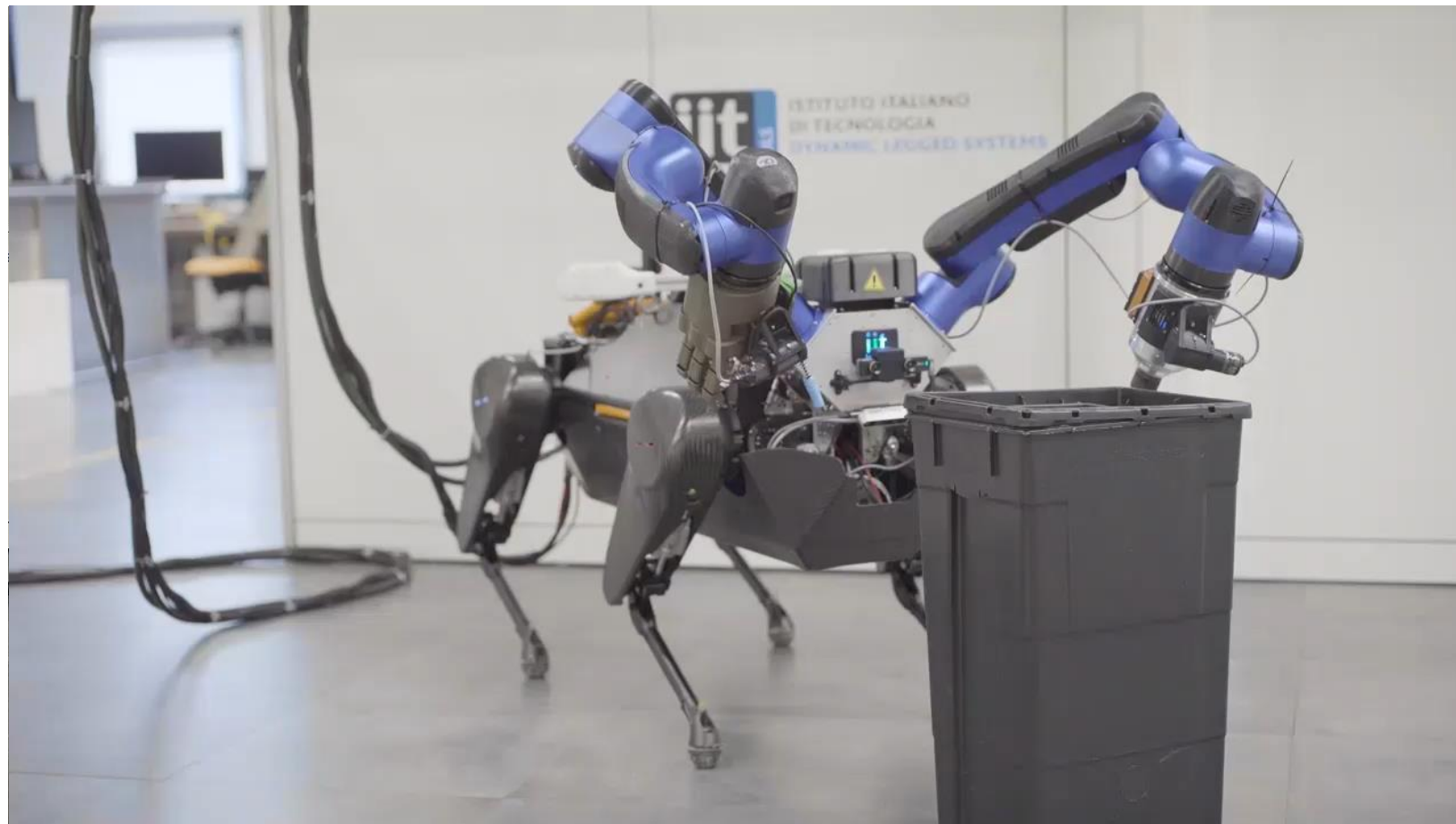
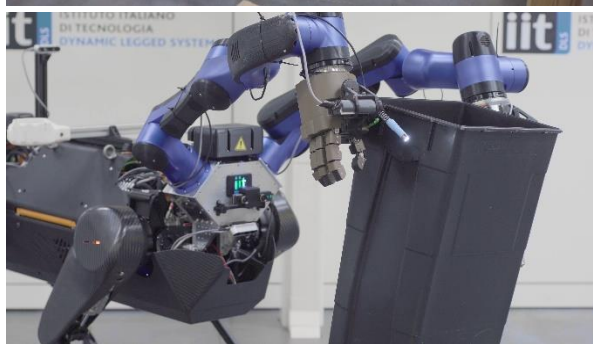
VVF Genova



Con Y. Tefera,
D. Caldwell



Con I. Sarakouglu,
N. Tsagarakis



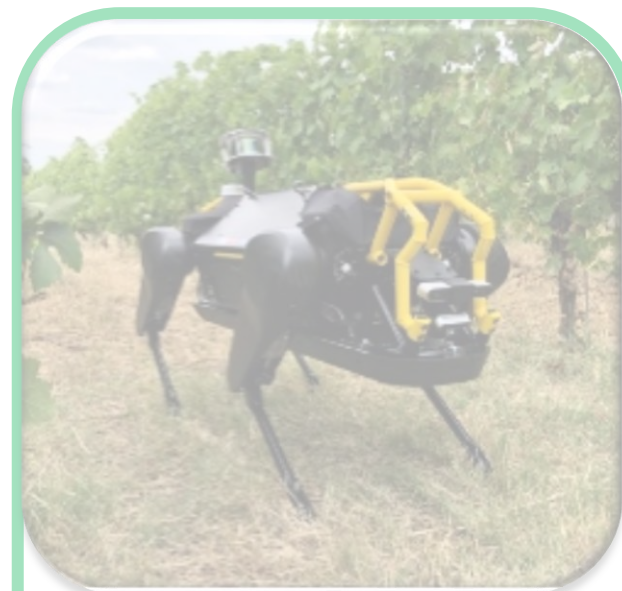
Nuovo robot HyQReal2 con sistema a doppio braccio



Con Y. Tefera,
D. Caldwell



Con I. Sarakouglu,
N. Tsagarakis



Agricoltura di Precisione

- Potatura invernale in vigneto
- Monitoraggio piante e suolo



Salvataggio

- Salvataggio, lotta antincendio
- Teleopera. in zone pericolose



Clean-Tech

- Raccolta dei mozziconi
- Raccolta dei rifiuti su terreni accidentati



Esplorazione Spaziale

- Esplorazione planetaria
- Installazione di infrastrutture



CDP Venture Capital Sgr



ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



Agenzia Spaziale Italiana

Problema dei rifiuti: mozziconi di sigarette

- Ogni anno, su 6 trilioni di sigarette vendute, 4,5 trilioni di filtri di sigaretta vengono dispersi nell'ambiente.
- I filtri di sigaretta rappresentano il 40% dei rifiuti presenti nel Mar Mediterraneo.
- Un filtro di sigaretta contiene oltre 4000 sostanze chimiche diverse, la maggior parte delle quali è cancerogena o tossica.
- La raccolta è un processo che richiede molta manodopera.





Macchine per la pulizia di strade e superfici pavimentate



Macchine per la pulizia dopo grandi eventi, come OpenAir

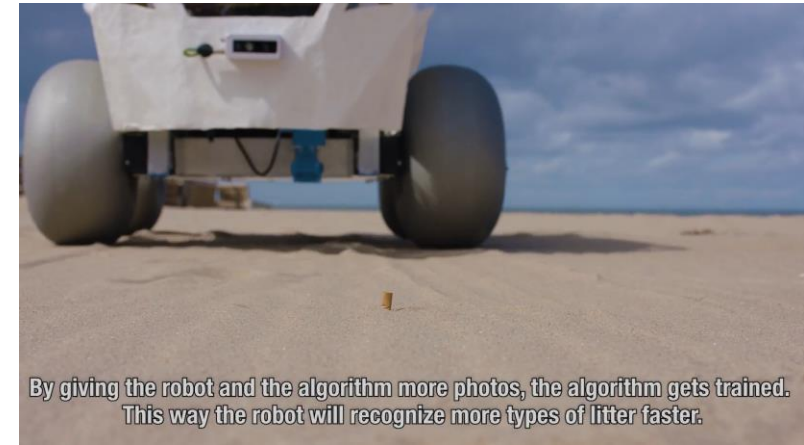
Ma come pulire questi ambienti?



Vicolo a Genova



Spiaggia a Genova

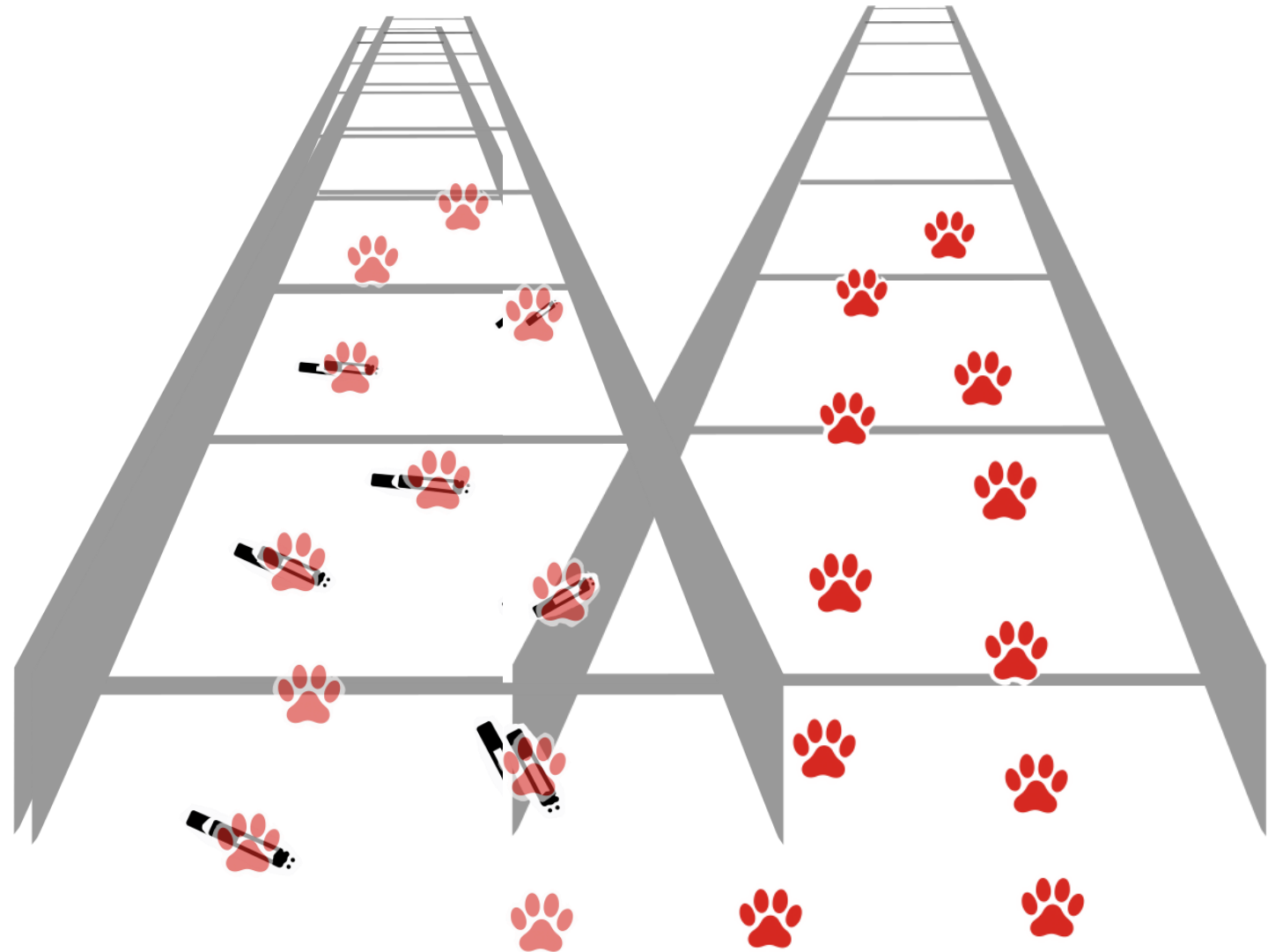


Pulizia dei mozziconi sulla spiaggia (Project BB)



Serve un metodo di raccolta più efficiente: “on the go”

I rifiuti si trovano in punti discreti, così come i passi



Prime prove nel 2020 e nel 2021

Spagge e vicoli a Genova



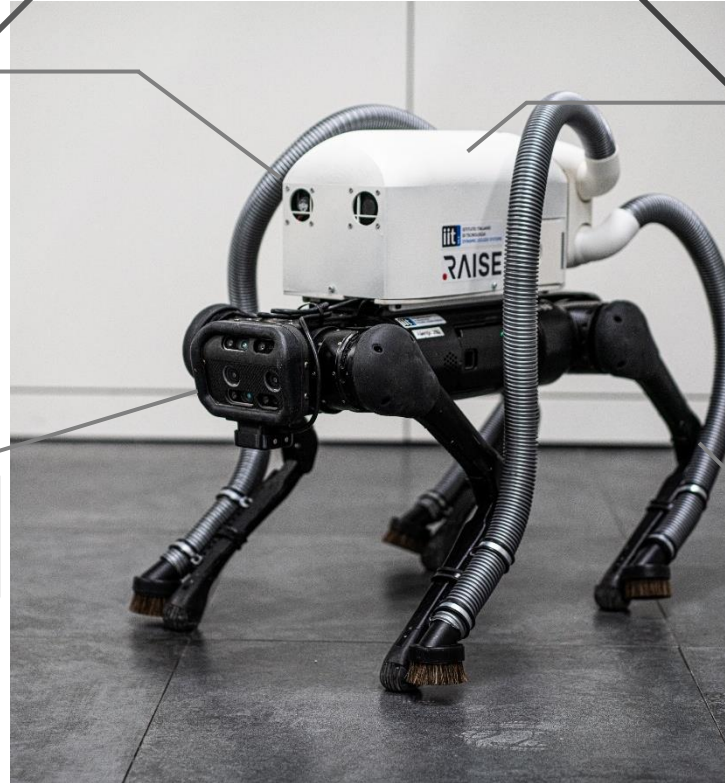
Un quadrupede per la raccolta dei rifiuti urbani e costieri

VACUUM SYSTEM

- Raccolta dei rifiuti

ON BOARD COMPUTATION

- Pianificazione e controllo della locomozione
- Rilevamento dei rifiuti



RGB-D CAMERAS

- Immagine a colori per il rilevamento
- Depth per mappa 3D

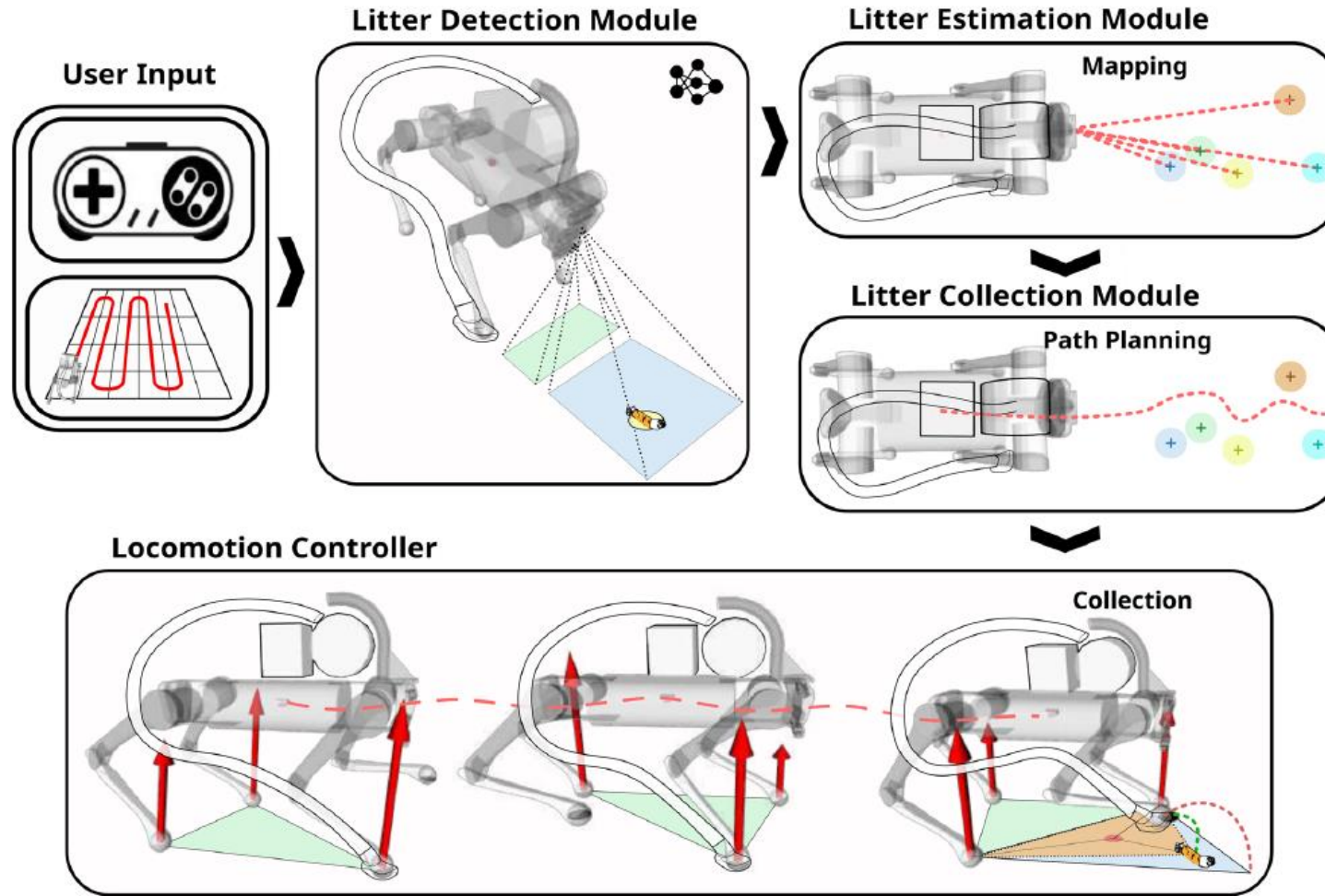
LEGGED PLATFORM

- Sistema di navigazione su ogni tipo di terreno (Aliengo)

Lavoro di **Lorenzo Amatucci**, Chundri Boelens, Matteo Villa, Gabriel Fischer, Giacomo Mazzaglia, Franco Seguezzo
 Leadership di Angelo Bratta, Victor Barasuol and Claudio Semini

L. Amatucci et al., J. of Field Robotics, 2024

Metodo





VERO – the Vacuum-cleaner Equipped quadruped RObot

co-financed by



JoiINT Lab Talk



Released 30/7/2024

1 robot – 4 eventi



Beach Cleaning with ISG, Genova-Nervi, 15 Nov 2024

IEEE Humanoids Conference, Nancy, 22-24 Nov 2024

Genova Smart Week, Genova, 29 Nov 2024

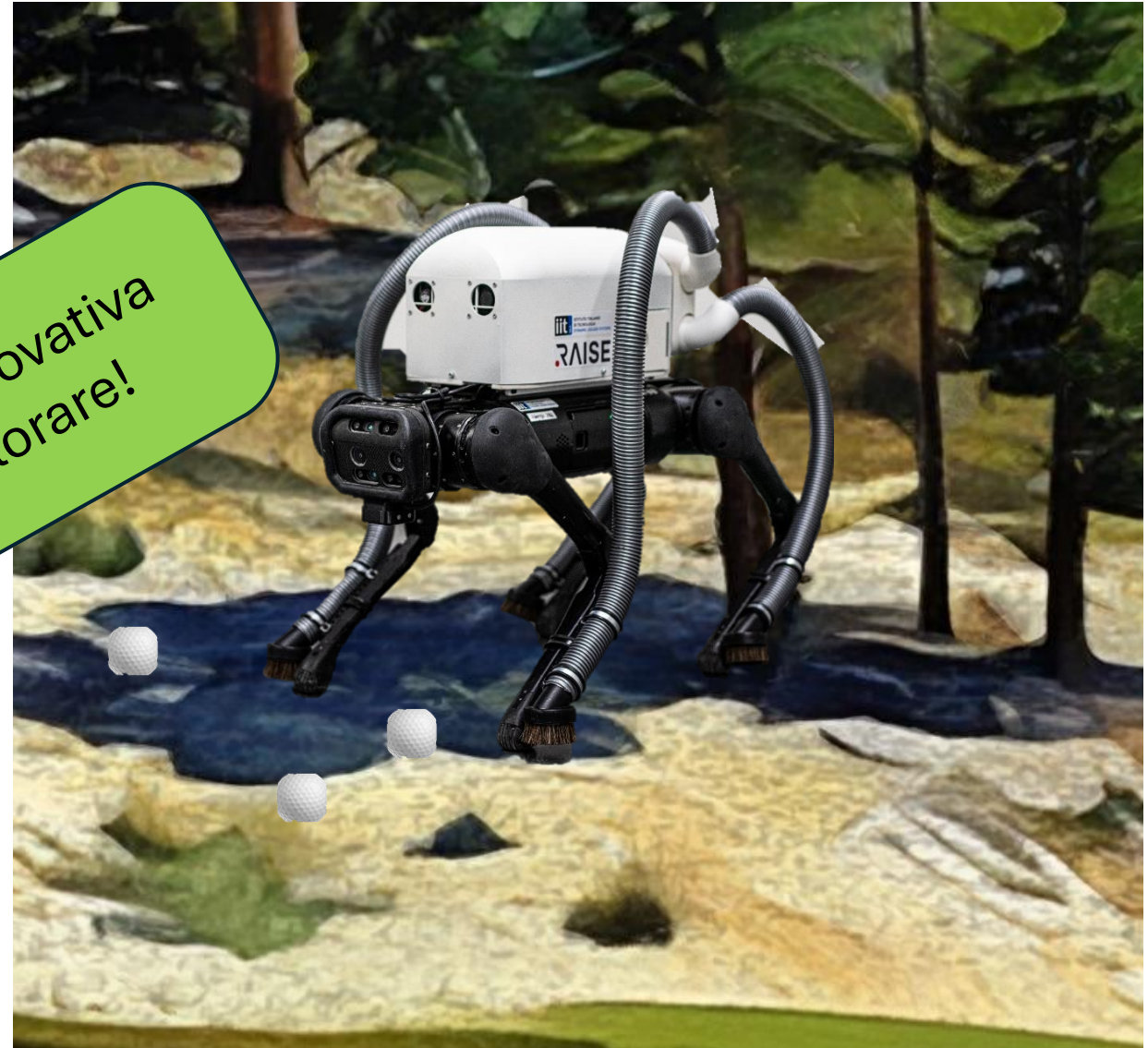


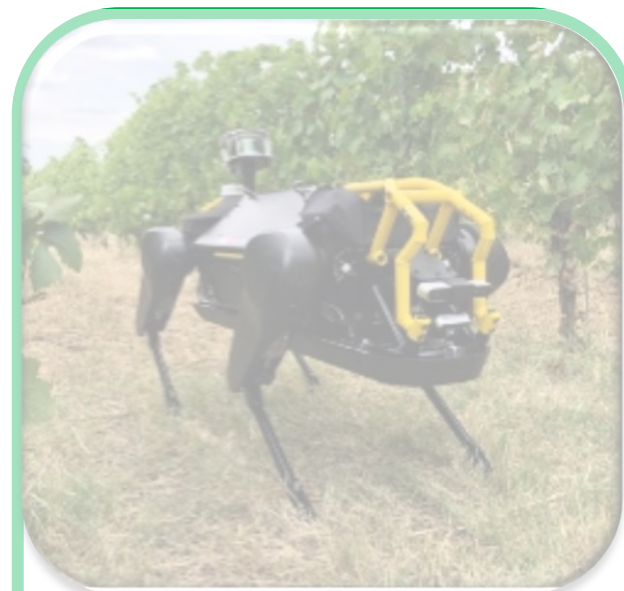
Centinaia di milioni di palline da golf vengono perse ogni anno

palline da golf perse



Un'idea innovativa da esplorare!





Agricoltura di Precisione

- Potatura invernale in vigneto
- Monitoraggio piante e suolo



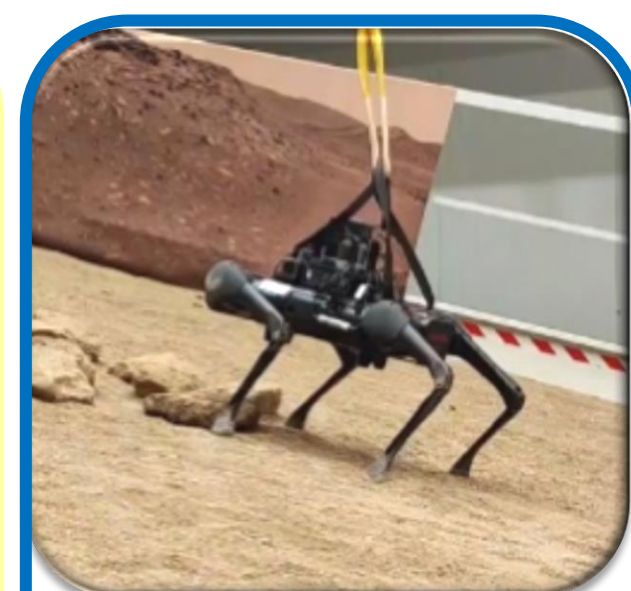
Salvataggio

- Salvataggio, lotta antincendio
- Teleopera. in zone pericolose



Clean-Tech

- Raccolta dei mozziconi
- Raccolta dei rifiuti su terreni accidentati



Esplorazione Spaziale

- Esplorazione planetaria
- Installazione di infrastrutture



CDP Venture Capital Sgr



Agenzia Spaziale Italiana



Rendering of future moon village (credit: Skidmore, Owings & Merrill)

AUTONOMOUS NON-WHEELED ALL-TERRAIN ROVER (ANT)

Tender ITT: ESA AO/1-10289/20/NL/RA)

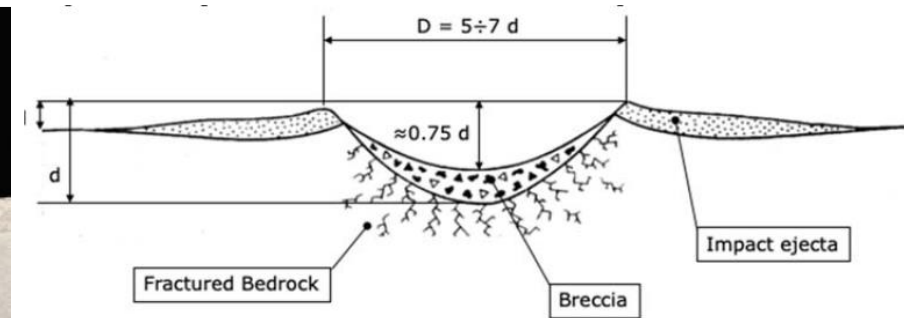
ESA EXPRESS PROCUREMENT PLUS (EXPRO+) / OPEN-COMPETITIVE

Project start: April 2021



Image credit: DFKI

Crateri e lucernari



Gianluca Cerilli



Marco Marchitto



Geoff Fink



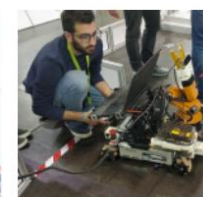
Lorenzo Amatucci



Victor Barasuol



Michele Focchi



Giulio Turrisi

Hexapod Robot CREX (DFKI) at DFKI, Germania



Ammasso di detriti

Robot quadrupede Aliengo (IIT) presso ALTEC, Italia



Rocce sciolte su una pendenza di 15 gradi



Fino a 25 gradi di inclinazione, sabbia al Mars Terrain Simulator (Altec, Italia)



Inclinazione di 35 gradi

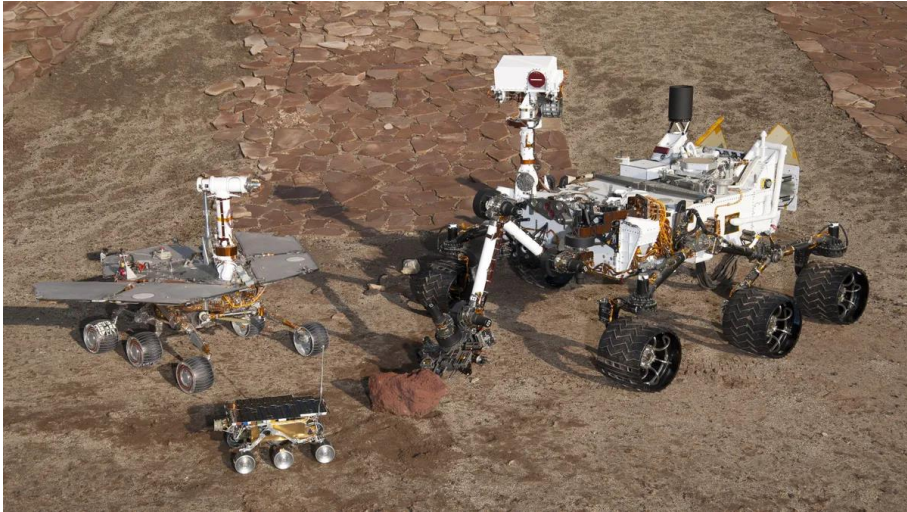


Inclinazione di 35 gradi

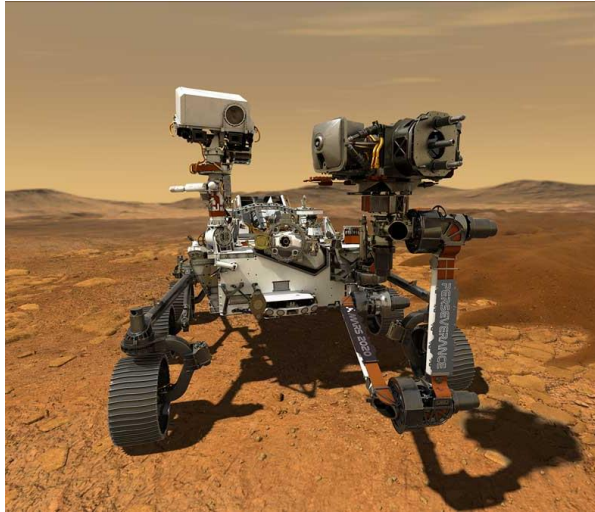


ExoMars rover

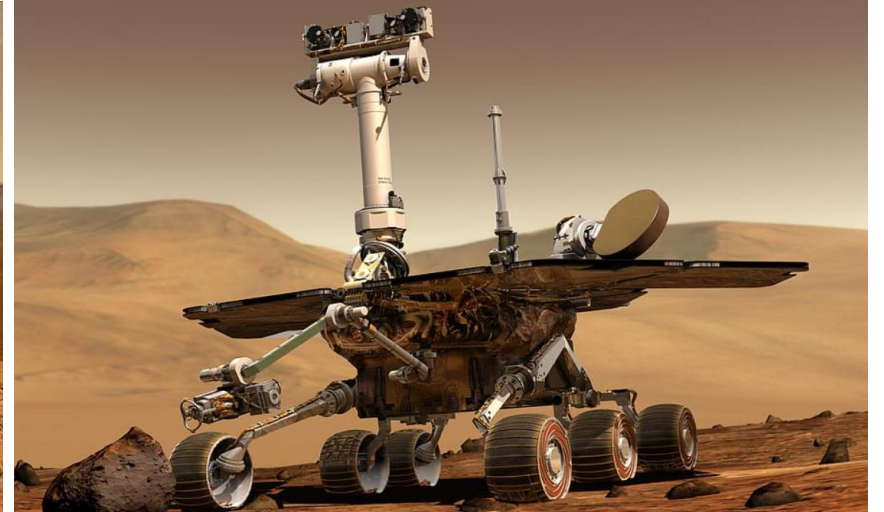
Mobilità per l'esplorazione planetaria



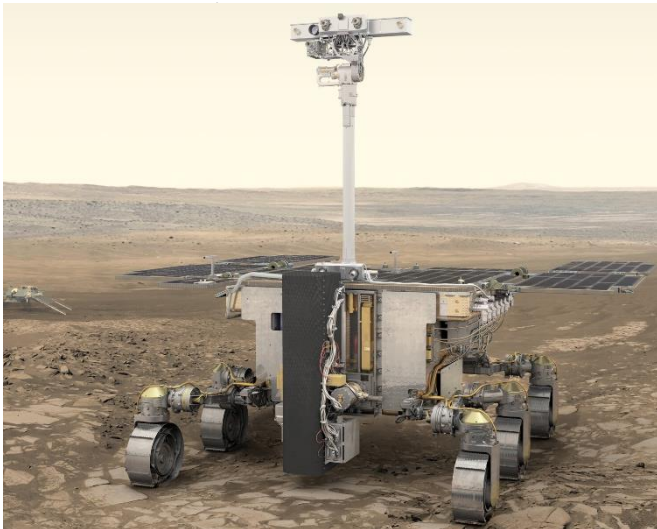
Spirit/Opportunity, Sojourner, and Curiosity Mars rovers



Perseverance Mars rover
(Image credit: NASA/JPL-Caltech)



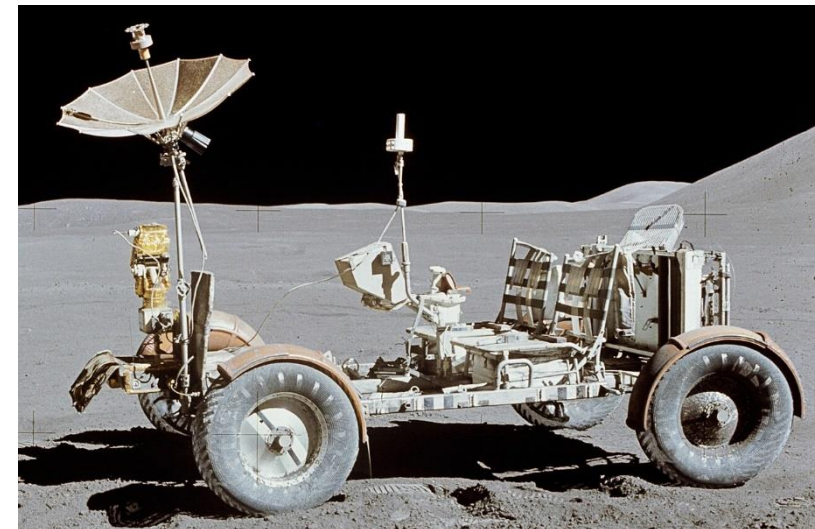
ZhuRong Mars rover
(Image credit: CNSA)



Rosalind Franklin Mars rover
(Image credit: ESA)



Lunokhod 1 Moon rover
(Soviet Union)



Apollo 15 Lunar Roving Vehicle on the Moon
(Image credit: NASA)

Diversi tipi di locomozione per l'esplorazione spaziale

- Volanti
- Rappelling down
- Rotolanti
- Robot serpente
- Robot a tensegrità
- Robot con zampe / saltatori



Ingenuity Mars helicopter (Image credit: NASA/JPL-Caltech)



CoRob-X (EU-funded project led by DFKI)
© DFKI GmbH, Grafik: Finn Lichtenberg



(c) Kåre Halvorsen

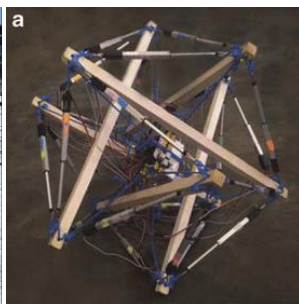


(c) Kåre Halvorsen

Example: MorpHex MKII (Source: Zenta Robotic Creations)



The EELS snake robot training at a ski resort in Southern California. Credit NASA / JPL-CalTech

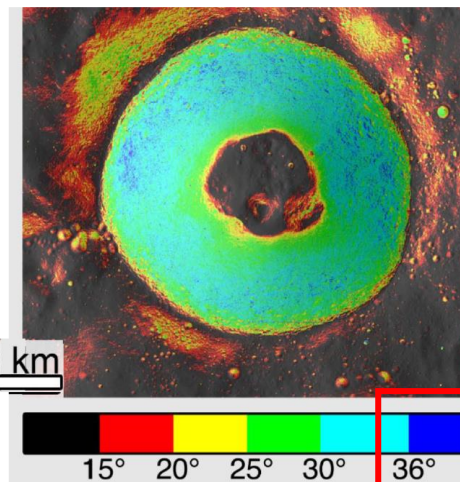


Berkeley Emergent Space Tensegrities lab (UC Berkeley)



Hexapod Legged Robot CREX (DFKI)

Shackleton crater on Moon



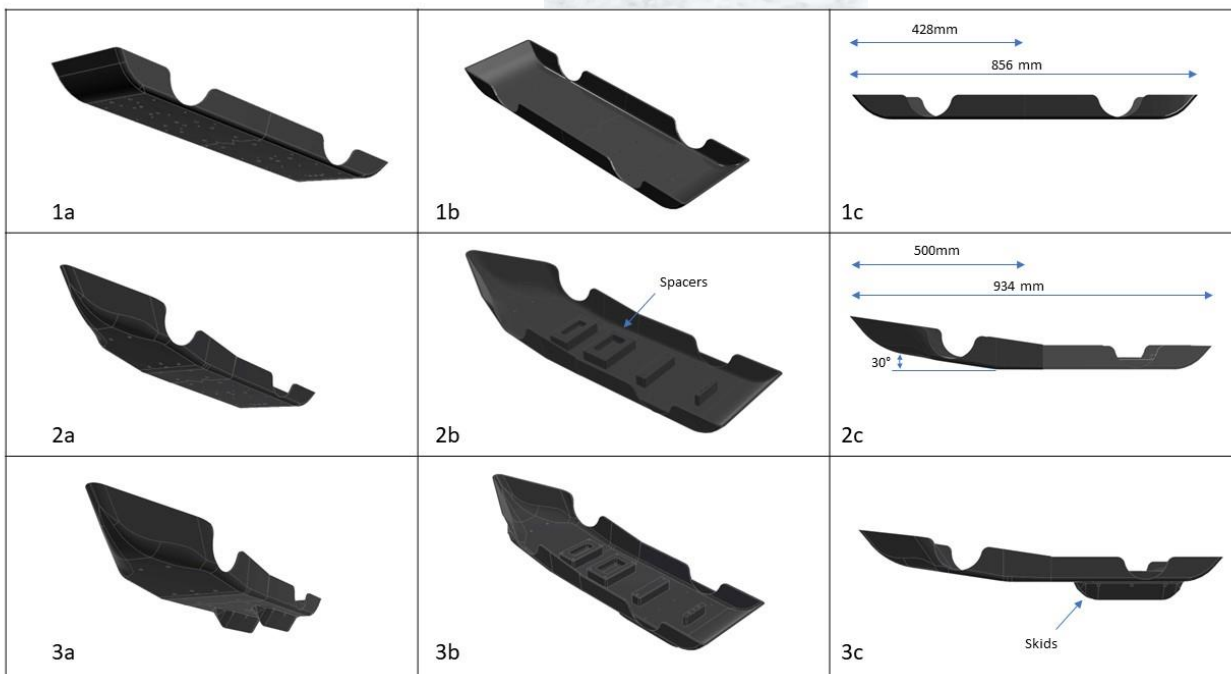
Ma su terreni ripidi e instabili, nessuno di questi tipi di locomozione è adatto!



Nuovo tipo di locomozione per pareti di crateri ripide e instabili



Ispirazione: bob da neve



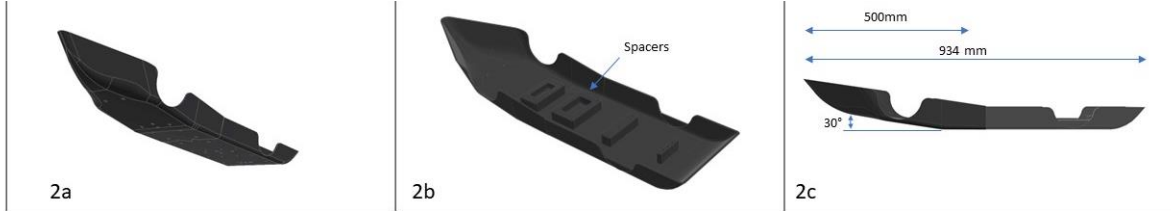
Diverse versioni dei design del torso



Robot Aliengo presso il sito di test sul campo con torace personalizzato e Intel Nuc 11

V. Barasuol, M. Villa, M. Marchitto, G. Cerilli, and C. Semini, Controlled Sliding Locomotion for Legged Rovers on Steep Terrain During Space Exploration, 17th Symposium on Advanced Space Technologies in Robotics and Automation (ASTRA), 2023.

Torso design 2:



Luogo:

Serra Ricco, Genova, Italia

Proprietà:

- Materiale: ciottoli di 8–15 mm
- Altezza del cumulo: circa 10 m
- Inclinazione media: 33°



Torso design 2



Frenata controllata



Prove di sterzata

To be continued...

Simulazione di particelle in ANSYS Rocky

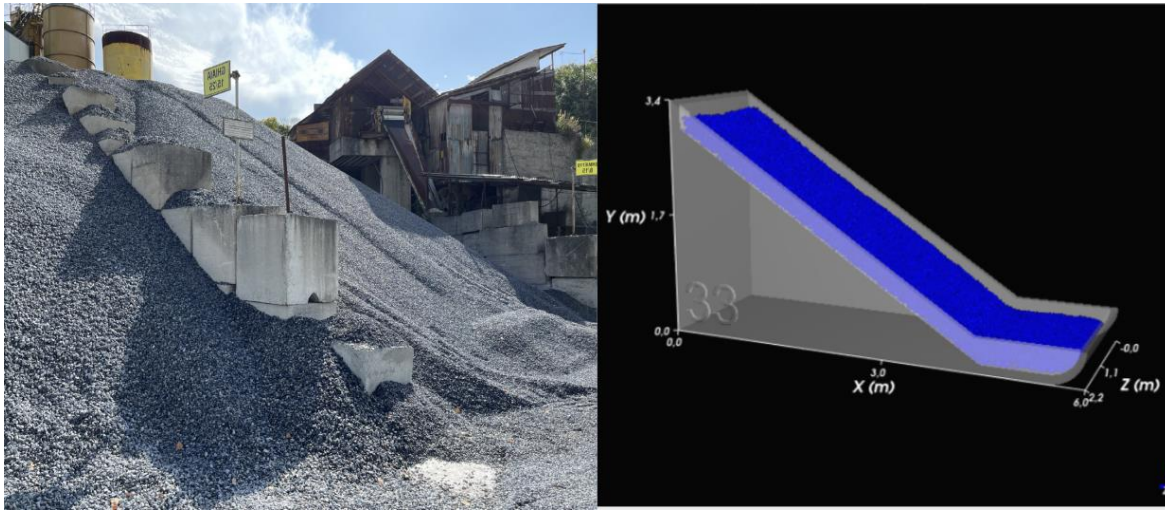
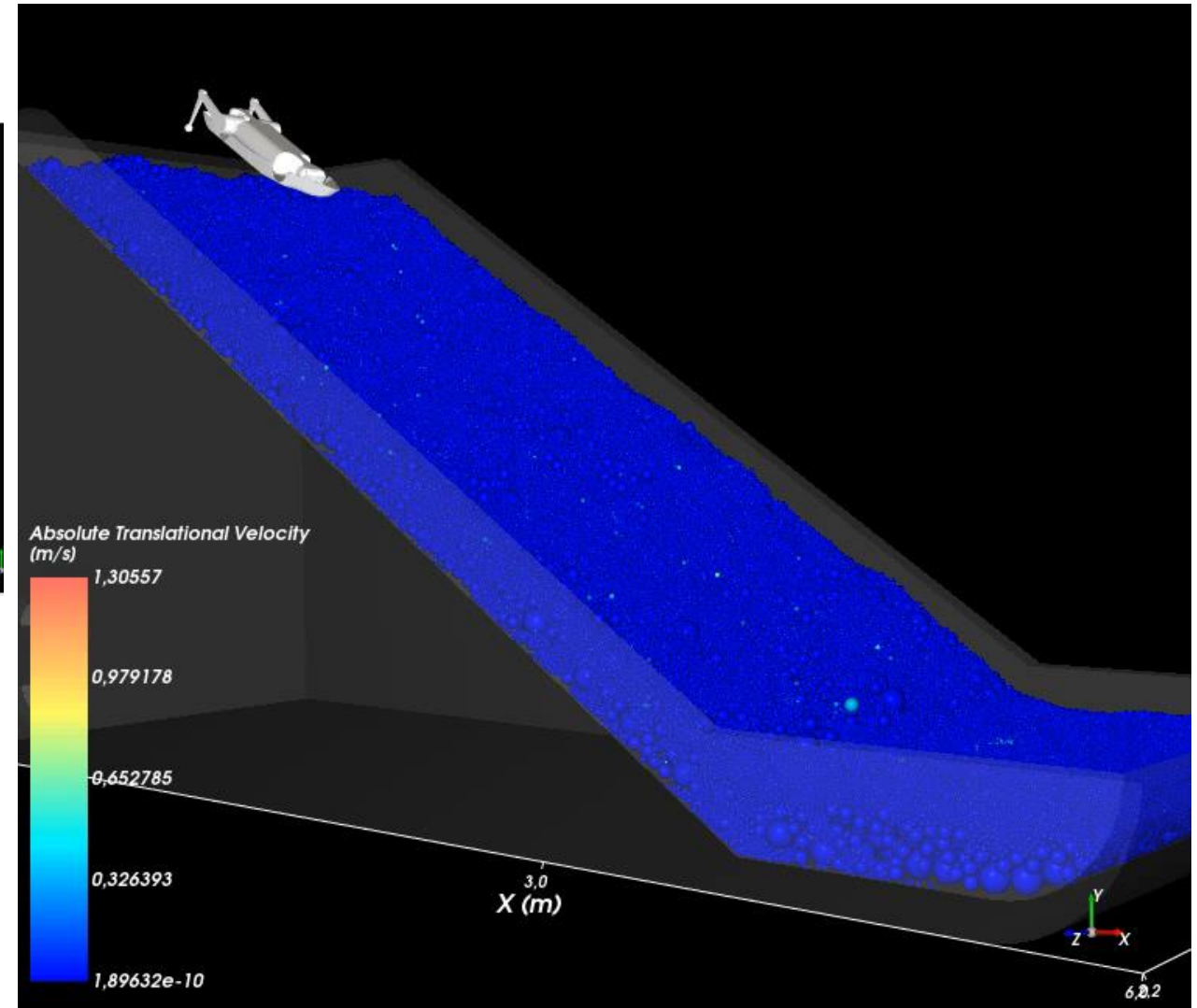


TABLE II

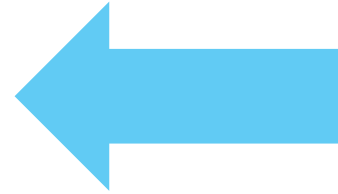
GRAVEL PARAMETERS: (*) FROM MATERIAL WIZARD, (**) DEFAULT FROM ROCKY, THE OTHERS FROM [7]

Gravel param	Val.	Steel wall Param	Value
Density (kg/m^3)	2760	Wall-part. static friction	0.45
Young's Mod (Pa)	$2.9 \cdot 10^{10}$	Wall-part. rolling resist.	0
Poisson ratio	0.2	Wall-part. restit. coef.	0.61
Inter-part. static frict.	0.58*	Wall-part. dyn. frict.	0.3**
Inter-part. rolling resist.	0.3*		
Inter-part. restit. coef.	0.46		
Inter-part. dyn. frict.	0,58*		



Un viaggio nell'evoluzione dei **robot quadrupedi**

- Introduzione
- Breve storia dei robot a gambe
- Sviluppo dei robot quadrupedi presso IIT
- Applicazioni dei robot quadrupedi
- Analisi di mercato e prospettive future



Vendite e proof of concept (POC) in diversi settori:

- Intrattenimento
- Ricerca e istruzione
- Ispezione di siti industriali, e.g. Oil & Gas
- Difesa e sicurezza
- Intervento in caso di disastri
- Logistica

Some examples:



AIBO – intrattenimento



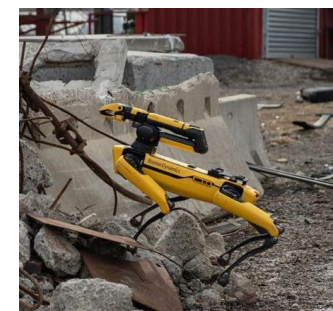
Go2 – ricerca e istruzione



Anymal C – ispezione



Vision 60 - difesa



Spot – disastri



RIVR - logistica

Early Proof of Concept (POC)

- Clean Tech
- Agricoltura
- Edilizia
- Esplorazione spaziale
- Trasporti



VERO – clean tech



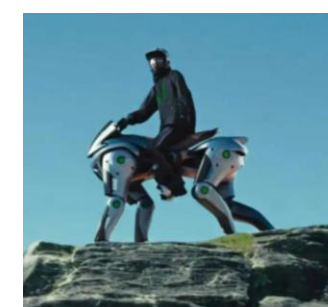
VINUM – agricoltura



HyQReal – edilizia



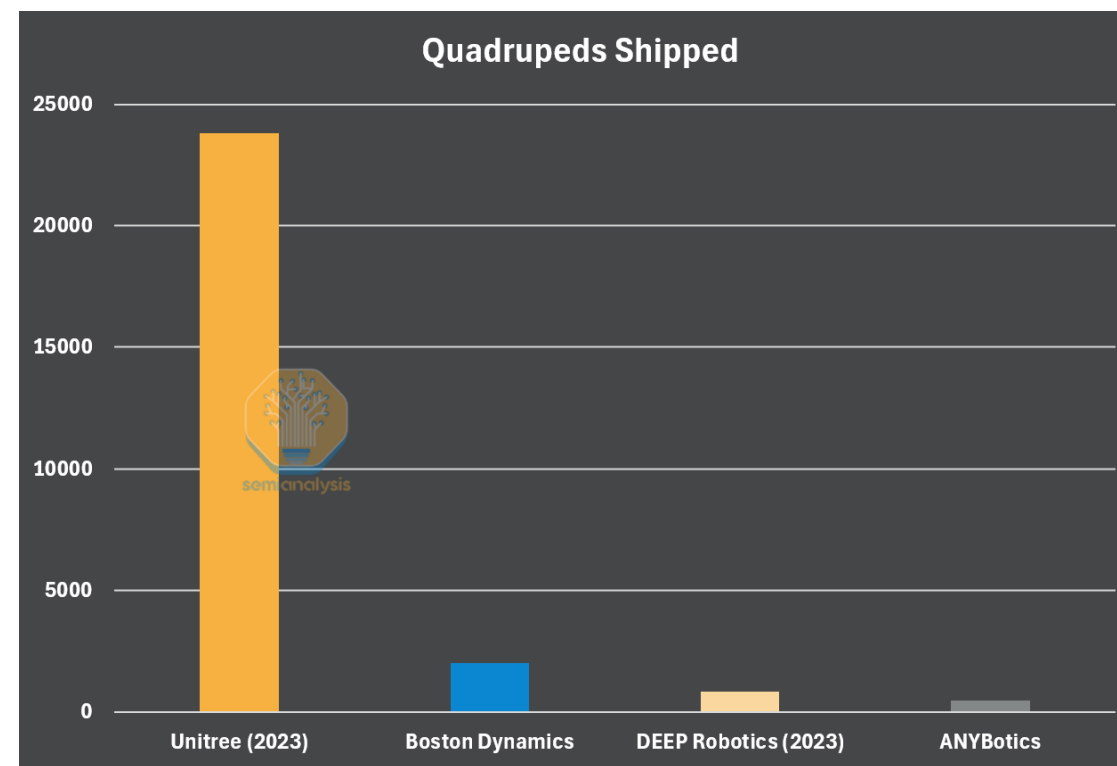
CREX – esplorazione spaziale



Kawasaki - trasporti

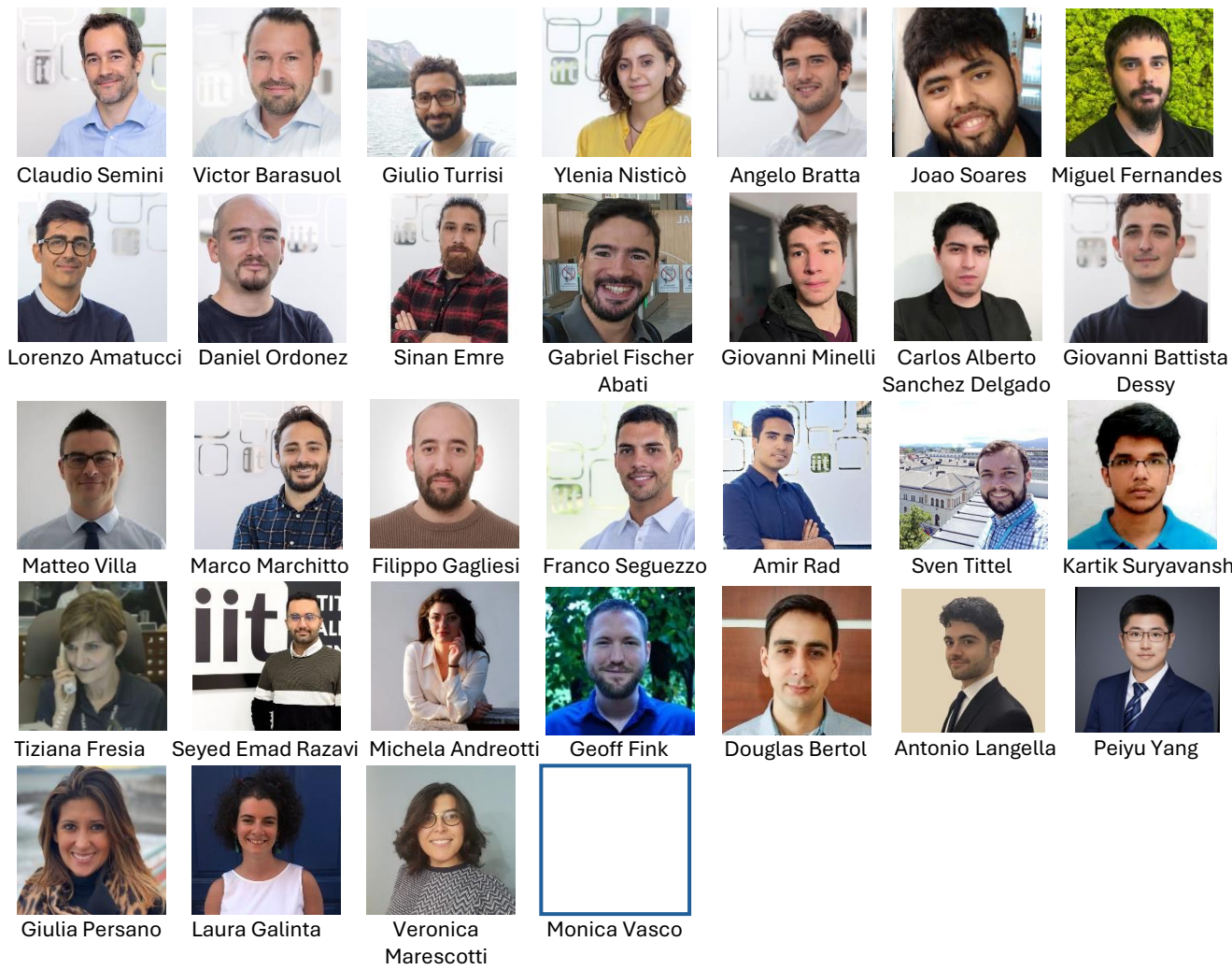
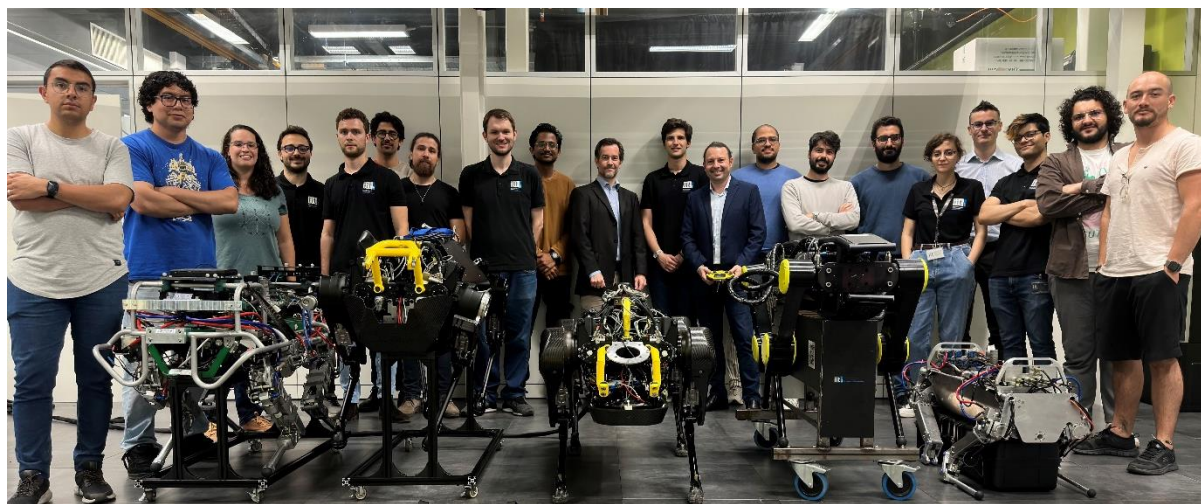
Key players

- Unitree (23700 quadrupedi venduti in 2023) circa 70% of the global market share)
- Boston Dynamics
- Deep Robotics
- Anybotics
- Ghost Robotics
- Sony (1a generazione di AIBO venduto oltre 150'000 unità dal 1999-2006)
- ...



Source: SemiAnalysis Estimates, GGII Report

- **Il robot quadrupede come veicolo fuoristrada promettente.**
- **Dal 2020** si registra una **crescita delle vendite di robot quadrupedi** e un **numero crescente di aziende** coinvolte.
- **Molte applicazioni innovative** restano da esplorare.
- **Il boom dell'intelligenza artificiale** accelererà anche lo **sviluppo dell'intelligenza e dell'autonomia dei robot.**



web: dls.iit.it
 facebook: iitDLSlab
 twitter: iitDLSlab



claudio.semini@iit.it