



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA
INFORMAZIONE E BIOINGEGNERIA

Fondamenti di robotica

Robotica industriale e di servizio

21.02.2026 | Paolo Rocco

Contenuti

1. Che cos'è un robot?
2. Statistiche di vendita
3. Configurazioni tipiche e applicazioni
4. Trend della robotica
5. Robotica di servizio e umanoide

Che cos'è un robot?

01

Che cos'è un robot?

An automatically controlled, **reprogrammable, multipurpose** manipulator programmable in three or more axes, which can be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications

(ISO 8373:2012)

Il robot non è solo un dispositivo meccanico...



FANUC CRX-10iA/L

Quindi un robot si muove...

E questo è un robot?



Si muove, ma non ha assi e non può manipolare l'ambiente muovendo parti.
Quindi **non è un robot** in base alla nostra definizione (ma può esserlo in base ad altre)

Un prodotto generico di **intelligenza artificiale** (un chatbot per esempio) non è definibile come robot

Un po' di storia

Il termine robot deriva dal termine ceco **robota**, che significa lavoro pesante o lavoro forzato. Il termine fu introdotto dallo scrittore ceco **Karel Čapek**, che lo usò per la prima volta nel 1920 nel dramma teatrale **I robot universali di Rossum**.

La parola robot fu usata da **Isaac Asimov** nella raccolta **Io, Robot** (1950) dove sono enunciate le tre leggi della robotica:

1. Un robot non può recar danno a un essere umano né può permettere che, a causa del suo mancato intervento, un essere umano riceva danno.
2. Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non vadano in contrasto alla Prima Legge.
3. Un robot deve proteggere la propria esistenza, purché la salvaguardia di essa non contrasti con la Prima o con la Seconda Legge.



Karel Čapek (1890-1938)



Isaac Asimov (1920-1992)

Il primo robot industriale

Unimate (brevettato nel 1954 da G. Devol e J. Engelberger di Unimation)



Il primo robot industriale a 6 giunti e motori elettrici

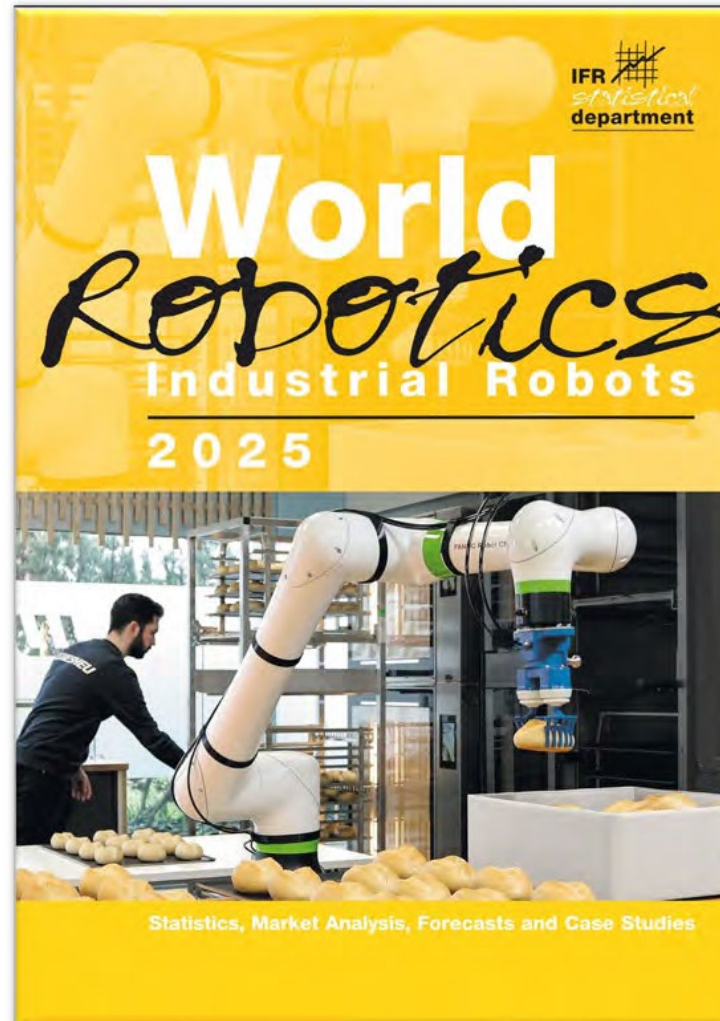
PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) – Unimation and General Motors
Anni '70



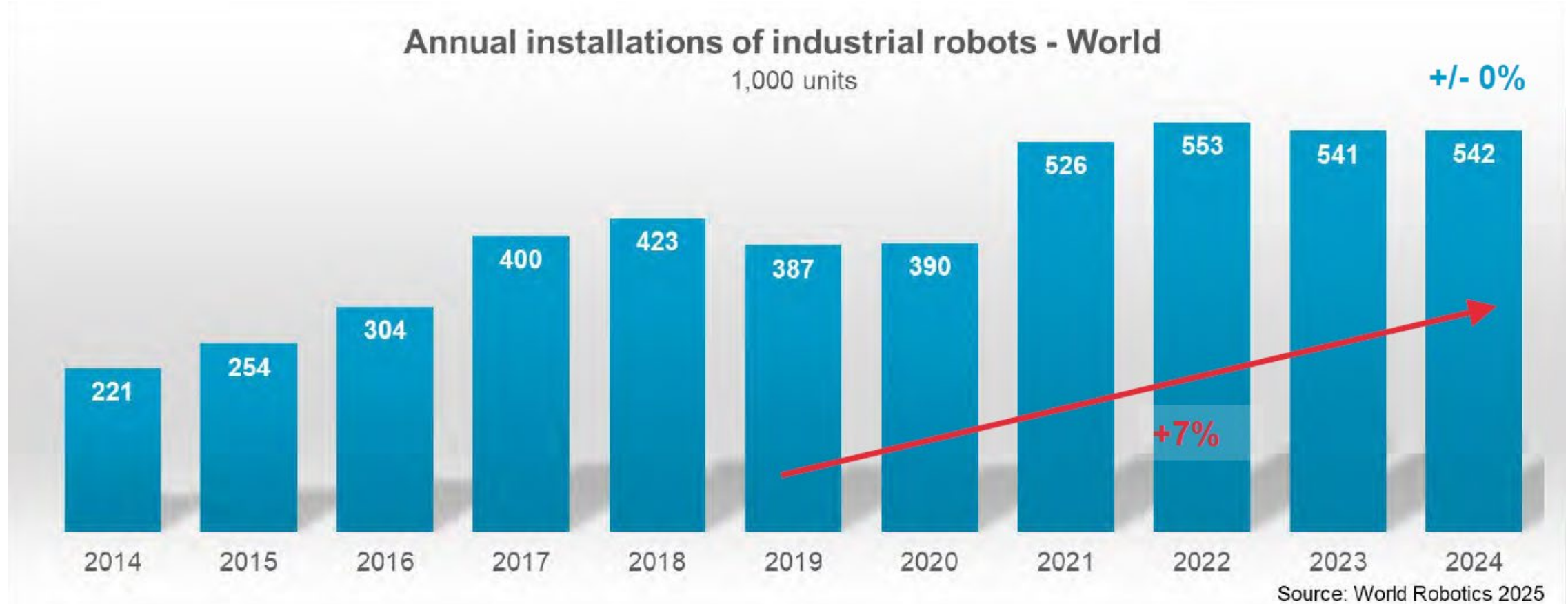
Statistiche di vendita

02

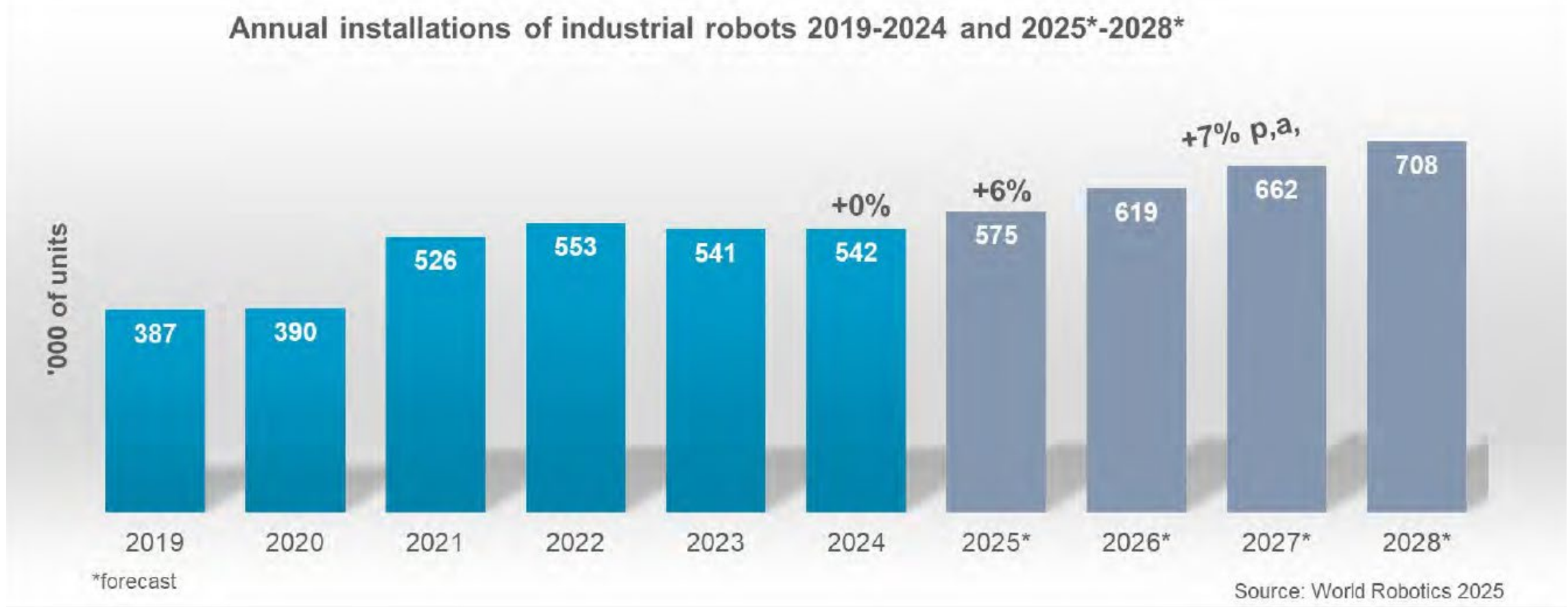
La robotica industriale nel mondo



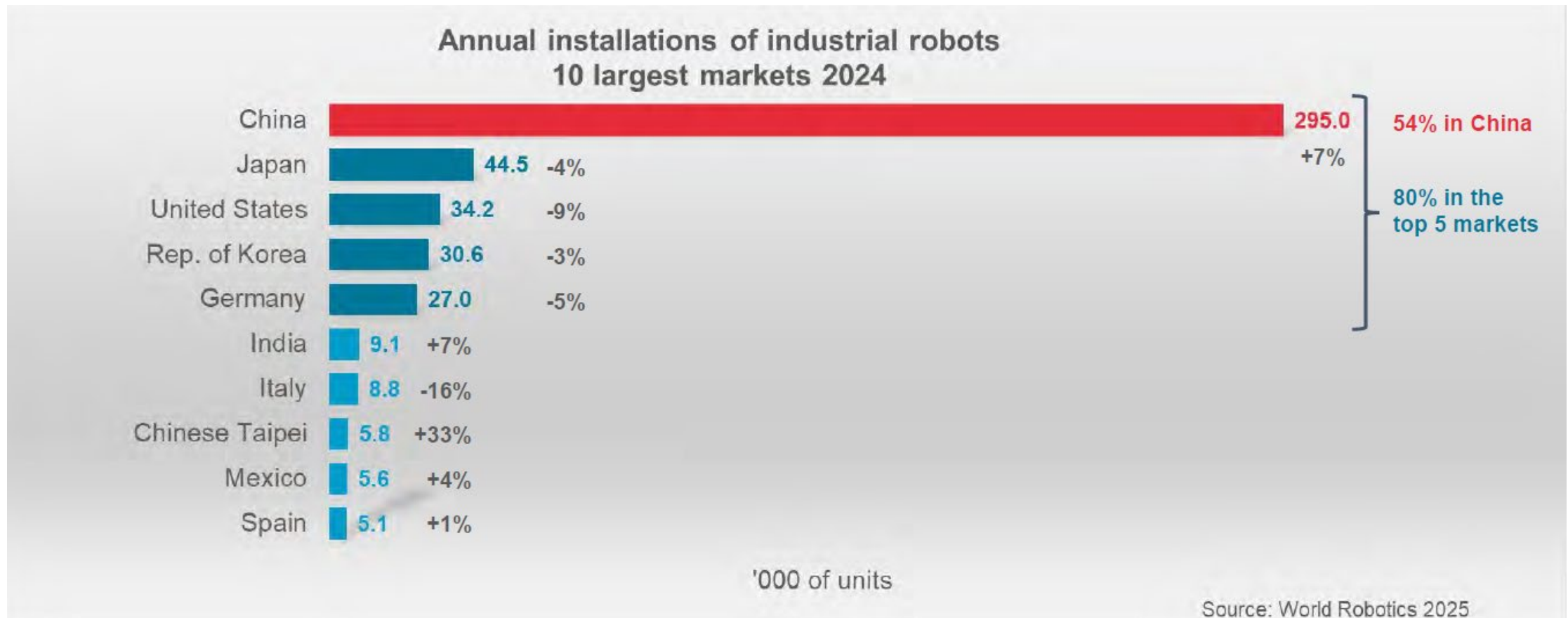
Installazioni di robot industriali nel mondo



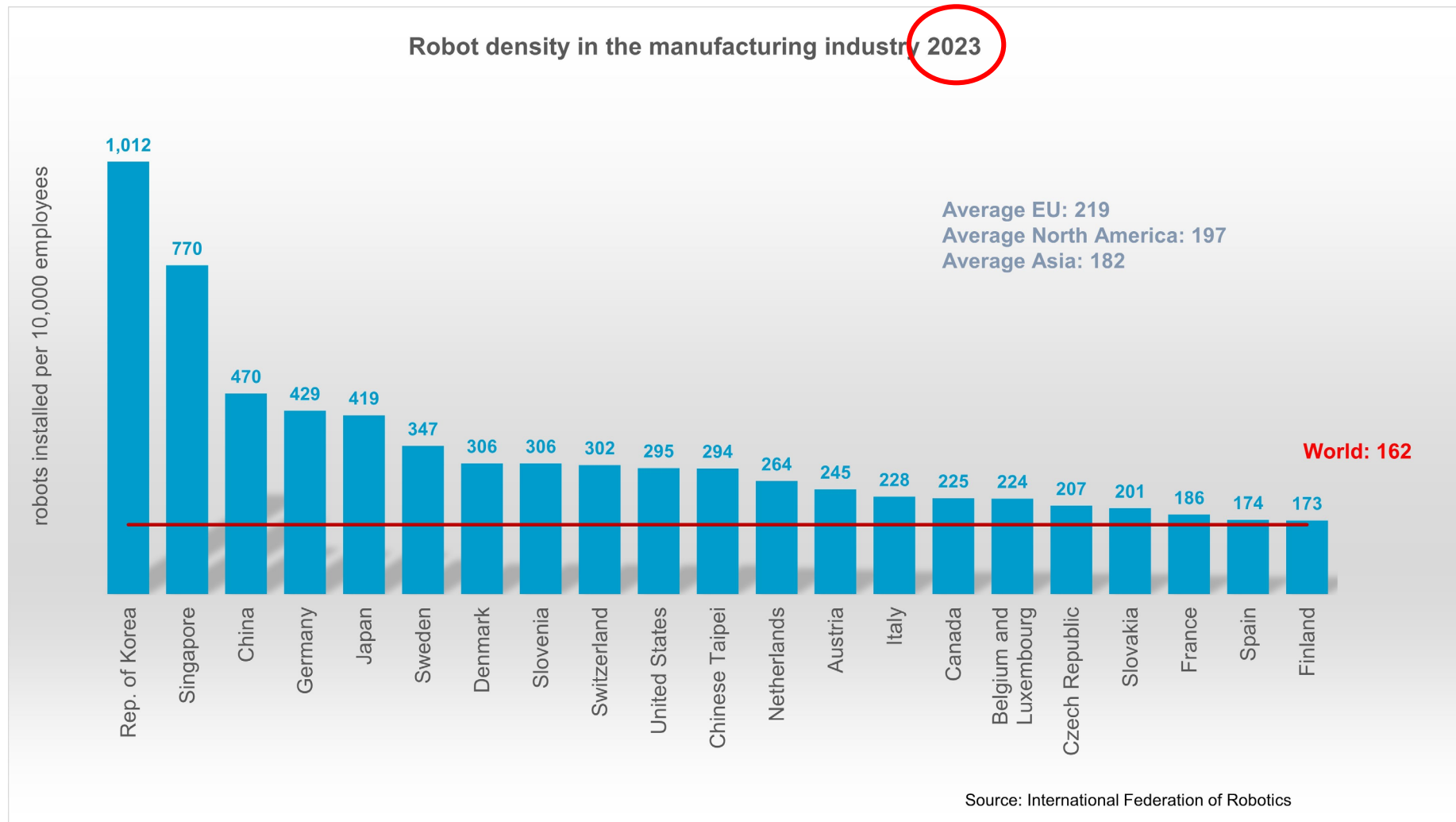
Installazioni di robot industriali nel mondo: previsioni



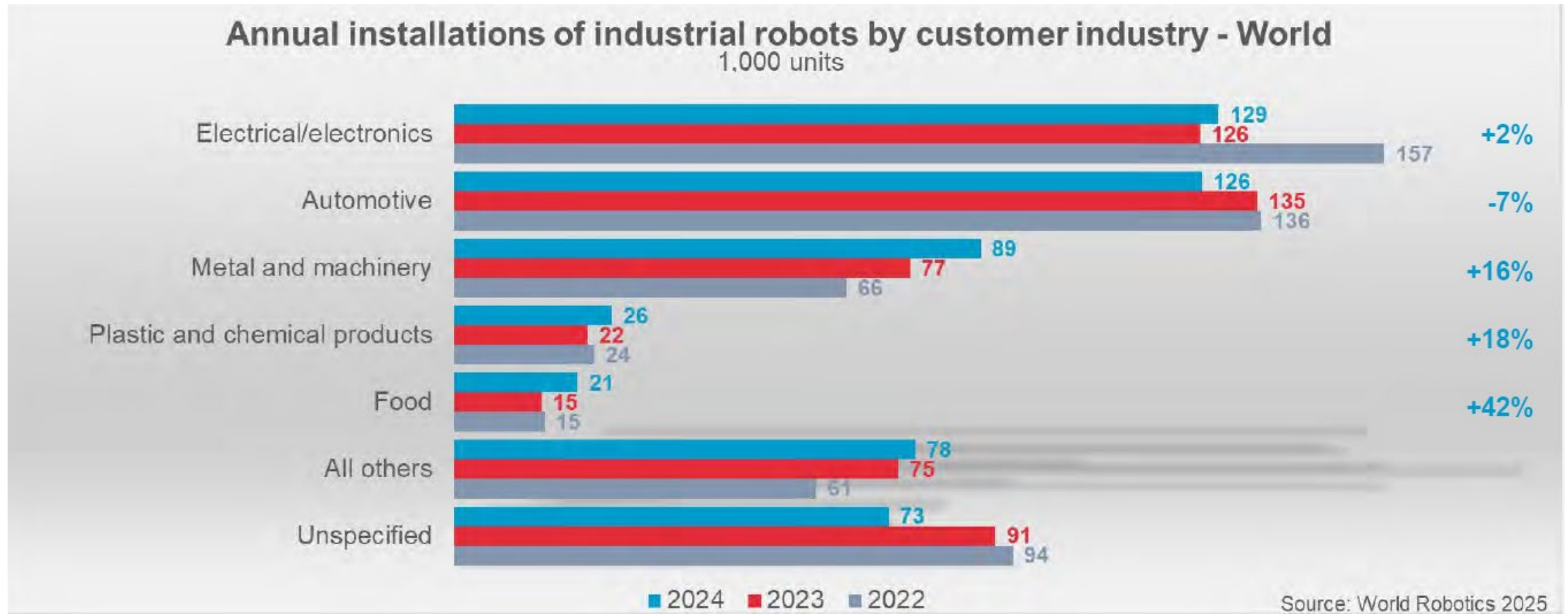
Metà dei robot sono venduti in Cina



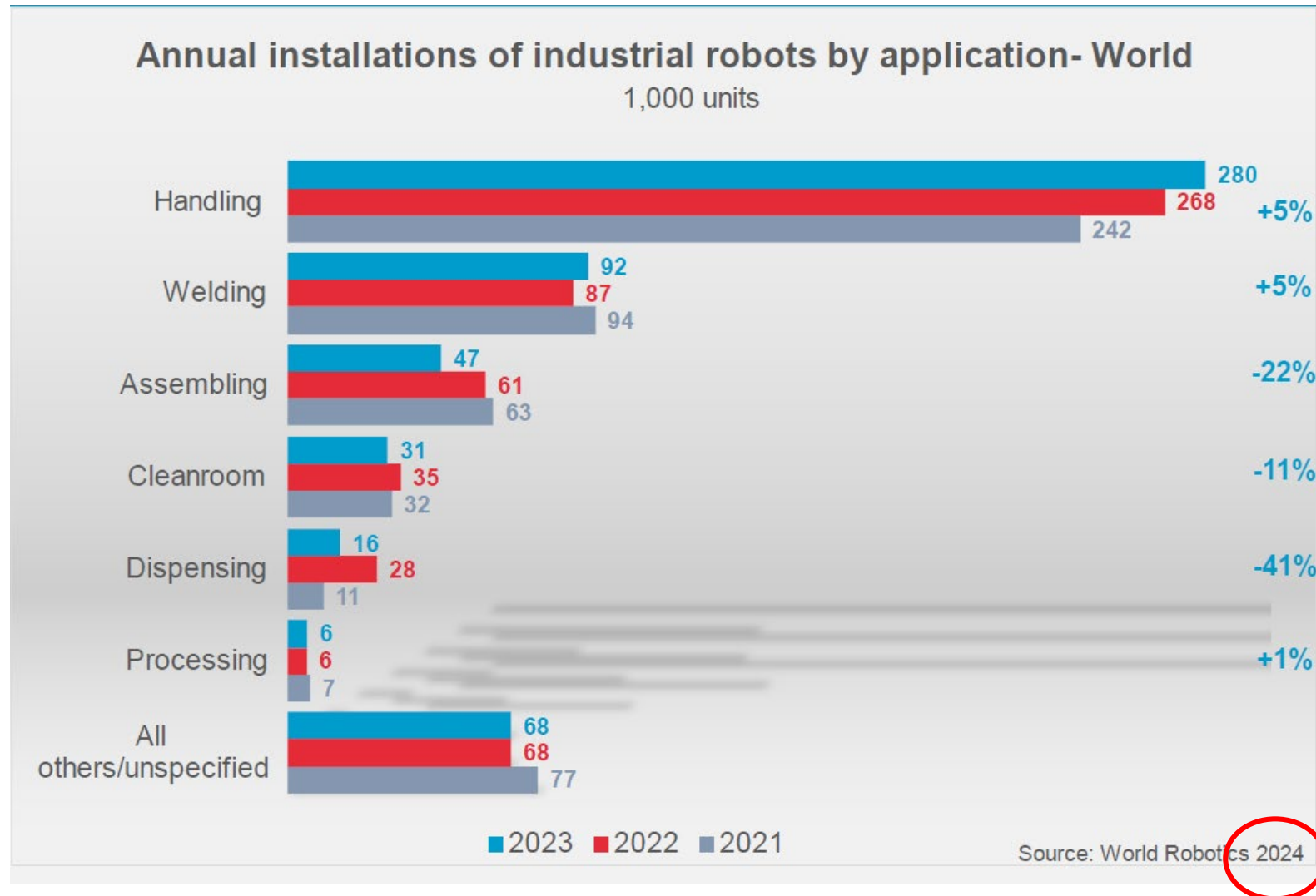
Densità dei robot



Industrie di riferimento per la robotica



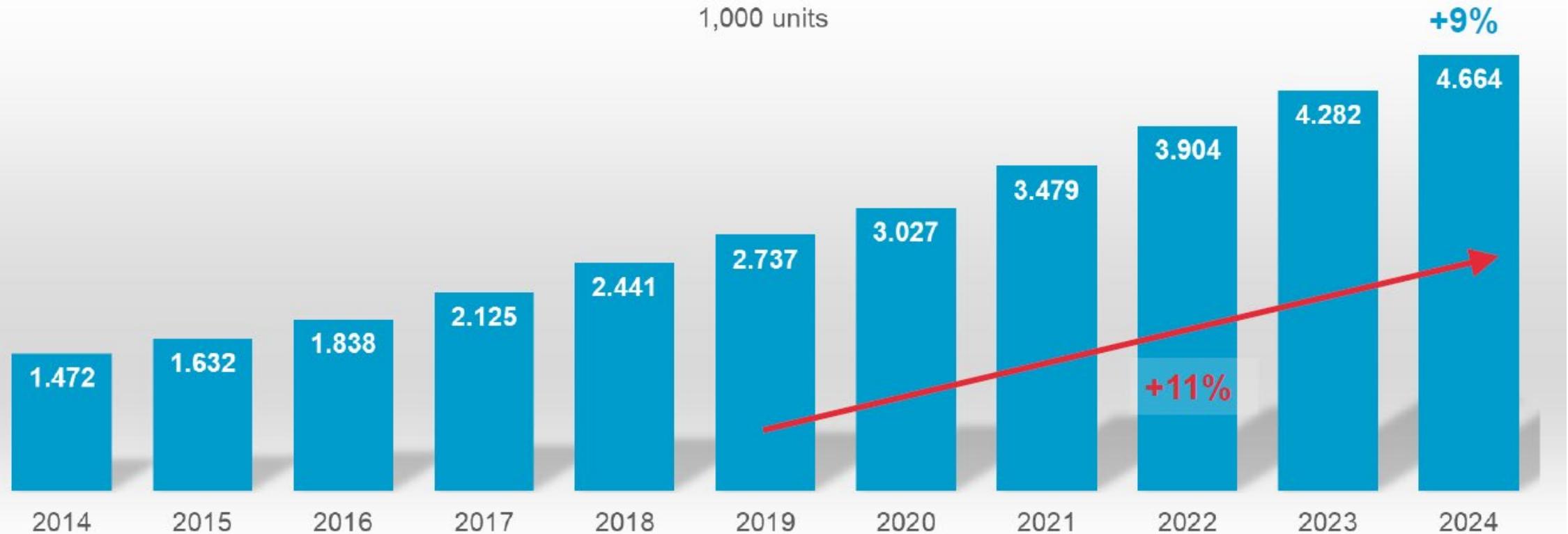
Applicazioni della robotica



Robot installati al mondo

Operational stock of industrial robots - World

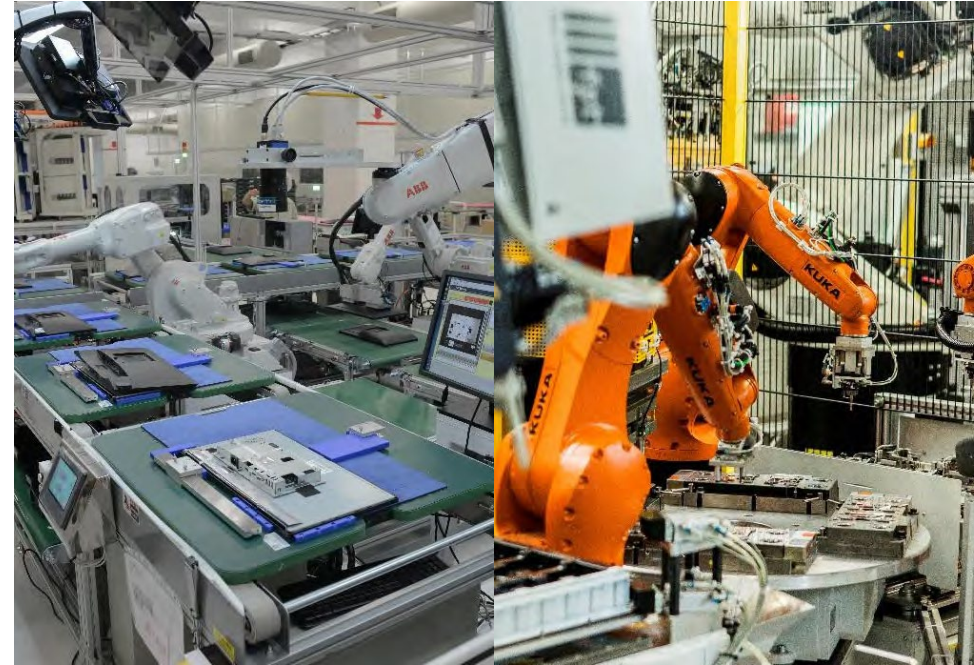
1,000 units



Source: World Robotics 2025

Perché così tanti robot?

- Passaggio a produzioni ad alto mix/basso volume
- Personalizzazione: l'aumento del mix richiede una produzione più flessibile
- Requisiti di qualità superiore per il processo di produzione
- Competitività globale
- Breve ciclo di vita dei prodotti elettronici



Source: IFR

Configurazioni tipiche e applicazioni

03

Ma come è fatto un manipolatore robotico industriale?

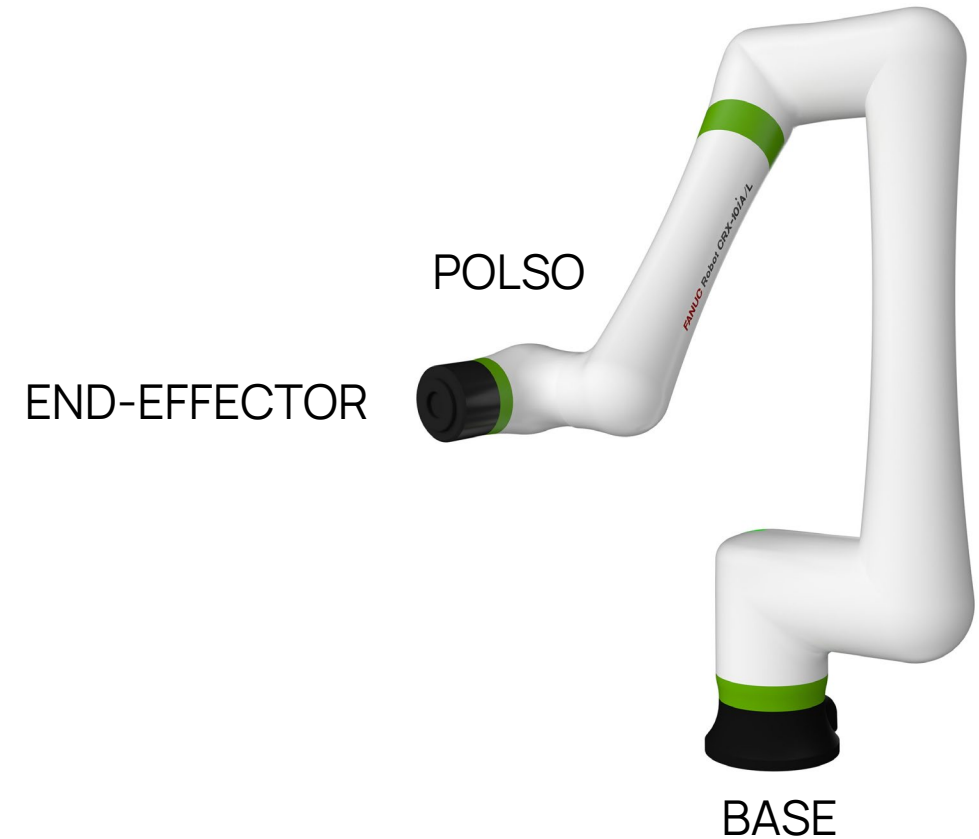
Il manipolatore è costituito da una serie di corpi rigidi (**link**) collegati da **giunti**.

Un'estremità di questa catena costituisce la **BASE**, solitamente fissata al pavimento.

All'altra estremità abbiamo l'**END EFFECTOR** dove è montata la pinza o l'utensile.

Di solito i manipolatori hanno sei link:

- i primi tre determinano il posizionamento
- gli ultimi tre (**POLSO**) determinano l'orientamento



Perché sei giunti?

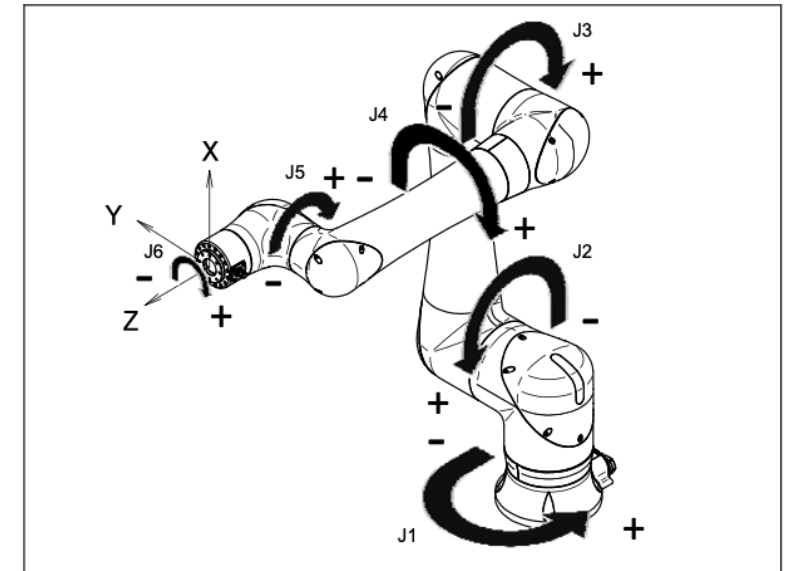
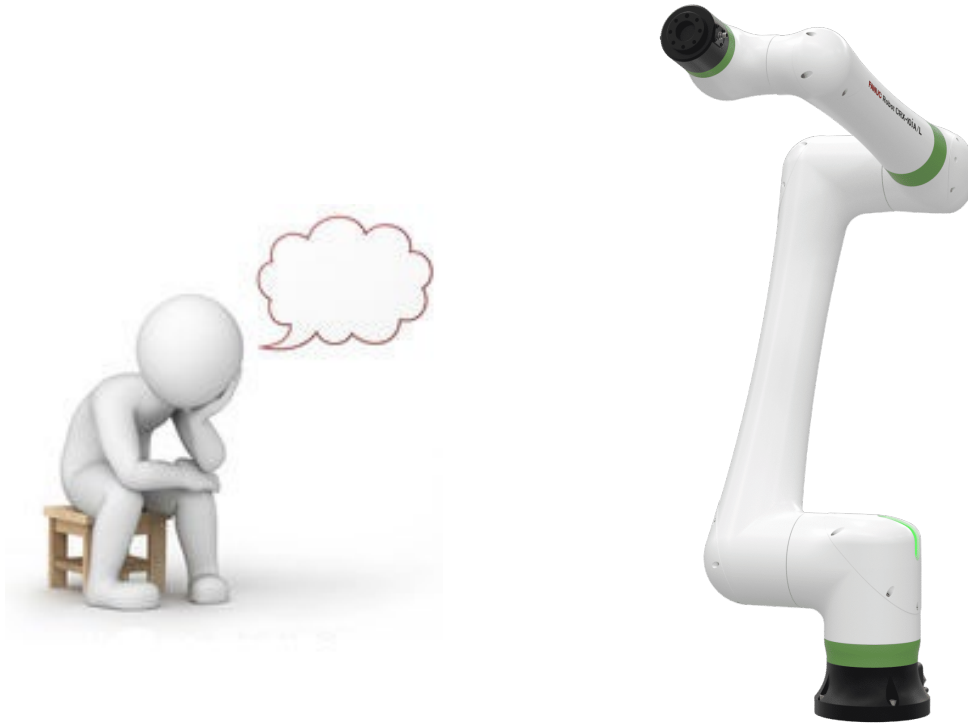


Fig. 3.1 (b) Each axes coordinates and mechanical interface coordinates

Operazioni tipiche eseguite dai robot



Uno stabilimento produttivo: BMW i3

Pick and place



Pick and place



Video gallery from Prof. Alessandro De Luca

Uno stabilimento produttivo: BMW i3

Pick and place



Lavorazione metallo



Uno stabilimento produttivo: BMW i3

Deposito di colla



Manipolazione



Uno stabilimento produttivo: BMW i3

Rivestimento di parti



Verniciatura

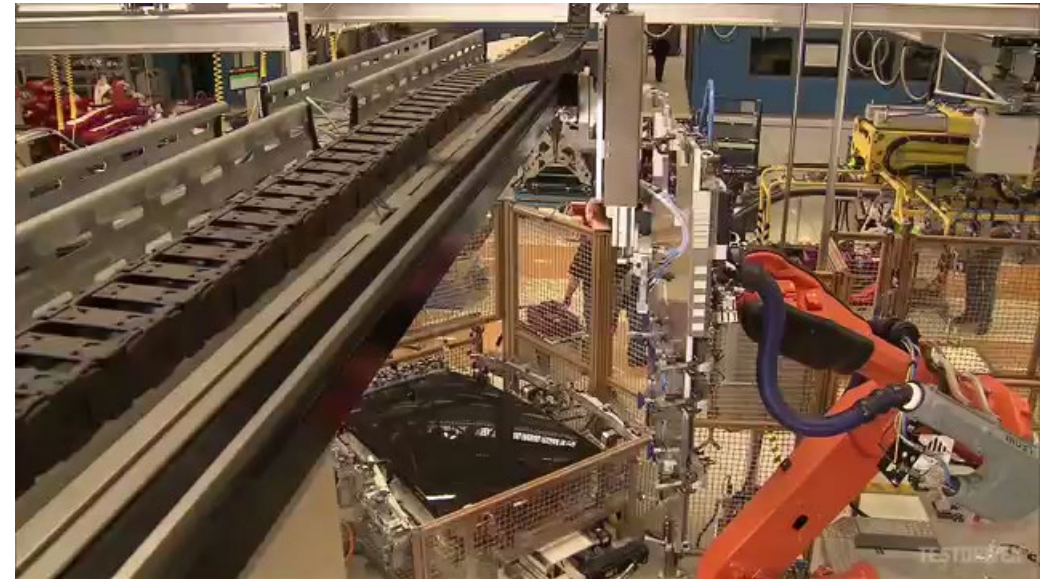


Uno stabilimento produttivo: BMW i3

Verniciatura



Sbavatura

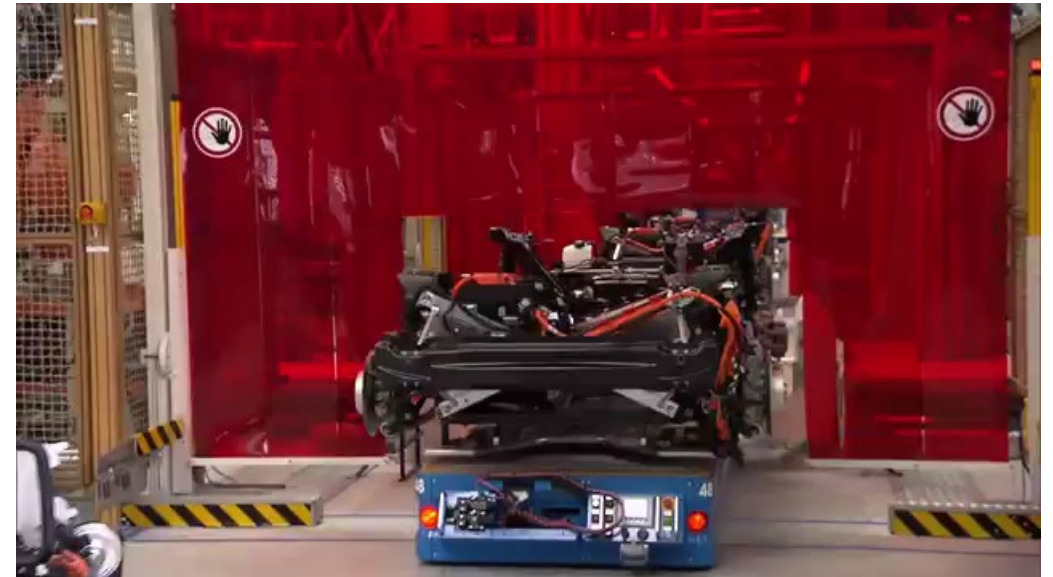


Uno stabilimento produttivo: BMW i3

Assemblaggio cruscotto

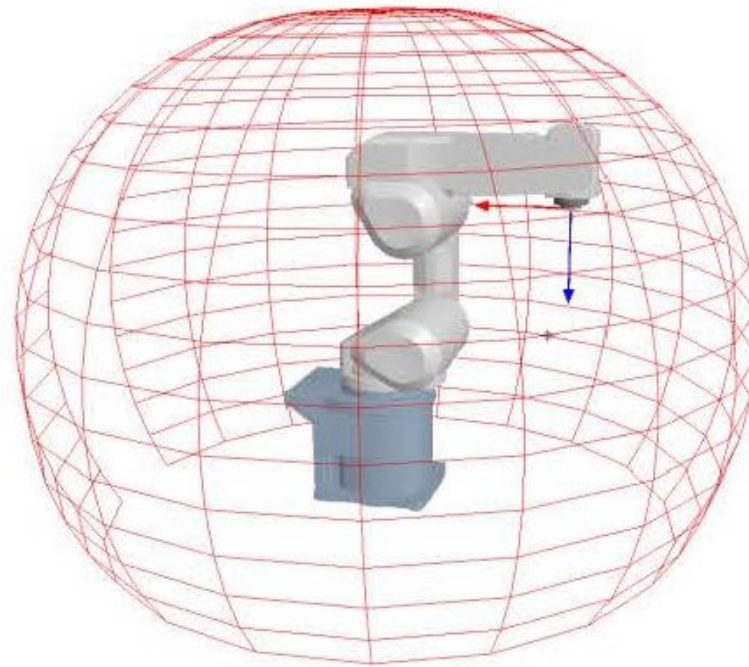
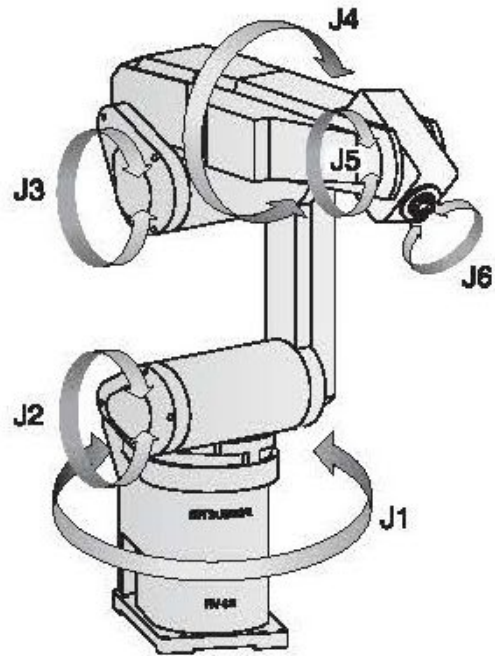


Test e misure



Configurazioni comuni dei robot (1/4)

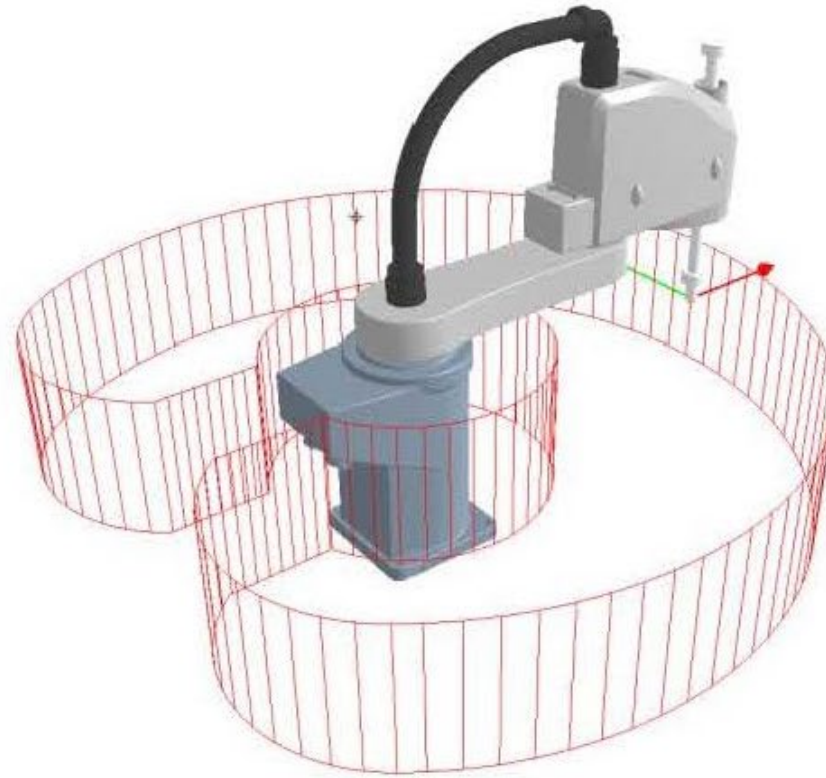
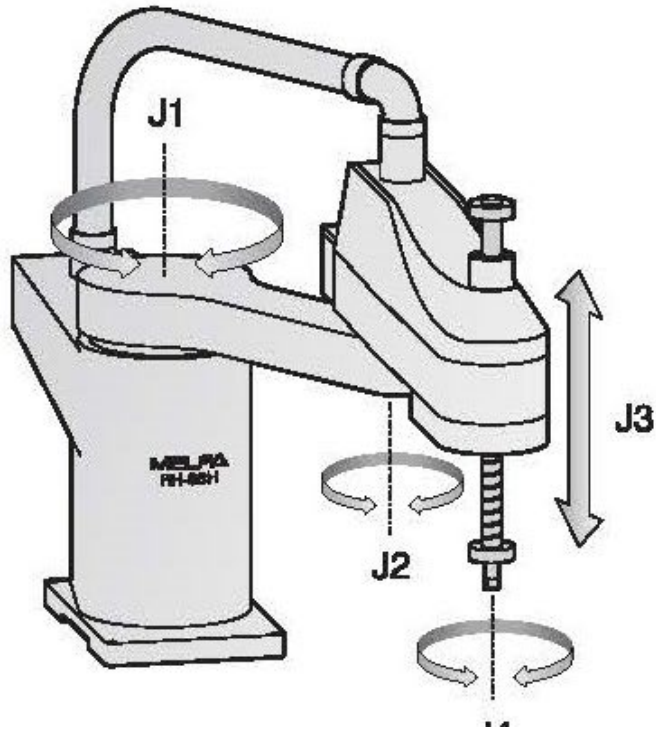
Articulated Robot



- La struttura tipica del robot manipolatore
- Struttura caratterizzata da destrezza
- La rigidità meccanica è funzione della configurazione

Configurazioni comuni dei robot (2/4)

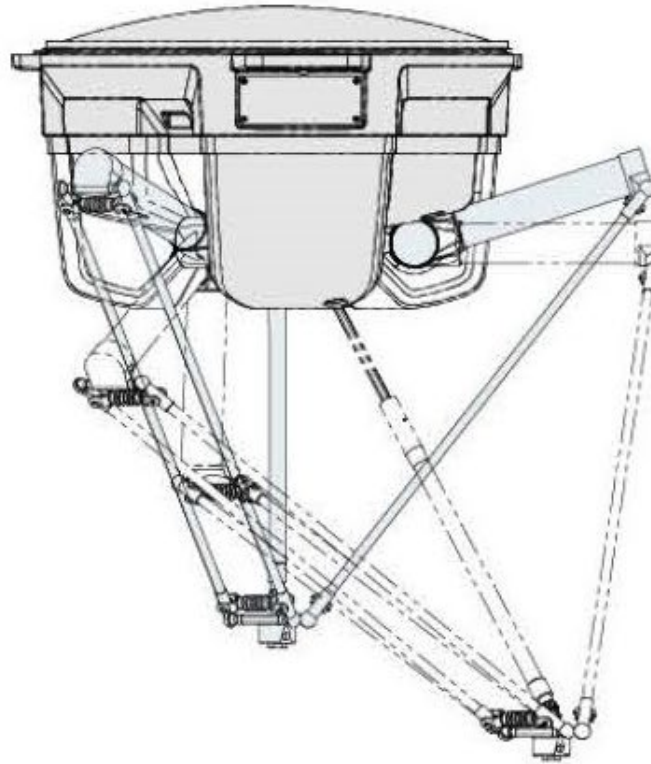
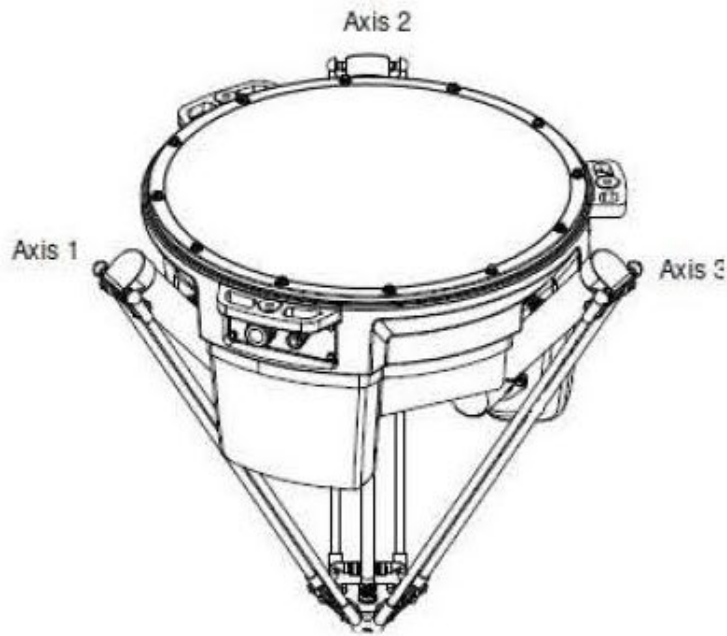
SCARA Robot



- Tutti i giunti con assi verticali
- Molto rigidi ai carichi verticali, cedevoli ai carichi orizzontali

Configurazioni comuni dei robot (3/4)

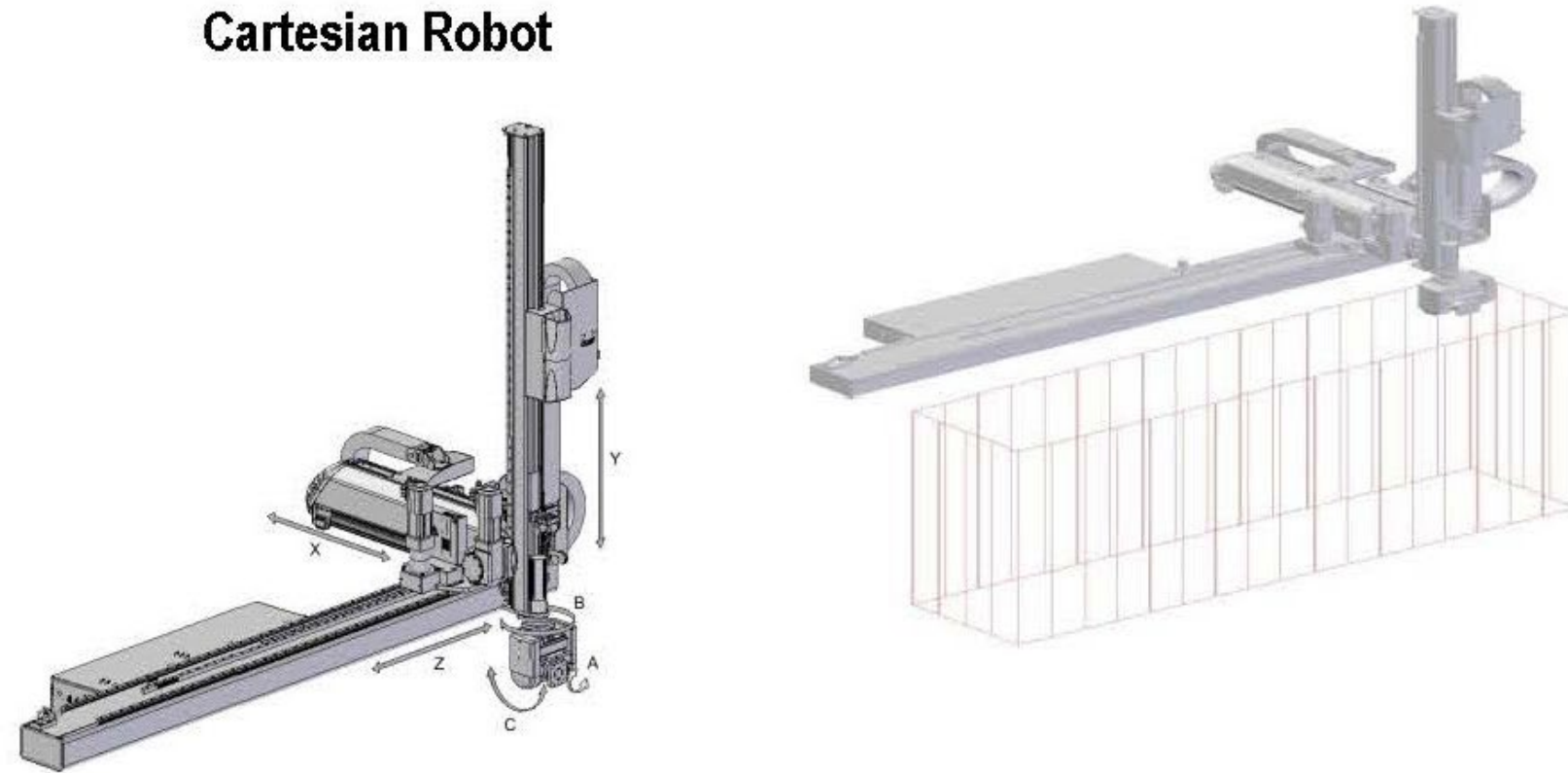
Parallel/Delta Robot



- Struttura a cinematica parallela
- Molto veloce e preciso
- Spazio di lavoro limitato

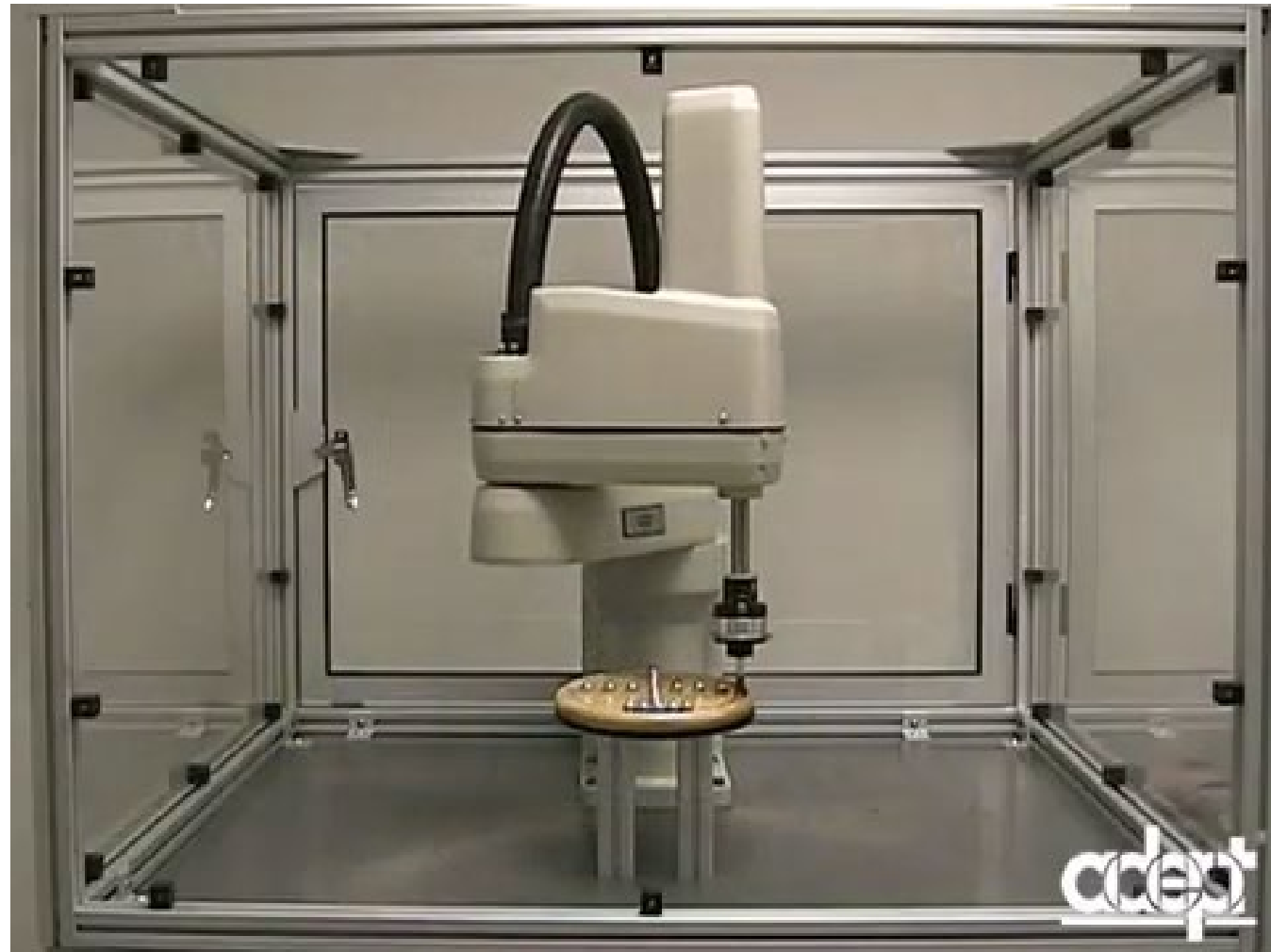
Configurazioni comuni dei robot (4/4)

Cartesian Robot

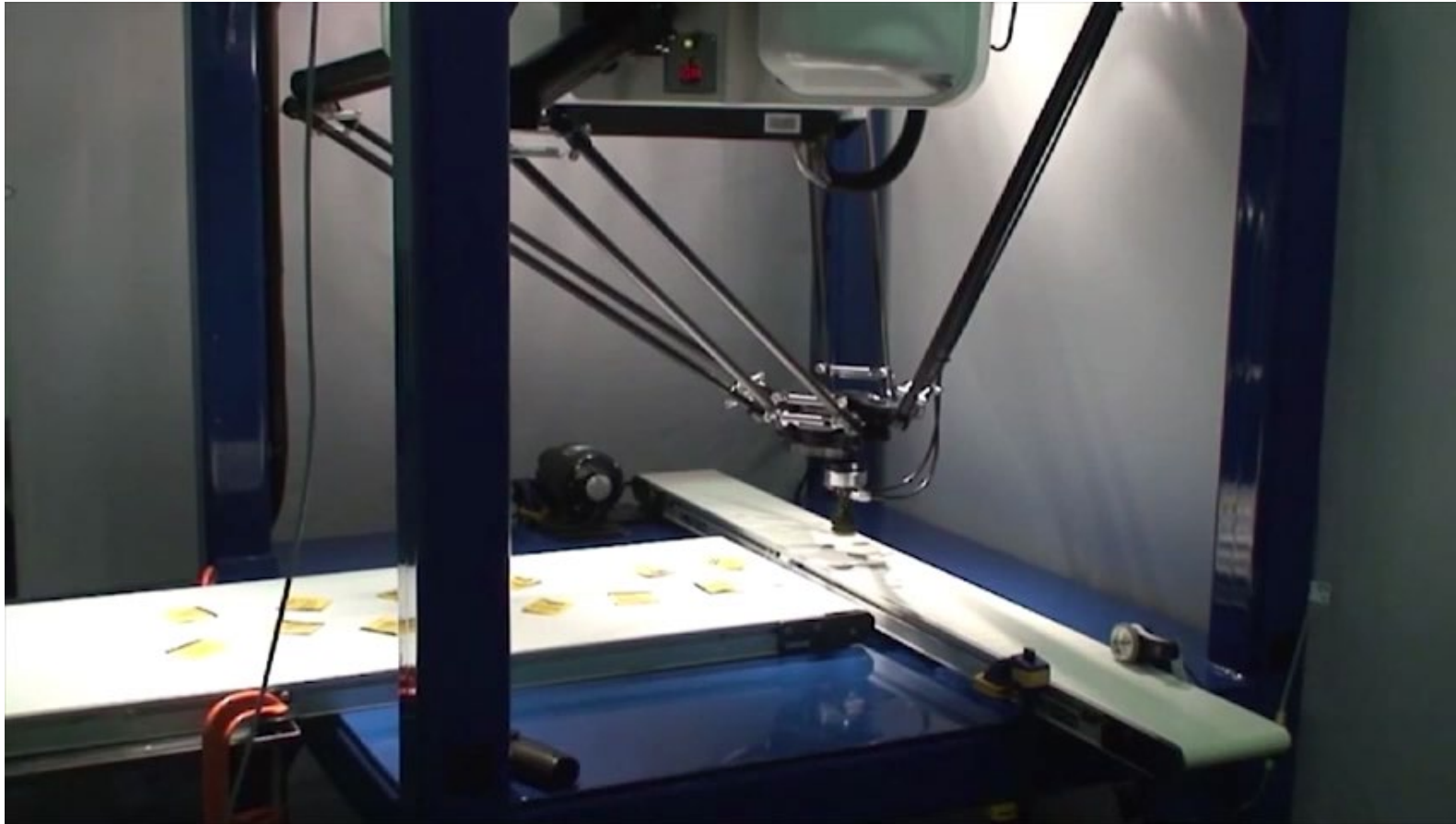


- Tutti i giunti danno un moto lineare
- Molto rigido meccanicamente

Robot SCARA



Macchine a cinematica parallela



<https://www.youtube.com/watch?v=ipuhpzElGs4>

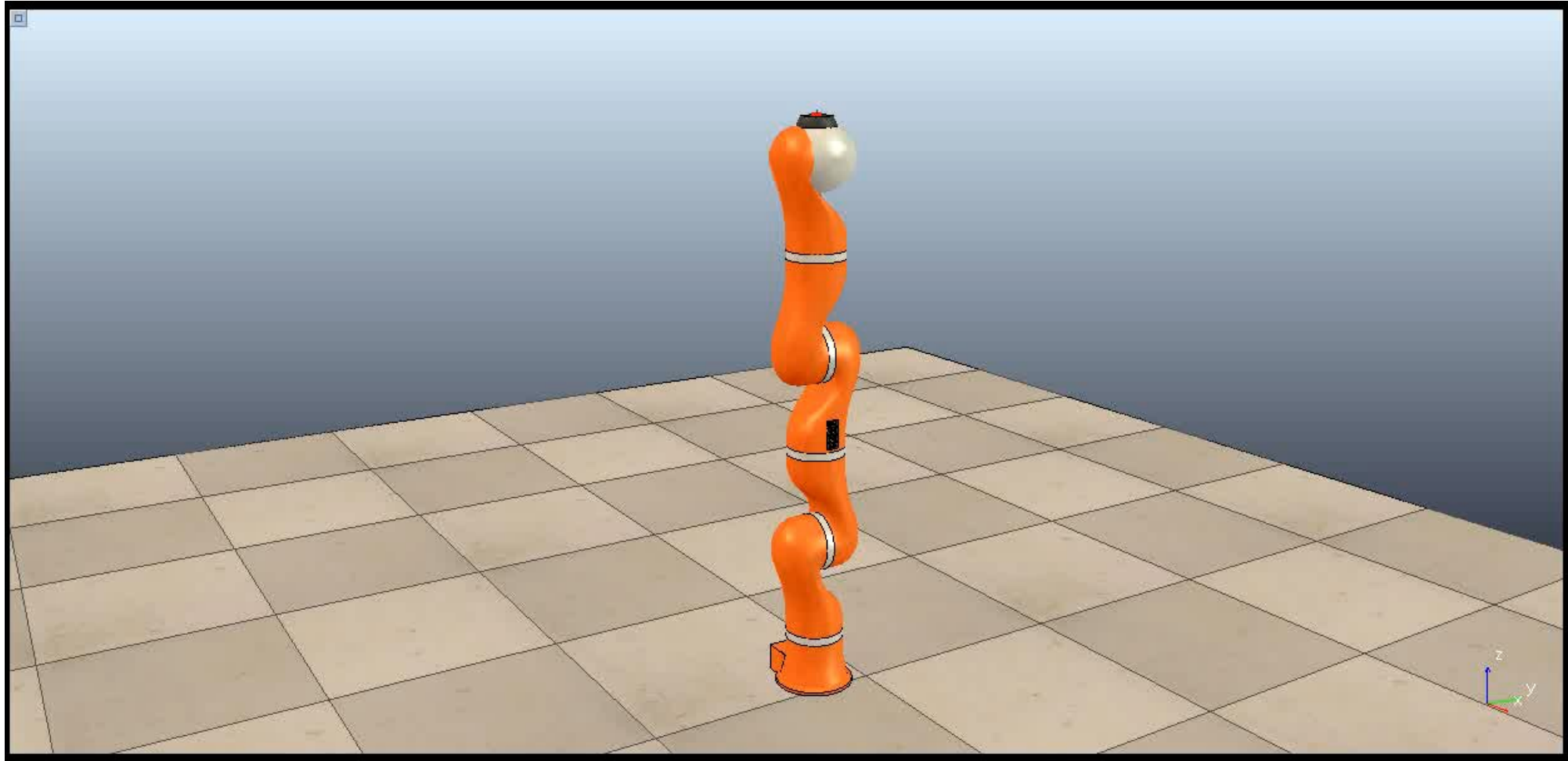
Programmazione avanzata del movimento



Superior Motion Performance
by ABB Robotics

<https://www.youtube.com/watch?v=PSKdHsqtok0>

Studio del movimento supportato da ambienti di simulazione



Trend della robotica

04

Nuovi trend: robot ridondanti (sette giunti)



<https://www.youtube.com/watch?v=sZYBC8Lrmdo>

Nuovi trend: robot a due bracci



EPSON dual-arm



ABB YuMi



KAWASAKI DUARO

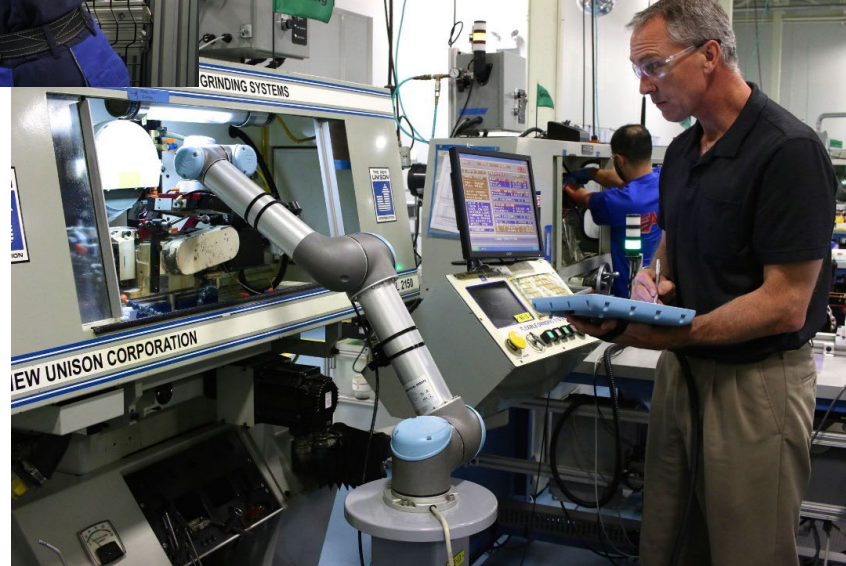


KAWADA HIRO

Nuovi trend: robot a due bracci

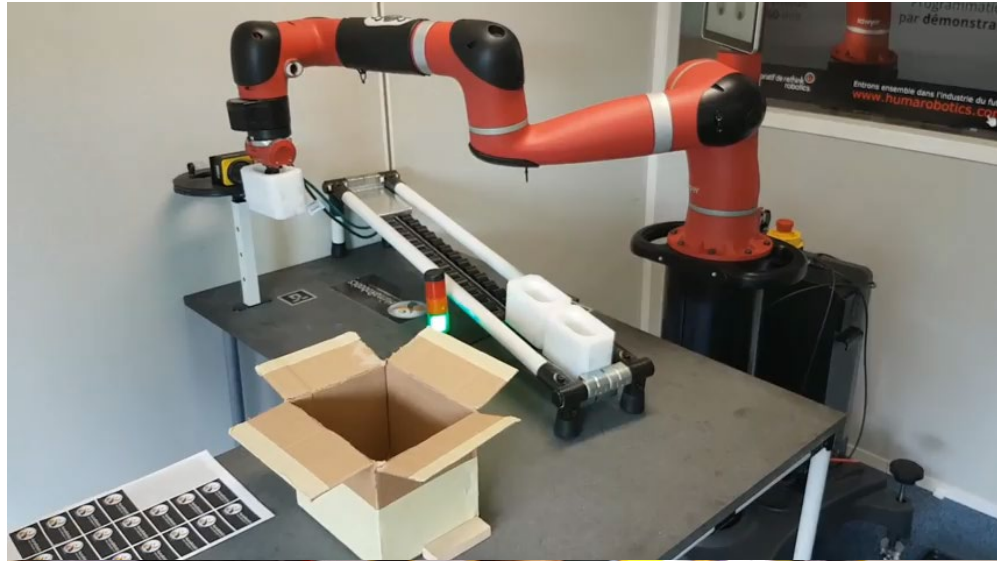


Robotica collaborativa



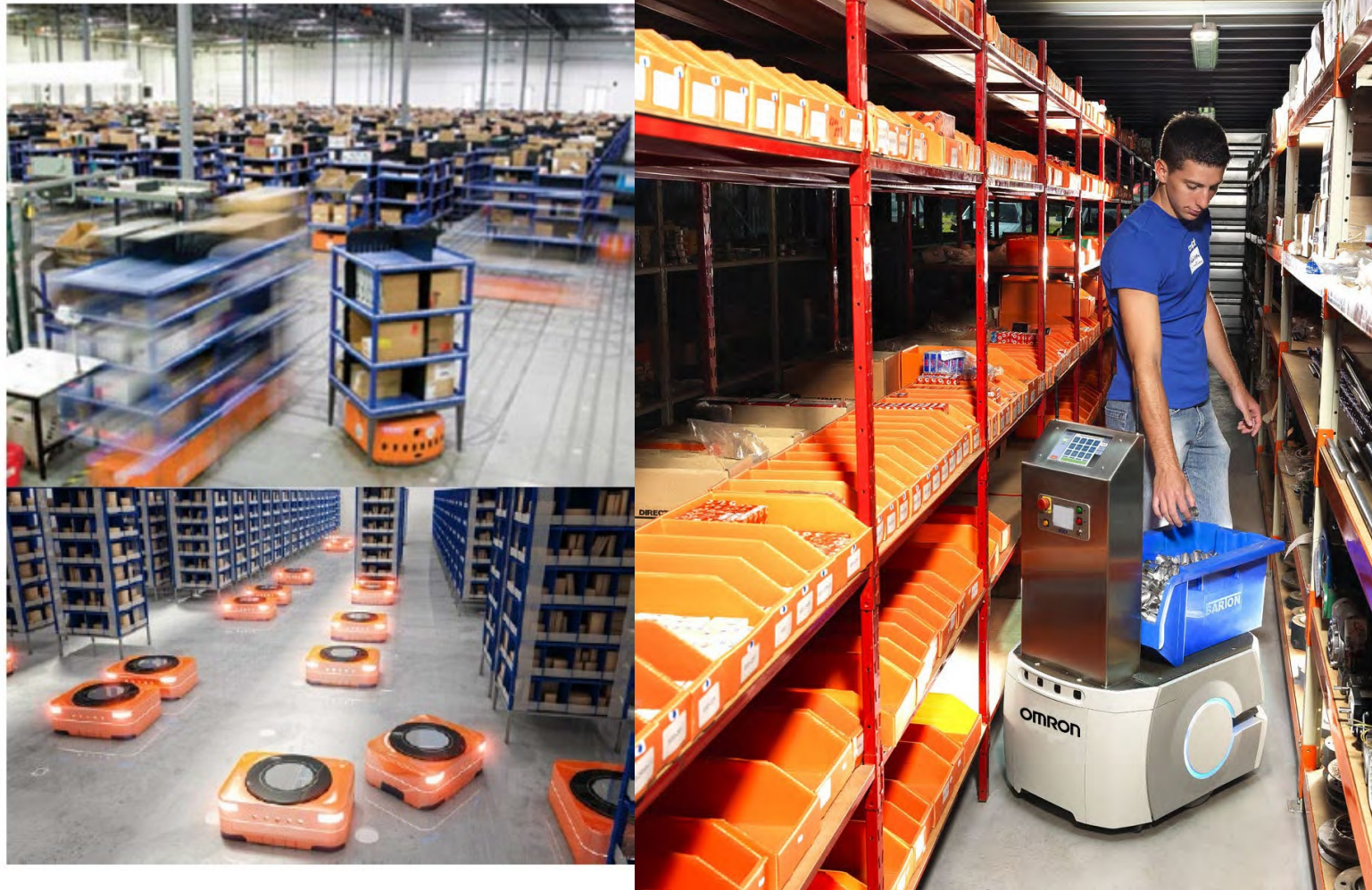
- Un nuovo scenario in cui umani e robot collaborano allo stesso compito.
- Tecnologia in forte crescita, in particolare nelle PMI.

Robotica collaborativa



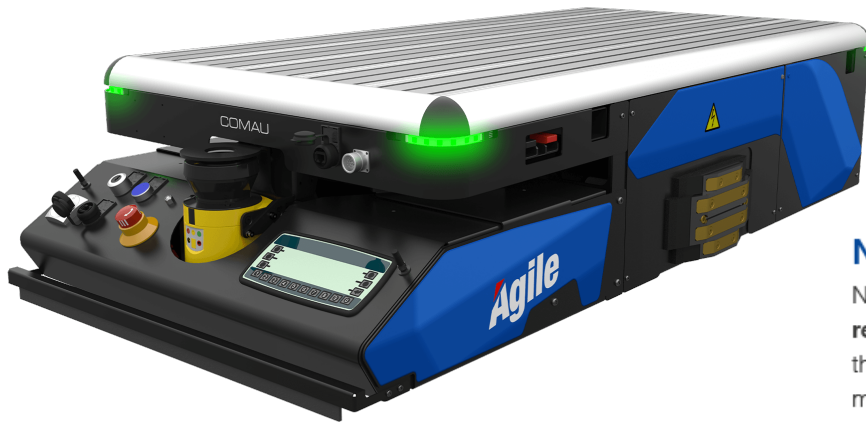
Sensitive Eigenschaften des LBRIiwa verhindern Qualitätsmängel beim Fügeprozess
Sensitive features of LBRIiwa prevent quality defects during the assembly process

Robot mobili in industria



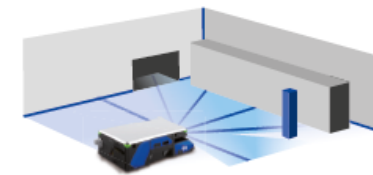
- **AGV** (Automated Guided Vehicles)
- **AMR** (Autonomous Mobile Robots)
- **LGV** (Laser Guided Vehicles)

Robot mobili in industria



Natural navigation

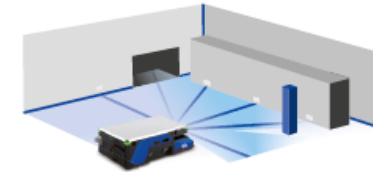
Natural navigation uses measurements from the laser range sensor to **recognize natural landmarks** such as walls and other surfaces. This makes the production facility completely free of any reference installations including mirrors, reflectors, magnetic or colored elements.



Laser Scanner

Reflector navigation

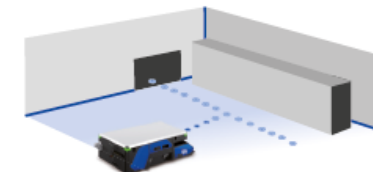
When environment is not static enough for natural navigation or there are few fixed natural landmarks, reflector navigation uses measurement from the laser range sensor to recognize reflective tapes stuck on walls and other surfaces.



Laser Scanner and Reflective Tapes

Magnetic navigation (optional)

Agile1500 can work with magnetic spot navigation by detecting floor magnets, used where natural navigation can not work.

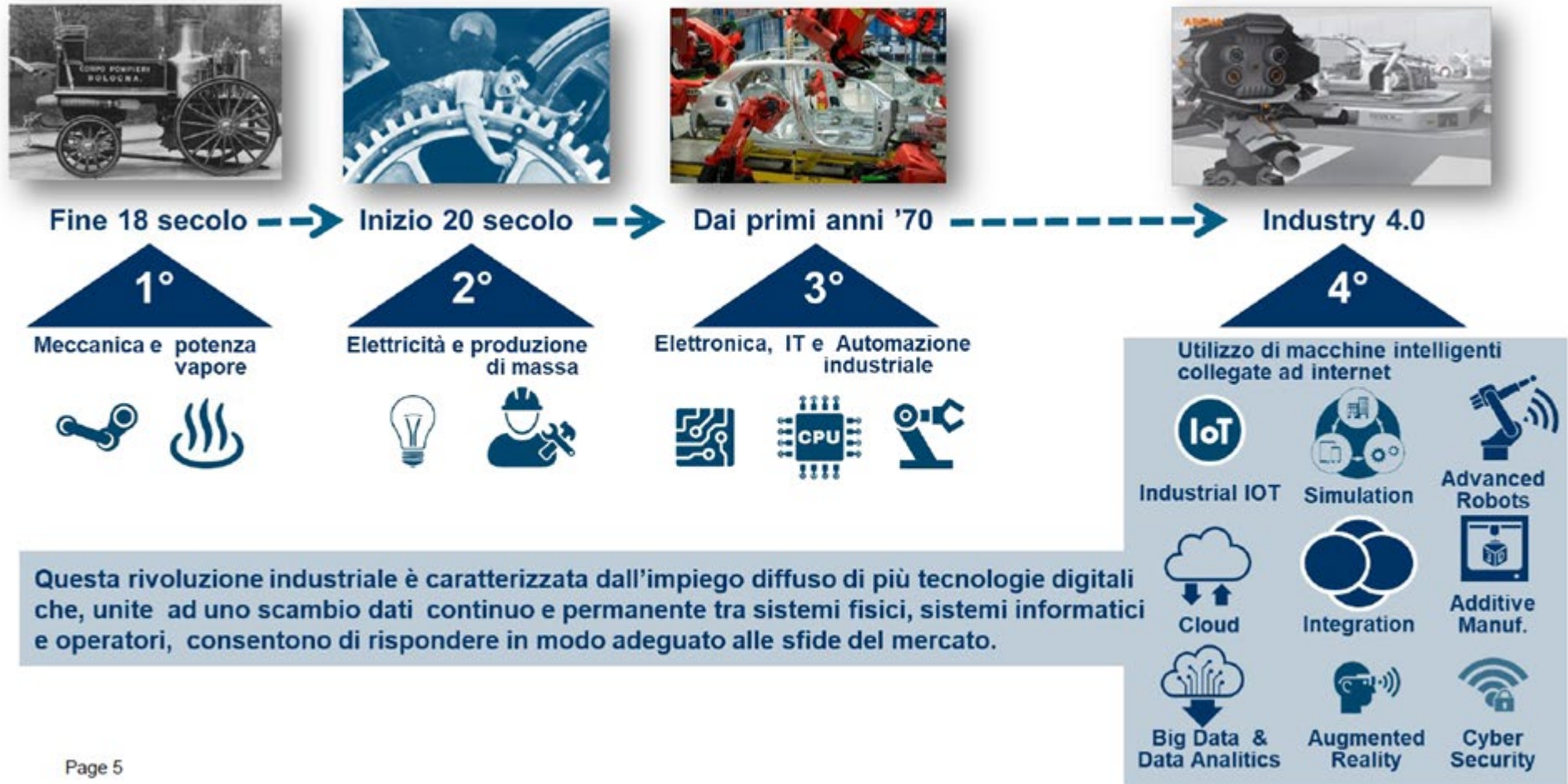


Magnetic Sensor and Spot Magnet

Robot mobili in industria

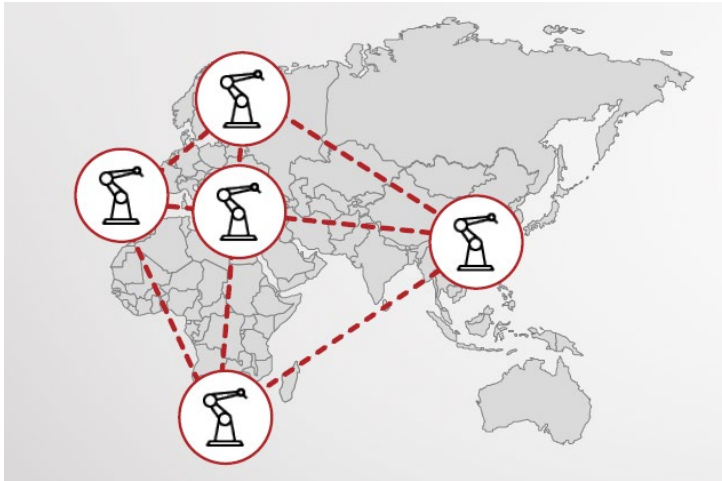


La quarta rivoluzione industriale



I robot nell'era dell'IOT

Produzione auto-ottimizzante



I robot che compiono la stessa attività si connettono in modo che le prestazioni possano essere confrontate e migliorate

Auto-programmazione di robot



I robot scaricano automaticamente ciò di cui hanno bisogno per iniziare da una libreria cloud e quindi iniziano a ottimizzare attraverso l'autoapprendimento

Un gemello digitale del robot

Una rappresentazione digitale del robot viene quindi utilizzata per monitorare il robot: un **gemello digitale del robot**

Piattaforme di analisi basate sul cloud forniscono agli utenti l'accesso ai dati dei robot in qualsiasi momento



Source: KUKA

Robotica di servizio e umanoide

05

Robotica di servizio

Robotica **di servizio**: tutte le applicazioni non industriali della robotica



Bluebotics Esatroll - Paquito 2.0
logistics in factory floor



Yujin GoCart2
elderly and health care



Cyberdyne HAL
exoskeleton for walking



Lely Vector automated feeding



Vorwerk
vacuum cleaner



Thymio educational
mobile robot

Source: Prof. Alessandro De Luca

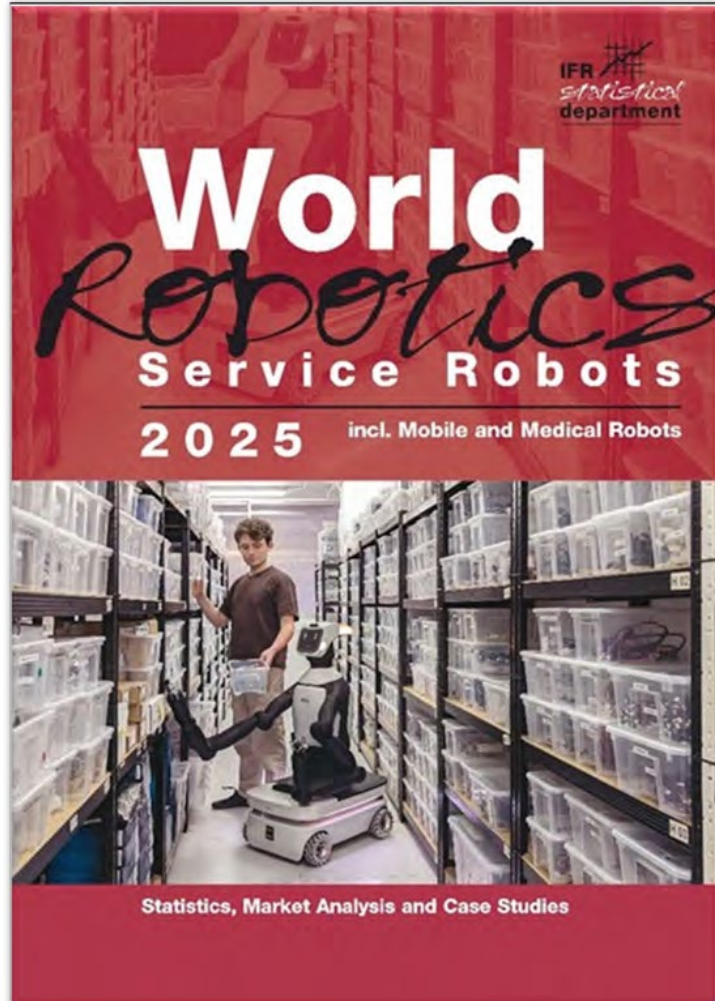
Robotica industriale e di servizio



La linea di demarcazione è sfumata: la stessa unità può essere impiegata per applicazioni industriali e di servizio

Source: IFR

Robot di servizio



Robot di servizio per uso professionale

199,000 unità vendute nel 2024 (+ 9%)

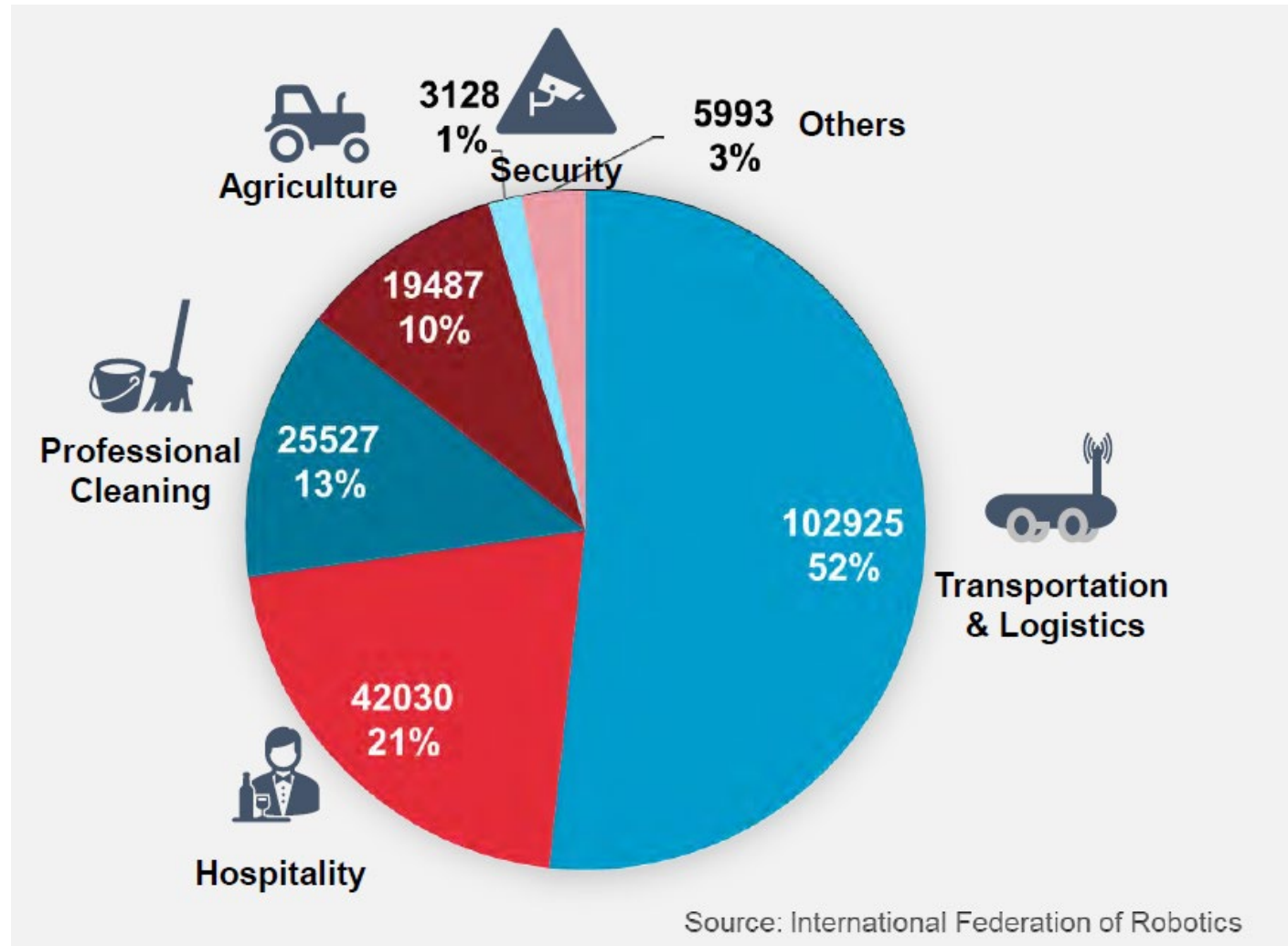
Robot per applicazioni mediche

16,700 unità vendute nel 2024 (+ 91%)

Robot di servizio per uso consumer

20.1 milioni di unità vendute nel 2024 (+ 11%)

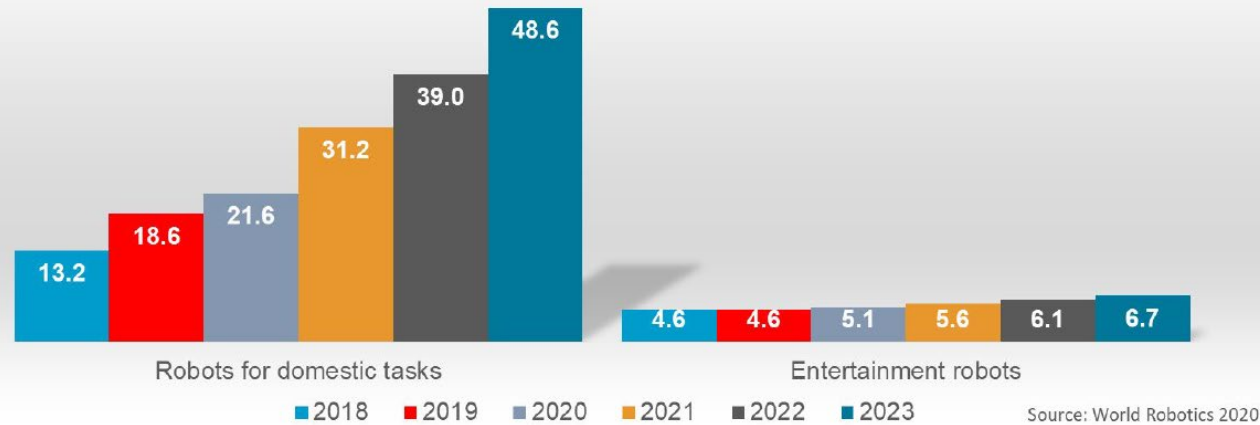
Robot di servizio per uso professionale: applicazioni



Robot di servizio per uso personale e domestico

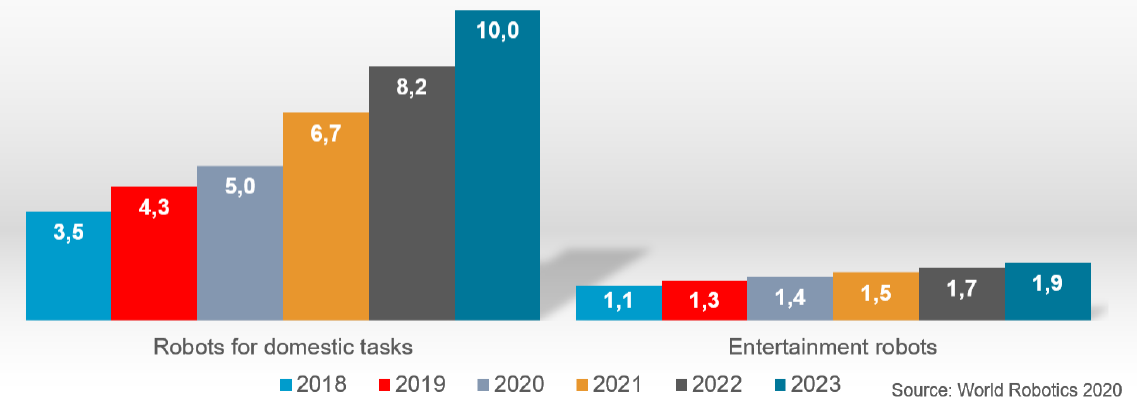
Service robots for personal/domestic use.
Unit sales 2018 and 2019, potential development 2020-2023

millions of units

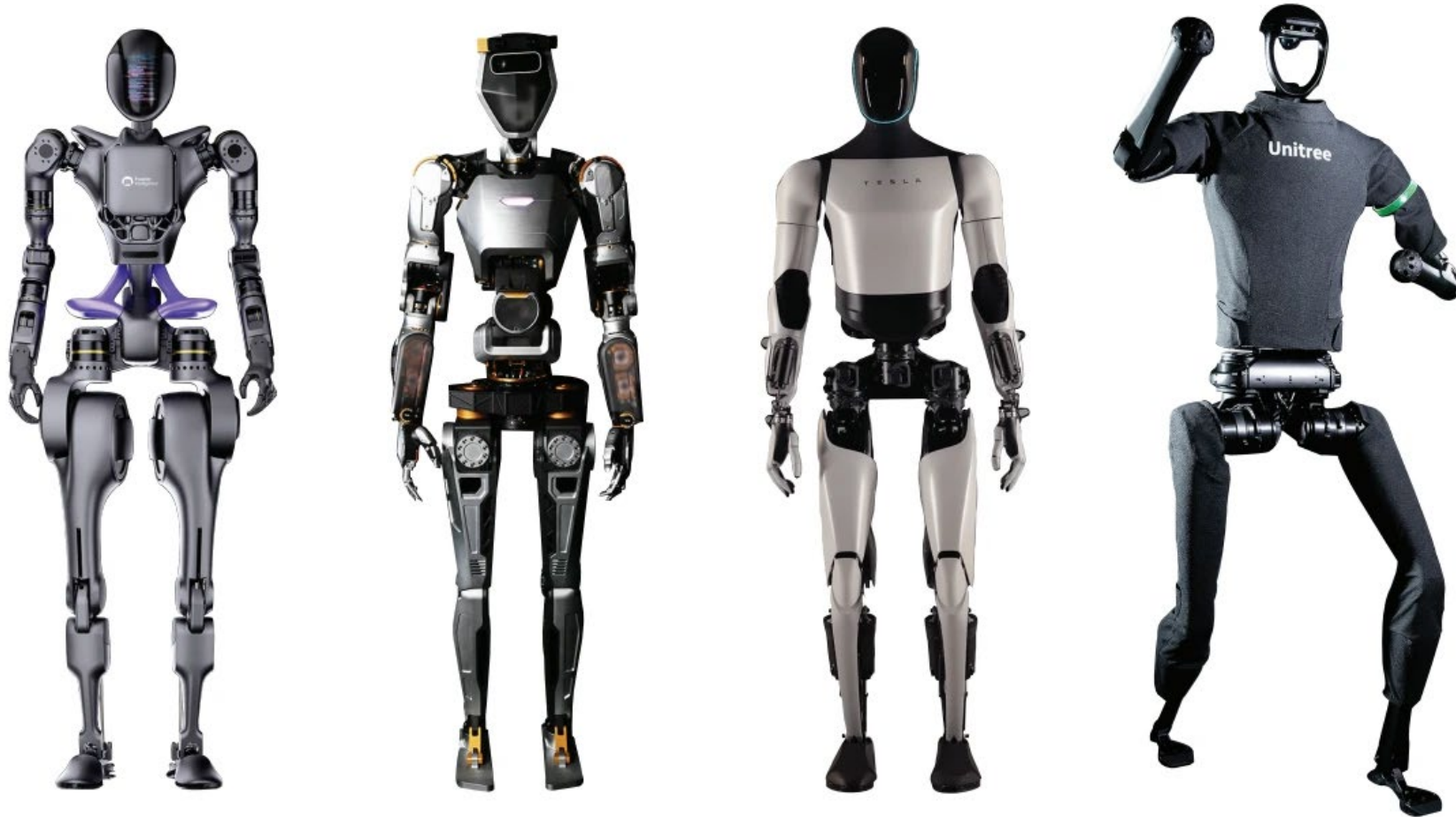


Service robots for personal/domestic use.
Value of sales 2018 and 2019, potential development 2020-2023

billions of USD

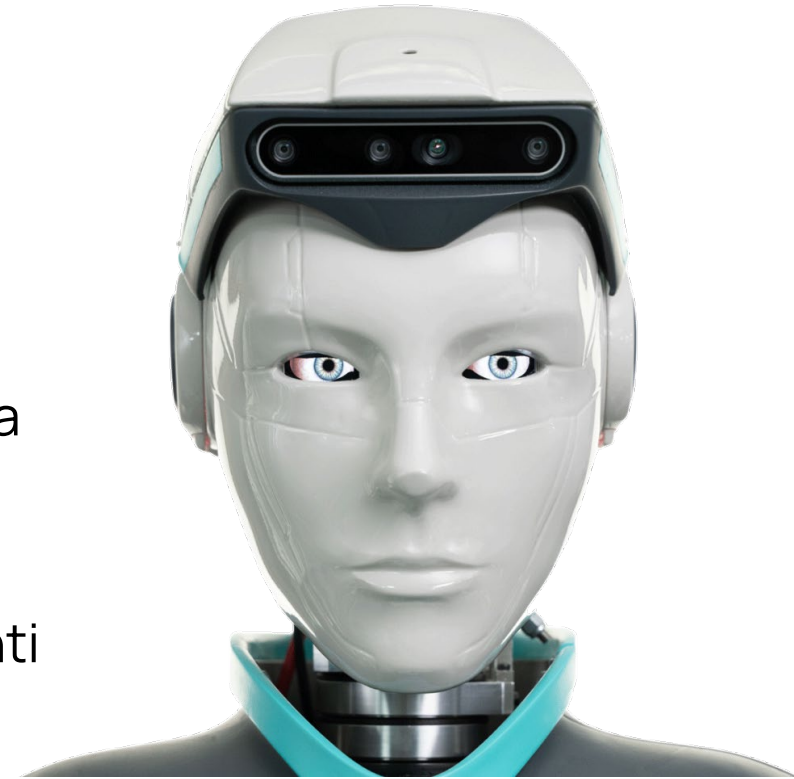


Arrivano gli umanoidi!



Arrivano gli umanoidi!

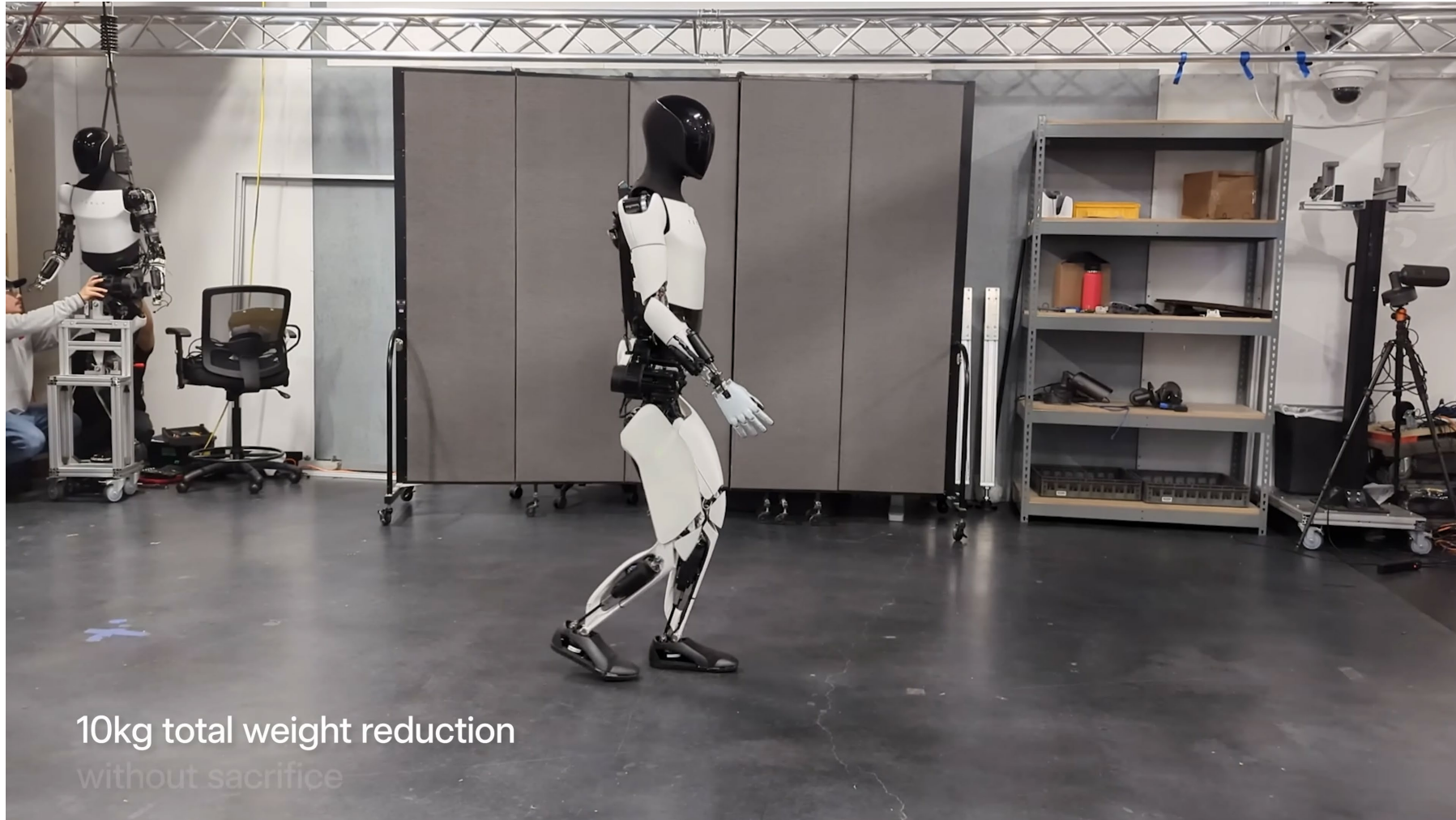
- I robot umanoidi per tanti anni sono stati visti come una **frontiera della ricerca** in robotica, con modesta o nessuna possibilità di uscire dai pochi laboratori di ricerca in grado di progettarli.
- Il **progetto** di questi automi è **molto complesso**, richiede la disponibilità di risorse economiche ingenti per lo sviluppo e una forte interdisciplinarietà.
- Il rinnovato interesse globale per questa tecnologia si spiega con il desiderio di avere in ambienti produttivi, e non solo, agenti autonomi con spiccate capacità di manipolazione, interazione consapevole con l'ambiente e possibilità di muoversi autonomamente.



New Atlas – Boston Dynamics



Tesla - Optimus



10kg total weight reduction
without sacrifice

OpenAI – Figure01



Unitree – G1



The image features a silver humanoid robot, the Unitree G1, in a dynamic pose. The robot has a sleek, metallic design with black joints and a glowing blue light on its head. It is set against a dark blue background with a subtle light gradient.

Unitree G1

Price from **\$16000**

Humanoid agent AI avatar

L'evoluzione della ricerca e dell'applicazione della robotica in Europa



A Unified Vision for European Robotics

Il documento, recentemente pubblicato, di strategia [A Unified Vision for European Robotics](#) di euRobotics attinge a molteplici fonti di informazione all'interno e all'esterno dell'Europa e propone una strategia per la robotica in Europa, espressione di una visione collettiva della comunità europea della robotica.

L'importanza della robotica

CNBC

WATCH LIVE

TECH

Nvidia CEO says robotics is chipmaker's biggest opportunity after AI

PUBLISHED WED, JUN 25 2025 1:43 PM EDT
UPDATED WED, JUN 25 2025 4:31 PM EDT

Kif Leswing

@KIFLESWING

WATCH LIVE

KEY POINTS

- Nvidia CEO Jensen Huang said robotics was one of the two largest growth opportunities for the AI chipmaker.
- In May, Nvidia said its robotics unit had \$567 million in quarterly sales, or about 1% of the company's total revenue.
- "We stopped thinking of ourselves as a chip company long ago," Huang said at Nvidia's annual shareholders meeting.

CNBC

WATCH LIVE

TECH

Musk looks past Tesla sales slump, says 80% of value will come from Optimus

PUBLISHED TUE, SEP 2 2025 10:00 AM EDT
UPDATED TUE, SEP 2 2025 12:48 PM EDT

Ari Levy

@LEVYNEWS

WATCH LIVE

KEY POINTS

- Tesla CEO Elon Musk said on X that about 80% of his automaker's value will come from Optimus humanoid robots.
- Musk said in mid-2024 that Optimus robots could make Tesla a \$25 trillion company, equal to more than half the value of the S&P 500 at the time of his comment.
- Musk said earlier this year that Tesla aims to produce about 5,000 robots this year.

CNBC

WATCH LIVE

AI EFFECT

Google's DeepMind says it will use AI models to power physical robots

PUBLISHED WED, MAR 12 2025 1:50 PM EDT

Hayden Field

@HAYDENFIELD

WATCH LIVE

KEY POINTS

- Google DeepMind on Wednesday debuted two new AI models for robotics, both running on Gemini 2.0, which Google calls its "most capable" AI to date.
- Google said it will partner with Apptроник, a Texas-based robotics developer, to "build the next generation of humanoid robots with Gemini 2.0."
- In demonstration videos, Google showed Apptроник robots, equipped with its new AI models, plugging things into power strips, filling up a lunchbox and moving plastic vegetables.

NUTS AND BOLTS

The start-ups making robots a reality

Here's why I'm excited about the potential of robotics technology.



By Bill Gates published on Tuesday, Jan 23, 2024

Tech Thinking

Is it harder for machines to mimic the way humans move or the way humans think? If you had asked me this question a decade ago, my answer would have been "think." So much of how the brain works is still a mystery. And yet, in just the last year, advancements in artificial intelligence have resulted in computer

NEW YORK POST

BUSINESS

Mark Zuckerberg's Meta to invest in AI-powered humanoid robots to compete with Tesla, others

By Reuters
Published Feb. 14, 2025, 1:55 p.m. ET

5

Meta Platforms is establishing a new division within its Reality Labs unit to develop AI-powered humanoid robots that can assist with physical tasks, according to an internal company memo viewed by Reuters on Friday.

The Facebook parent is entering the competitive field of humanoid robotics, joining rivals such as Nvidia-backed Figure AI and Tesla, as the emergence of advanced AI models drives innovation in robotics and automation.

CNBC

WATCH LIVE

AI EFFECT

Jeff Bezos and OpenAI invest in robot startup Physical Intelligence at \$2.4 billion valuation

PUBLISHED MON, NOV 4 2024 1:50 PM EST
UPDATED TUE, NOV 5 2024 12:13 PM EST

Hayden Field

@HAYDENFIELD

WATCH LIVE

KEY POINTS

- Physical Intelligence, a robot startup based in San Francisco, has raised \$400 million at a \$2.4 billion post-money valuation, the company confirmed Monday to CNBC.
- Investors included Amazon founder Jeff Bezos, OpenAI, Thrive Capital, Lux Capital and Bond Capital.
- Its current roster of employees includes alumni of Tesla, Google DeepMind and X.

ICRA 2029 a Milano!

- La IEEE International Conference on Robotics and Automation (**ICRA**, principale conferenza di robotica e automazione al mondo) **si terrà nel 2029 a Milano**
- Seconda volta in Italia, 22 anni dopo Roma 2007
- Circa 7000 partecipanti quest'anno ad Atlanta (in crescita)
- La conferenza si terrà all'Allianz MiCo a Maggio 2029



- **General Chairs:**
 - Paolo Rocco ed Elena De Momi
- **Publication Co-Chair:**
 - Andrea Maria Zanchettin
- **Local Arrangements and RAS activities Coordination Co-Chair:**
 - Matteo Matteucci



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA
INFORMAZIONE E BIOINGEGNERIA

Contatti

Paolo Rocco
paolo.rocco@polimi.it