



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Industria 4.0 (e oltre)

Automazione

Alessandro De Luca

La 4^a rivoluzione industriale

1° Rivoluzione industriale



Utilizzo di macchine azionate da energia meccanica

Introduzione di potenza vapore per il funzionamento degli stabilimenti produttivi

Fine 18° secolo

2° Rivoluzione industriale



Produzione di massa e catena di montaggio

Introduzione dell'elettricità, dei prodotti chimici e del petrolio

Inizio 20° secolo

3° Rivoluzione industriale



Robot industriali e computer

Utilizzo dell'elettronica e dell'IT per automatizzare ulteriormente la produzione

Primi anni '70

4° Rivoluzione industriale



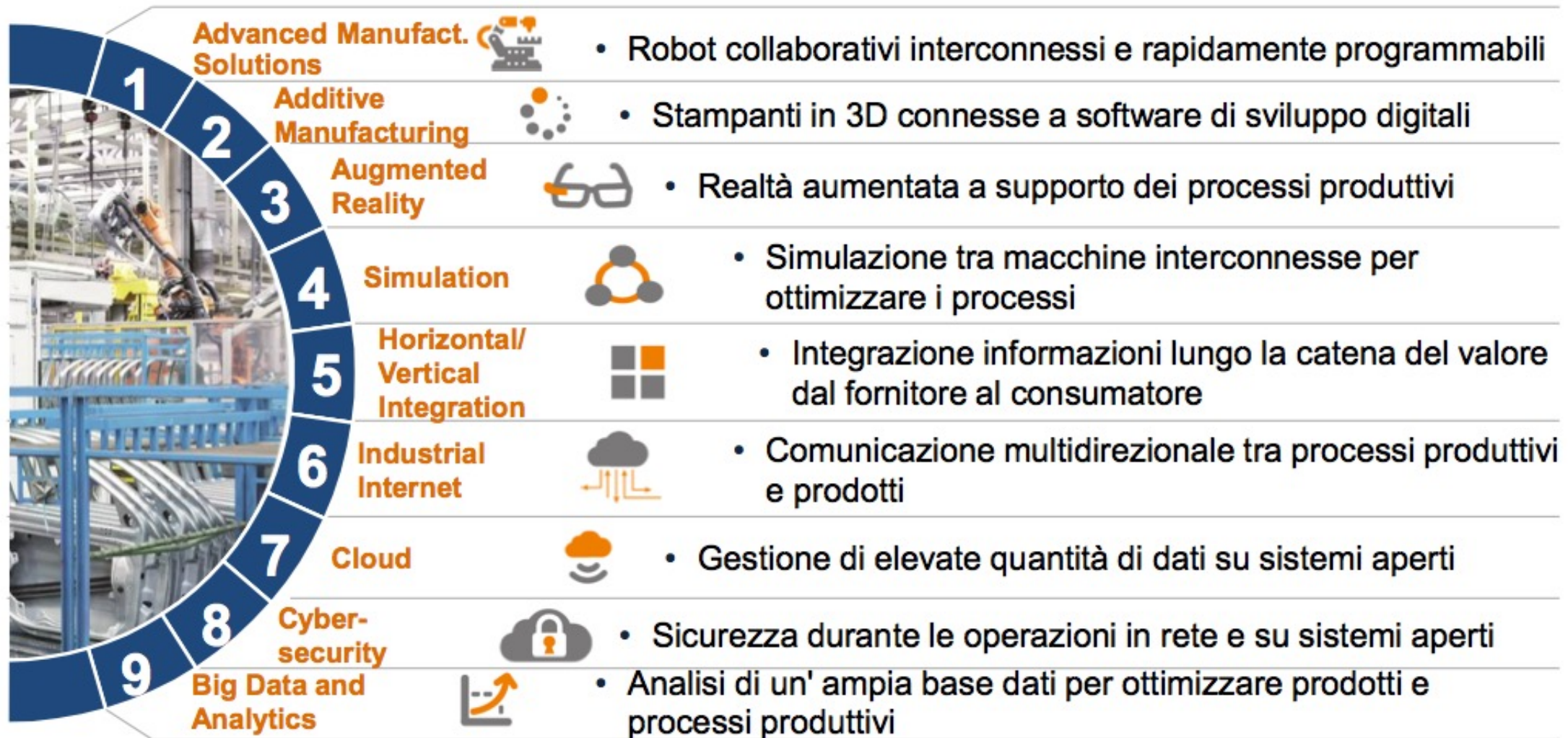
Connessione tra sistemi fisici e digitali , analisi complesse attraverso Big Data e adattamenti real-time

Utilizzo di macchine intelligenti, interconnesse e collegate ad internet

Oggi - prossimo futuro

- ❑ la completa digitalizzazione delle attività di business, l'automazione crescente dei processi produttivi sempre più interconnessi, l'introduzione del concetto di *Internet of Things* (“delle Cose”) nelle fabbriche sono alla base della **4a rivoluzione industriale**
- ❑ **Industry 4.0**
 - “the comprehensive transformation of the whole sphere of industrial production through the merging of digital technology and the internet with conventional industry” (Angela Merkel - *Organization for Economic Cooperation and Development*, 19 Febbraio 2014)
- ❑ questa rivoluzione non è solo causata dall'innovazione tecnologica ma coinvolge anche cambiamenti sociali
- ❑ il processo di trasformazione porta le aziende a richiedere profili professionali con **skills trasversali** e conoscenza delle **tecnologie emergenti** e di **gestione dell'innovazione**

Le tecnologie abilitanti in Industria 4.0



Industria 4.0: i benefici



Flessibilità

Maggiore flessibilità attraverso la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala



Velocità

Maggiore velocità dal prototipo alla produzione in serie attraverso tecnologie innovative



Produttività

Maggiore produttività attraverso minori tempi di set-up, riduzione errori e fermi macchina



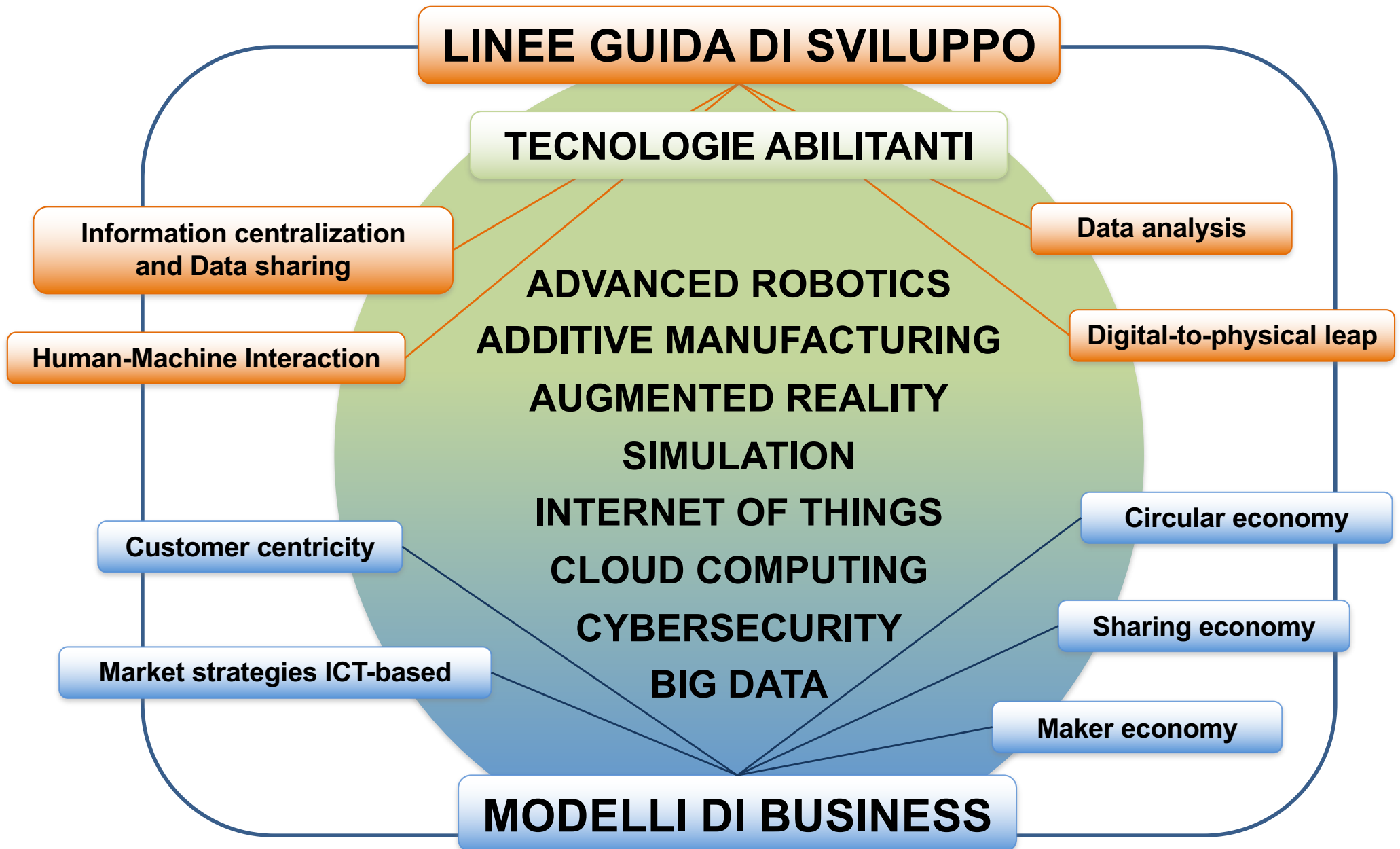
Qualità

Migliore qualità e minori scarti mediante sensori che monitorano la produzione in tempo reale



Competitività Prodotto

Maggiore competitività del prodotto grazie a maggiori funzionalità derivanti dall'Internet delle cose



Fonte: Luigi Nicolais @Automatica.IT 2017, Milano, 11 Settembre 2017

Tecnologie abilitanti: robotica avanzata

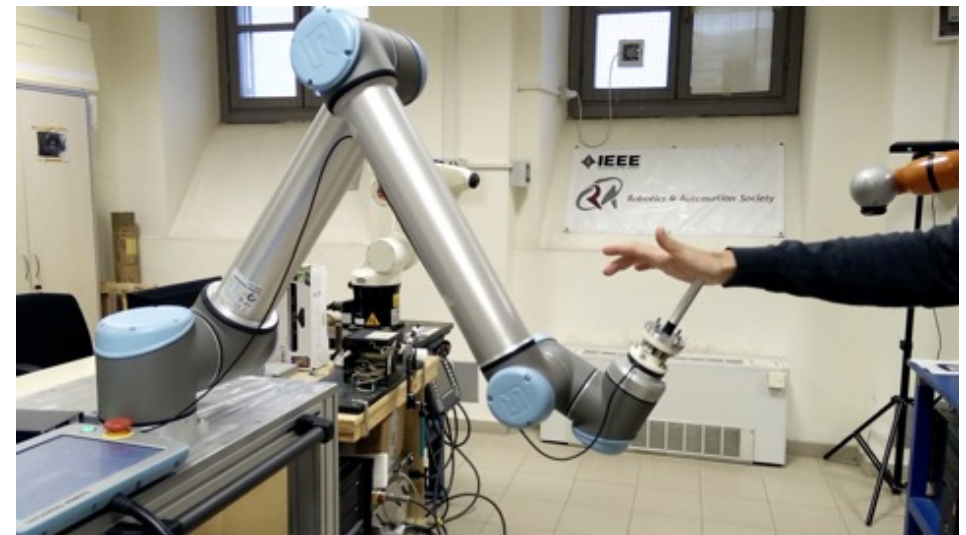
robot collaborativi

- nella robotica industriale, l'obiettivo dei nuovi **robot collaborativi** o “**cobots**” è la collaborazione fisica e cognitiva tra uomo e robot (invece di una sostituzione)
 - ➔ robot manipolatori con struttura più leggera e dotati di cedevolezza
 - ➔ spazio di lavoro condiviso in totale sicurezza con utenti, senza le tradizionali barriere
 - ➔ sensori laser e sistemi di visione in grado di monitorare l'ambiente, rilevando la prossimità di persone e oggetti (in movimento)
- la sinergia tra tecnologie di **controllo** e **apprendimento automatico** permette di
 - ➔ migliorare la qualità, ridurre i margini di errore, semplificare le verifiche
 - ➔ mantenere elevati livelli di sicurezza
 - ➔ ottimizzare i processi produttivi

video



robot AURA della Comau

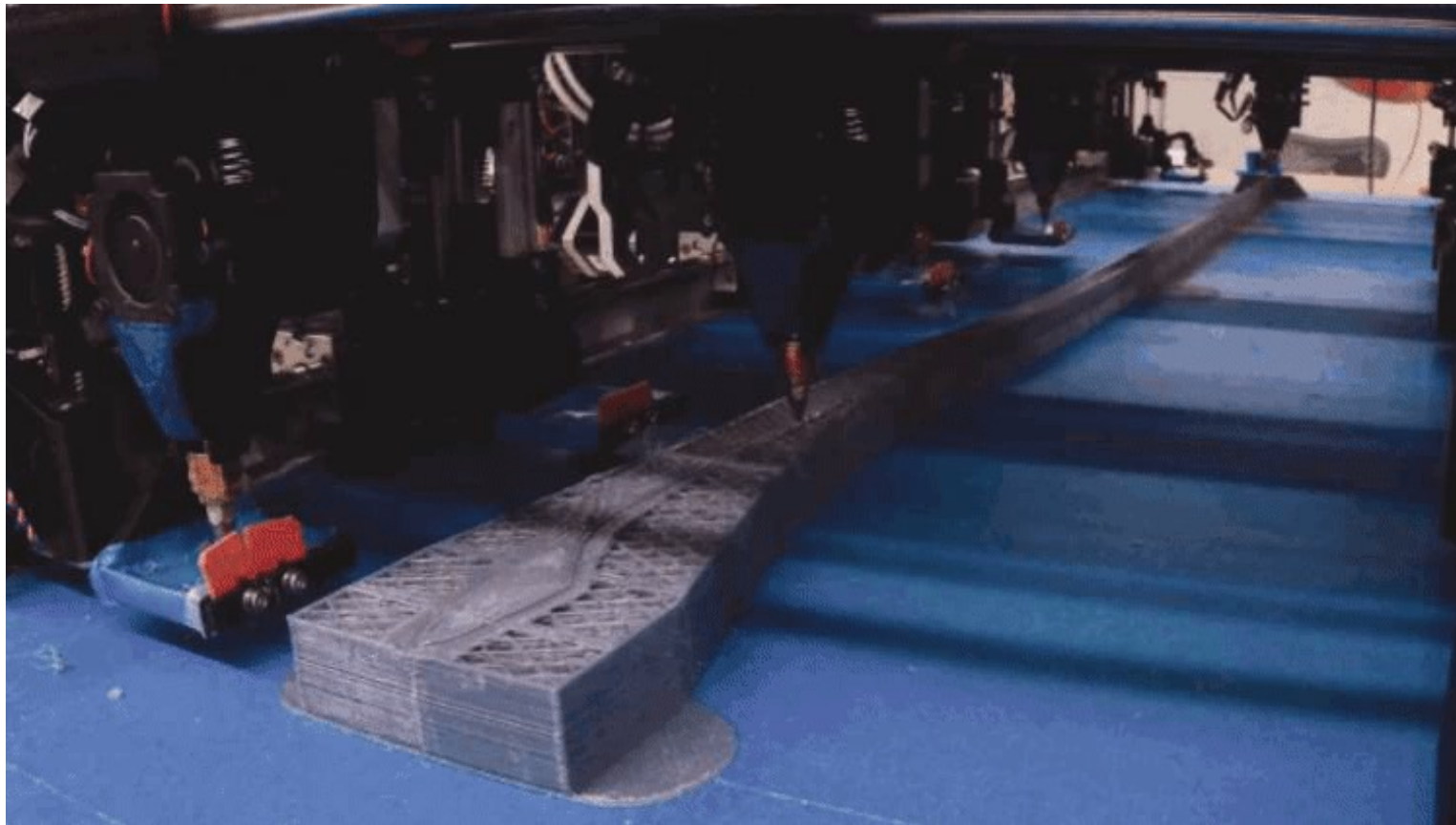


collaborazione con il robot UR10 @DIAG

Tecnologie abilitanti: stampa 3D

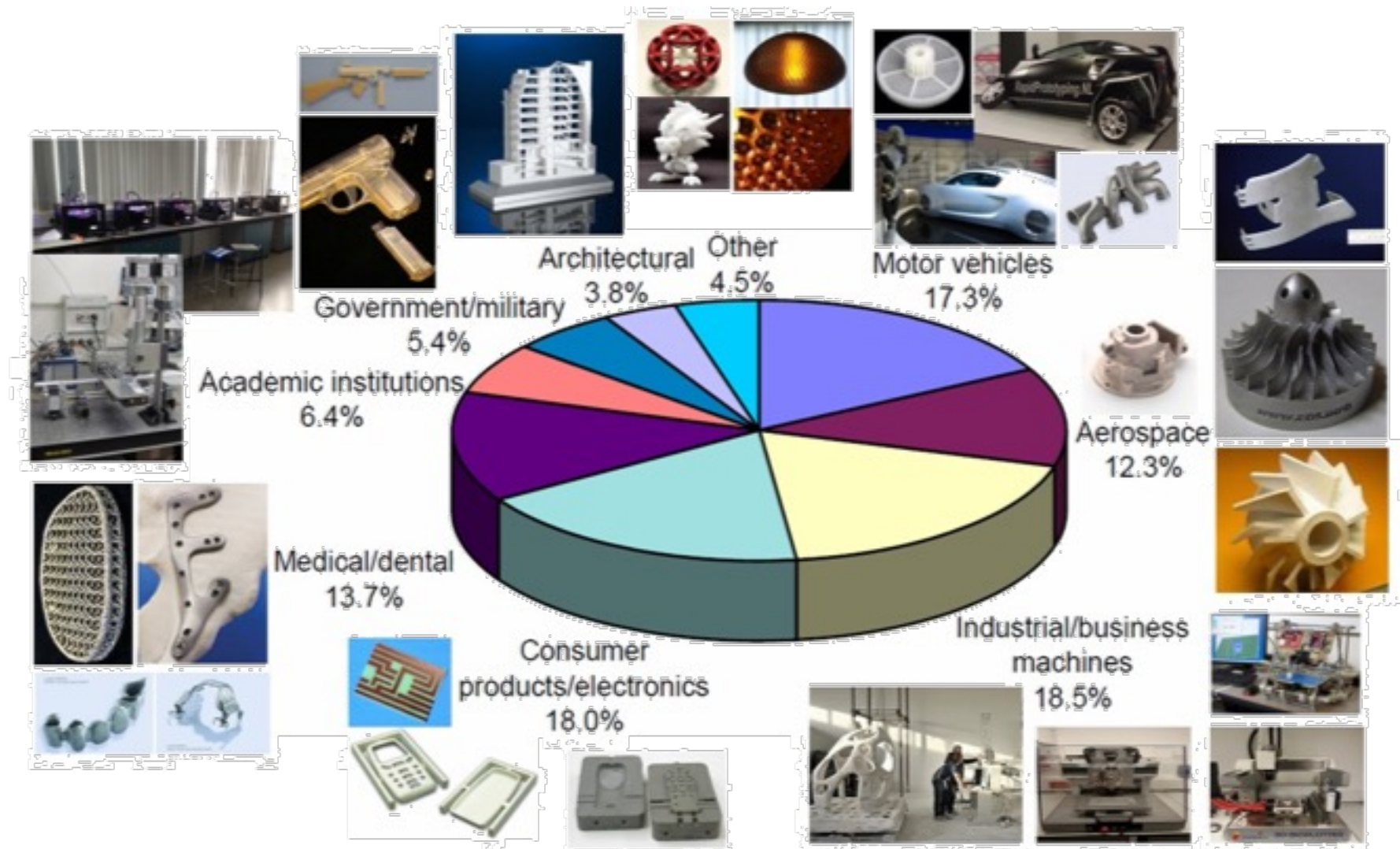
produzione con tecniche additive

- ❑ processo di produzione di oggetti/articoli tridimensionali di vari forma, **a partire da un modello digitale (CAD)**
 - ➔ permette una ottimizzazione dei costi e la riduzione dei residui di lavorazione
 - ➔ modifica la catena logistica e di distribuzione



Autodesk Project Escher - stampa 3D di una parte di turbina

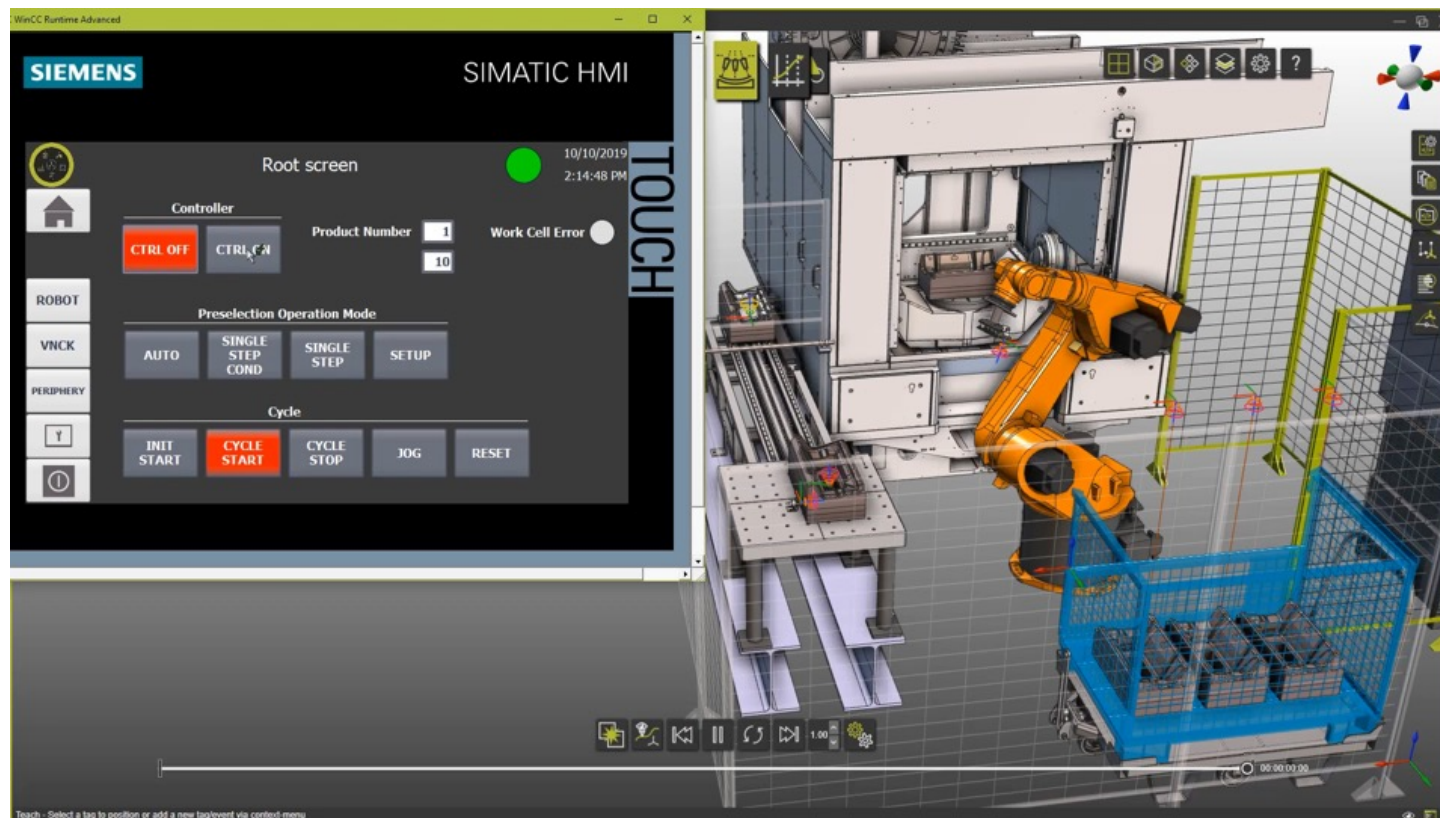
Tecnologie abilitanti: diffusione stampa 3D



Tecnologie abilitanti: digital twins

simulazione dinamica in realtà virtuale

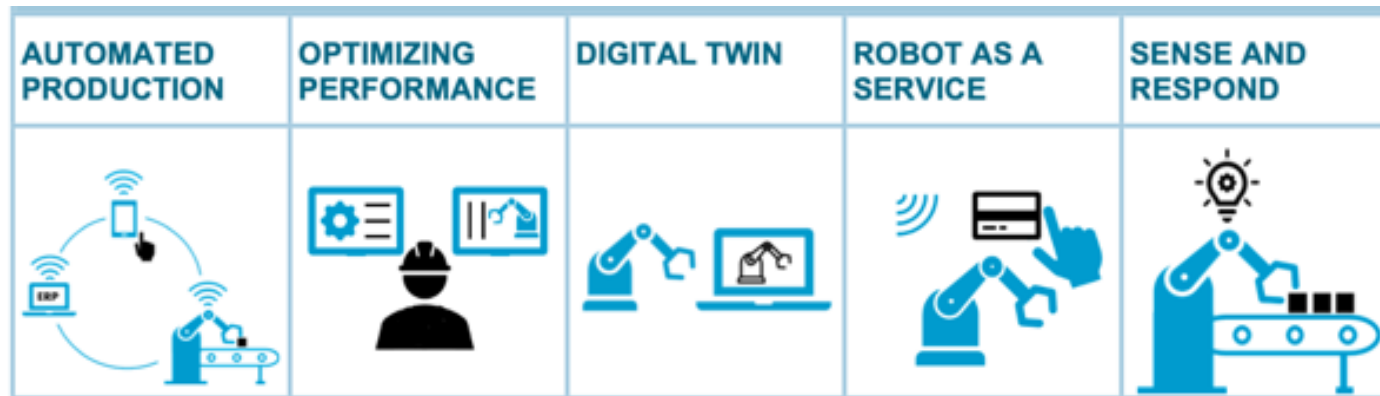
- permette di programmare, prevedere e verificare la qualità di scelte alternative per la realizzazione di un processo (**in fase di progetto** di una linea di produzione)
- **in fase di esecuzione**, permette una supervisione in parallelo del processo produttivo per possibili decisioni in tempo reale su dati e situazioni anomale



https://youtu.be/fg1oTMAFowU?si=Eo80jWXLH_EqGv3R

robotica collaborativa e machine learning

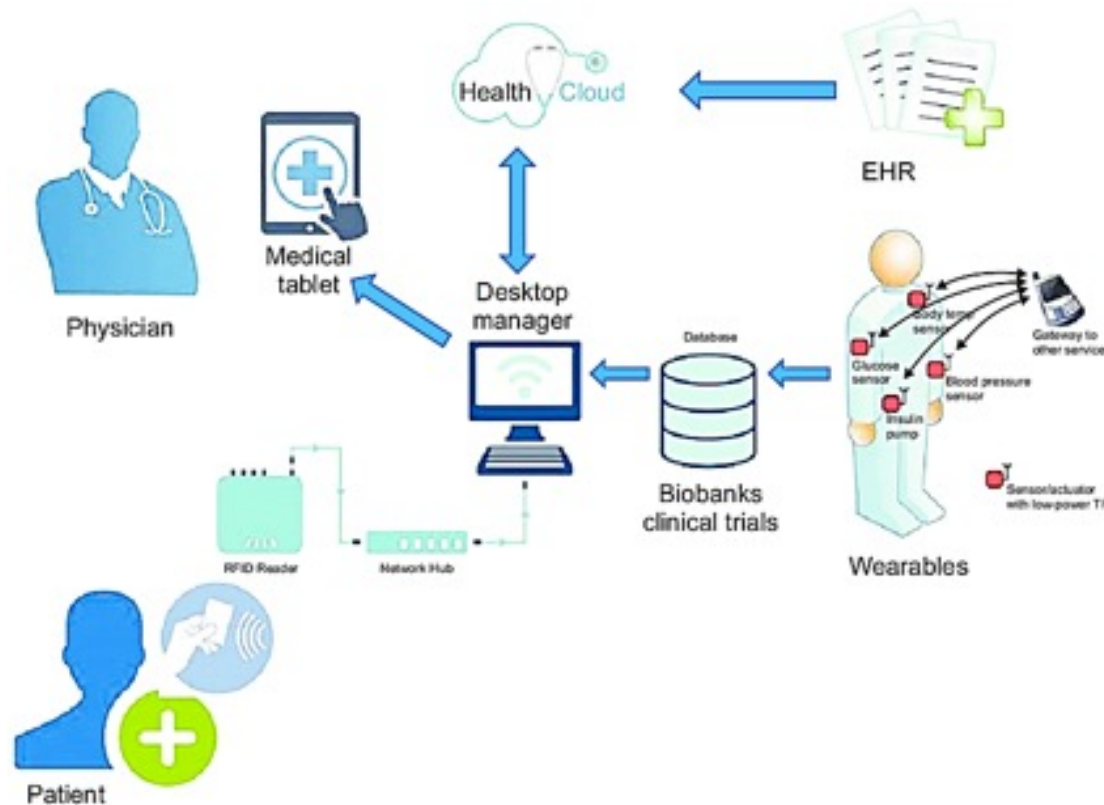
- ❑ ottimizzazione della qualità del prodotto
 - ➔ analisi dei dati raccolti durante la produzione
- ❑ manutenzione predittiva
 - ➔ riduzione tempi di fermo, ottimizzazione delle risorse, miglioramento sicurezza
- ❑ automazione dei processi di assemblaggio
 - ➔ finora proibitiva o troppo costosa, con interazione sicura e naturale con gli operatori
- ❑ ottimizzazione della logistica



Tecnologie abilitanti: Internet of Things

internet delle cose

- ❑ dispositivi capaci di rilevare e processare **dati del mondo fisico** (temperatura, illuminazione, umidità, ...)
- ❑ svolgono la loro funzione (aggiungendo valore al processo) quando **condividono** tali informazioni **con altri dispositivi o macchine connesse in rete**
 - ➔ esempio: Internet of Things medicale e Big Data nel sistema sanitario



Fonte: Dimiter V Dimitrov, *Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare*, Healthcare Informatics Research, 2016

centralizzazione dell'informazione e condivisione dei dati

- ❑ vantaggi dalla combinazione di un **sistema centralizzato di gestione** dell'informazione con **sistemi distribuiti**
 - ➔ de-localizzati dal punto di vista operativo
- ❑ possibilità di **controllare** e **monitorare** in modo efficiente dati e risorse **da e in qualsiasi parte dell'azienda**, mantenendo integrità e consistenza



esempio nell'industria aeronautica: BOEING 787



THE COMPANIES

U.S.

Boeing
Spirit
Vought
GE
Goodrich

CANADA

Boeing
Messier-Dowty

AUSTRALIA

Boeing

JAPAN

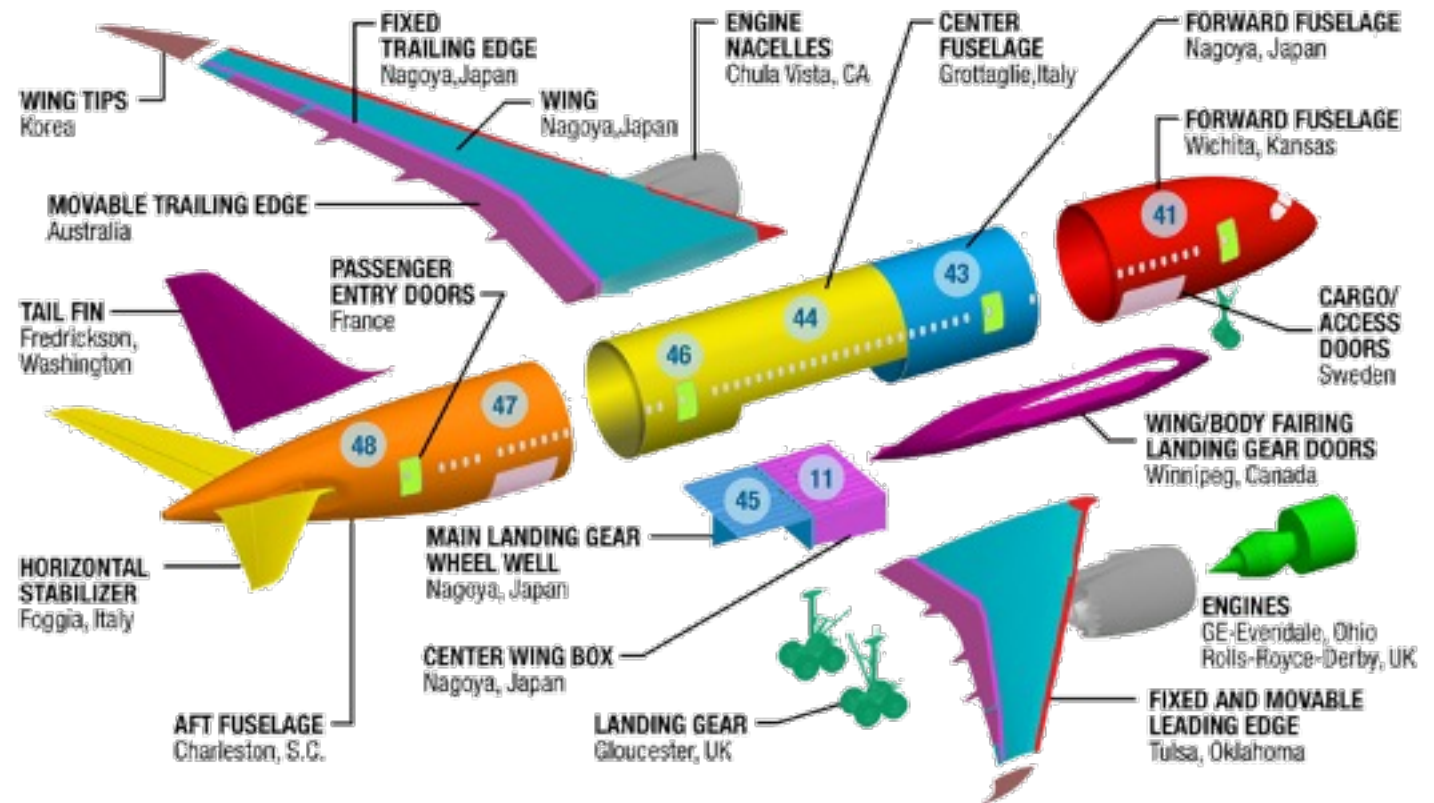
Kawasaki
Mitsubishi
Fuji

KOREA

KAL-ASD

EUROPE

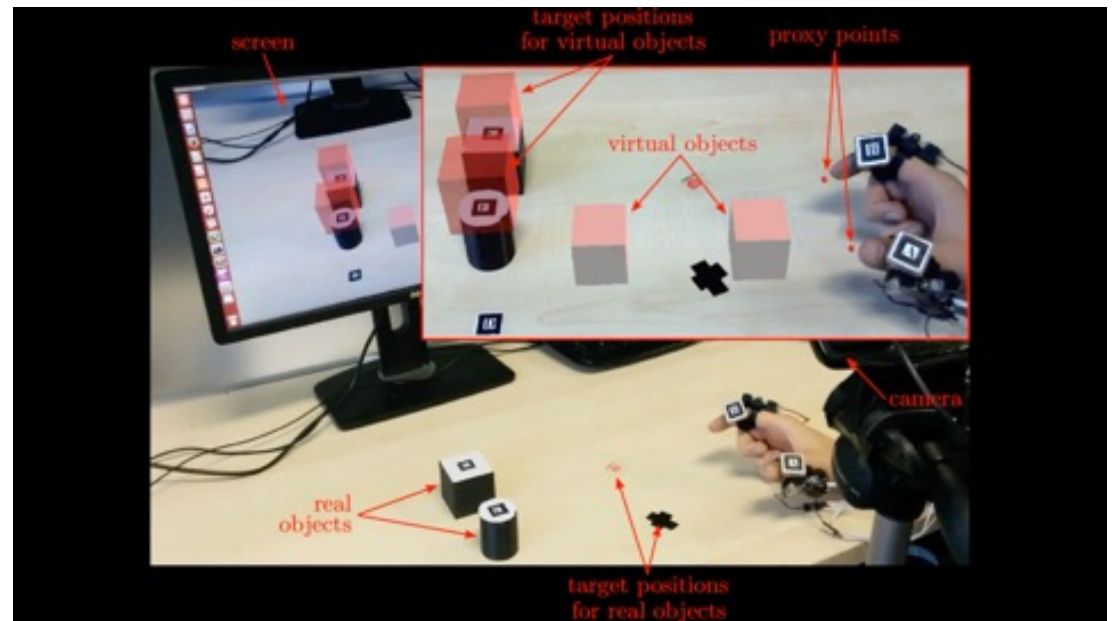
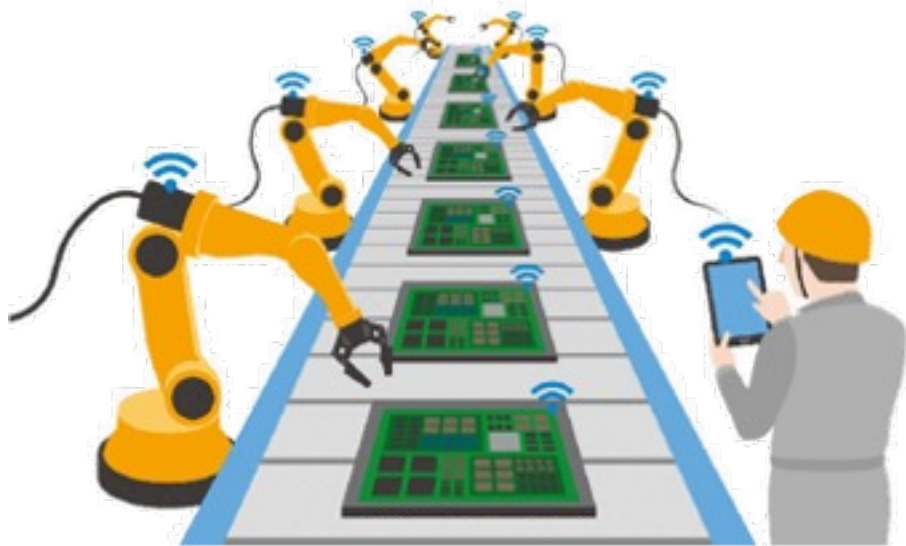
Messier-Dowty
Rolls-Royce
Lecocq
Alenia
Saab



interazione uomo-macchina (HMI)

- ❑ uso in larga scala di macchine e robot motivato dall'**aumento della produttività** e/o dalla **riduzione dei costi**
- ❑ i progressi tecnologici introducono **macchine con più autonomia e indipendenti** dall'intervento di basso livello di operatori umani
- ❑ aumenta la **richiesta di personale qualificato** in grado di supervisionare e interagire con dispositivi e interfacce video/aptiche avanzate
 - ➔ anche con strumenti di **realtà aumentata** (o con esoscheletri indossabili per aumentare la potenza o la resistenza)

video



IEEE Transactions on Haptics, 2017

HMI con realtà aumentata nel progetto di ricerca **EU H2020 SYMPLEXITY**

- robotizzazione di un processo di **levigatura di superfici metalliche** in presenza e **in collaborazione** con operatori umani per la **verifica di qualità**



[video](#)

due aspetti fondamentali di Industria 4.0

- ❑ miglioramento della qualità delle aziende attraverso l'uso diffuso di nuove tecnologie
- ❑ avvento di nuovi schemi di competizione sul mercato basati su modelli di business dirompenti, finora non realizzabili per la mancanza di appropriati strumenti tecnologici abilitanti

modelli di business

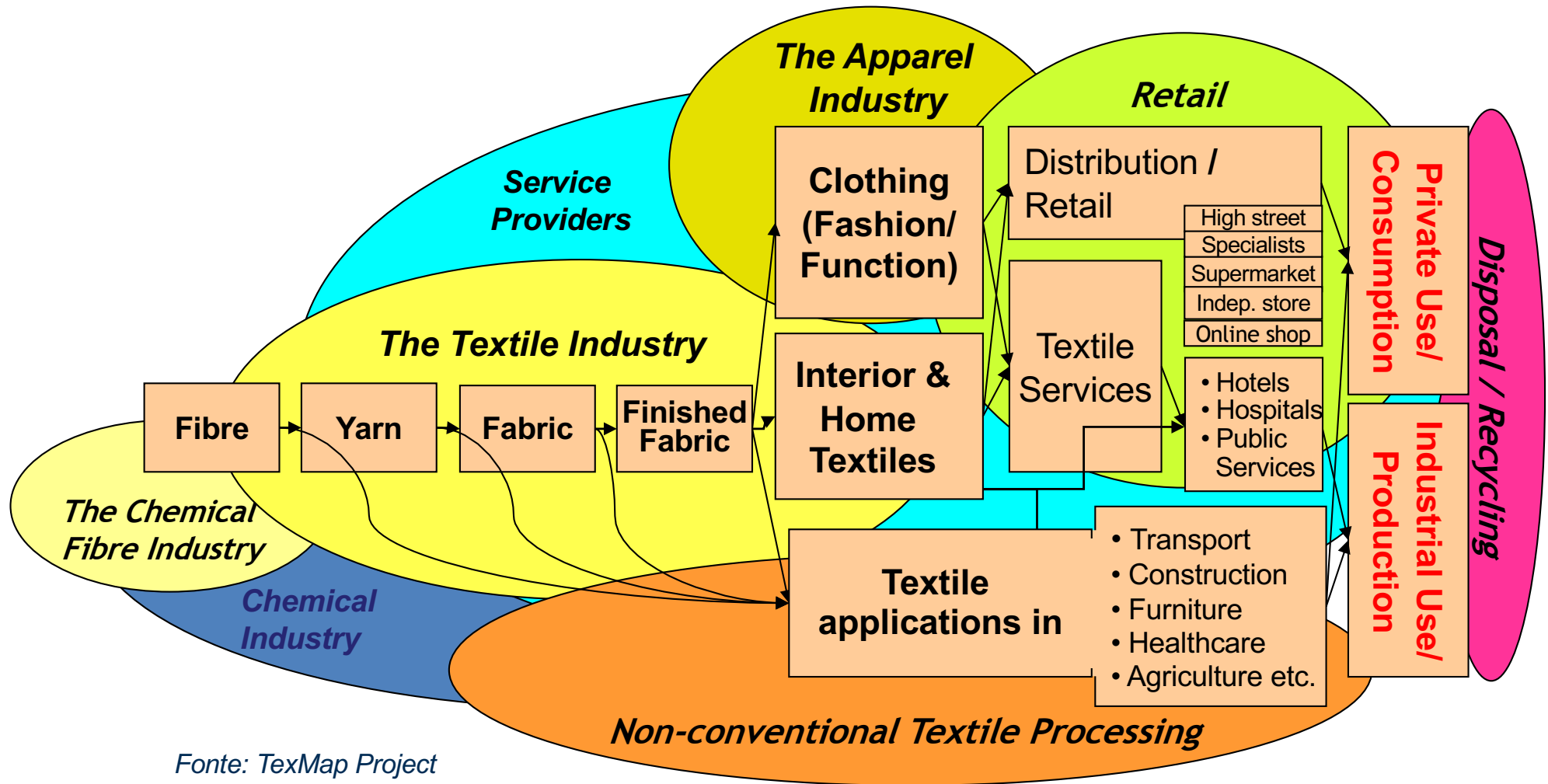
- ❑ centralità del cliente (**customer centricity**)
- ❑ economia circolare (**circular economy**)
- ❑ strategie di mercato basate su ICT
- ❑ economia della condivisione (**sharing economy**)
- ❑ economia del fare (**maker economy**)

centralità del cliente

- ❑ il cliente è sempre più **al centro della catena del valore** industriale
- ❑ le aziende mirano a **rispondere alle richieste di servizio o a reclami in modo rapido**, anticipando necessità e desideri dei clienti in modo creativo e propositivo
- ❑ questo modello di business è già in uso da parte di diverse aziende di vertice
 - ➔ Cisco Systems (*customer centricity*)
 - ➔ Allianz (*customer focus*)
 - ➔ Yahoo! (*customer fixation*)
 - ➔ Toyota ...



esempio nell'industria tessile



in addition:

- machinery and production equipment suppliers
- suppliers for testing and control equipment
- software providers; other services and intermediaries

economia circolare

- necessità graduale ma inevitabile di passare da un modello economico “lineare” (estremamente costoso nell’uso delle risorse) a uno “circolare”
- comporta un **cambio di paradigma nella definizione di prodotti e processi manifatturieri** che devono essere progettati, impiegati e monitorati per il riuso
- il concetto di “**progetta → usa → ricicla → riusa**” risponde a due requisiti
 - ➔ **riduzione dell’impatto ambientale** delle attività economiche
 - ➔ risparmio dovuto a **ridotti rifiuti e scarti** e a **minori costi di approvvigionamento** delle materie grezze/prime



strategie di mercato basate su ICT

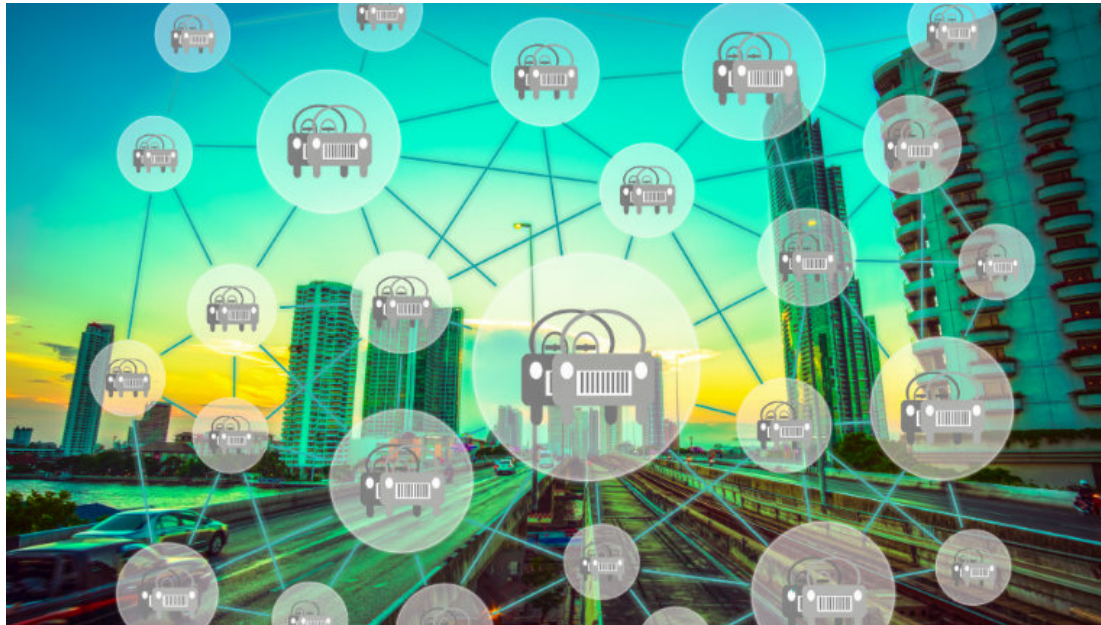
- ❑ le tecnologie alla base di Industria 4.0 mettono a disposizione in tempo reale grandi quantità di informazioni che possono migliorare l'efficienza della azienda
- ❑ emergono nuove strategie di mercato che mirano a **portare il prodotto più vicino al consumatore** finale
- ❑ scambi più **simmetrici** di informazione sull'uso del prodotto rendono possibili modelli di business in cui il produttore “affitta” e “cura la manutenzione” del bene prodotto anziché venderlo direttamente al consumatore



- ➔ **negozi virtuali online globali**
- ➔ servizi e prodotti per nuovi bisogni e stili di vita: **telemedicina, e-learning, musica digitale, digital publishing, ...**
- ➔ infrastrutture fornite come servizio (**affitto di CPU**, depositi, reti e altre risorse)
- ➔ **leasing**
- ➔

economia della condivisione

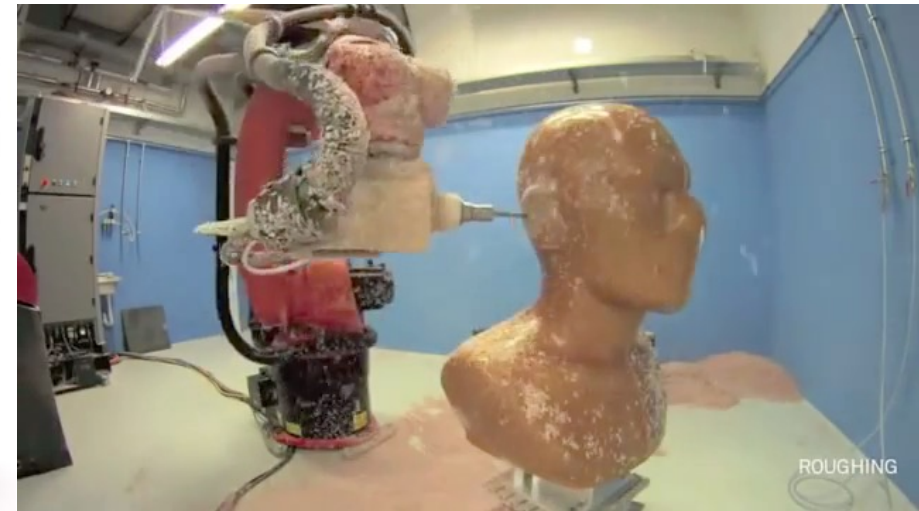
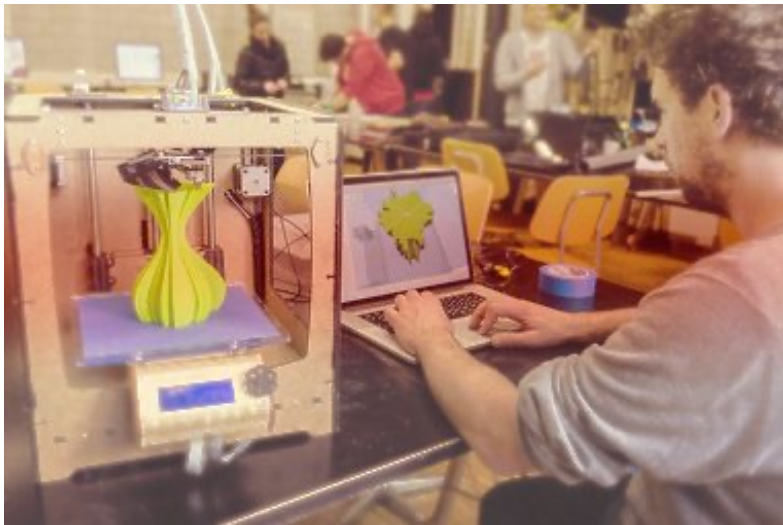
- ❑ modelli di business in cui l'economia è creata dalla **allocazione ottimizzata e condivisa di spazio, tempo, beni, servizi e risorse tramite piattaforme digitali**
- ❑ modelli di reti collaborative si trovano in diversi ambiti
 - ➔ mobilità locale: **car-sharing, car-pooling**, bike-sharing
 - ➔ viaggi: couch-surfing, co-farming, **BlaBlaCar**
 - ➔ alloggio: **piattaforma airbnb di affitto privato**, co-housing
 - ➔ cucina condivisa: social eating
 - ➔ lavoro: **co-working**



economia del fare

- ❑ forma di economia che parte dal basso, rappresenta il nuovo orizzonte di riferimento per la creatività e la “manualità” digitale (**artigianato digitale**)
- ❑ sistemi di auto-produzione a basso costo per esplorare e comporre tecniche e idee innovative
- ❑ simbolo di questa rivoluzione nella manifattura digitale è la **prototipazione rapida** con stampanti 3D, uso di materiali plasmabili e anche di robot programmati

video



SprutCAM con Kuka Robot KR60, TU Vienna

Automazione alla Amazon

video



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

Amazon Fulfillment Center

- ❑ 110 centri nel mondo (50 in USA, con 90.000 addetti), varie generazioni dal 1999
- ❑ un centro: ~1000 addetti, ~1000 robot mobili, >10.000.000 di prodotti diversi
- ❑ magazzino automatizzato a struttura **densa, regolare, modulare**, su più piani (4)
- ❑ acquisizione prodotti da ditte (supply) ➡ stoccaggio (tracciabile, ma **random!!**)
➡ raccolta dei prodotti (picking) ➡ composizione pacco e invio (shipping)
- ❑ **stoccaggio dinamico** dei prodotti: i più richiesti ➡ più vicini a stazioni di raccolta



30 minuti (invece di ore) per lo stoccaggio di un trailer (con Robot-Stow)

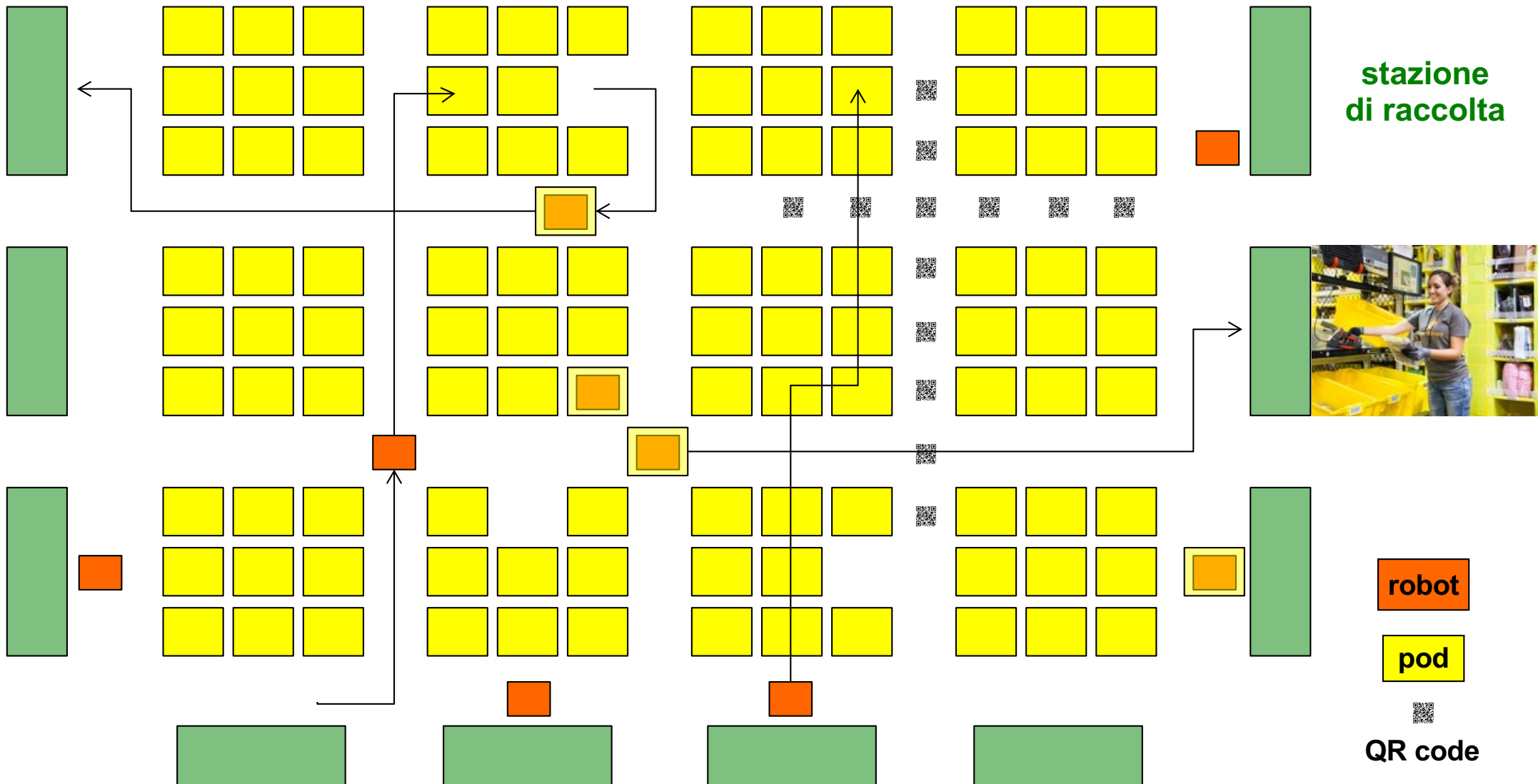
tempi medi di “soddisfamento” degli ordini ridotti di 3-4 volte

- ❑ tre componenti fisici di base (“modulari”, quindi scalabili in numero a piacere)
- ❑ **codici QR** (barcode 2D) posti sul pavimento, su griglia fissa
 - ➔ coordinate (x,y) per la localizzazione dei robot (Manhattan distance)
- ❑ **pod (navetta)** con codice QR e contenitori dei prodotti
- ❑ **robot mobile**, connesso **in rete** locale
 - ➔ due ruote fisse attuate indipendenti e quattro castor di appoggio
 - ➔ sollevatore (azionato ruotando in senso orario/antiorario il robot)
 - ➔ due telecamere per leggere i codici QR (pavimento e pod)
 - ➔ sensore di prossimità (rileva ostacoli inaspettati)

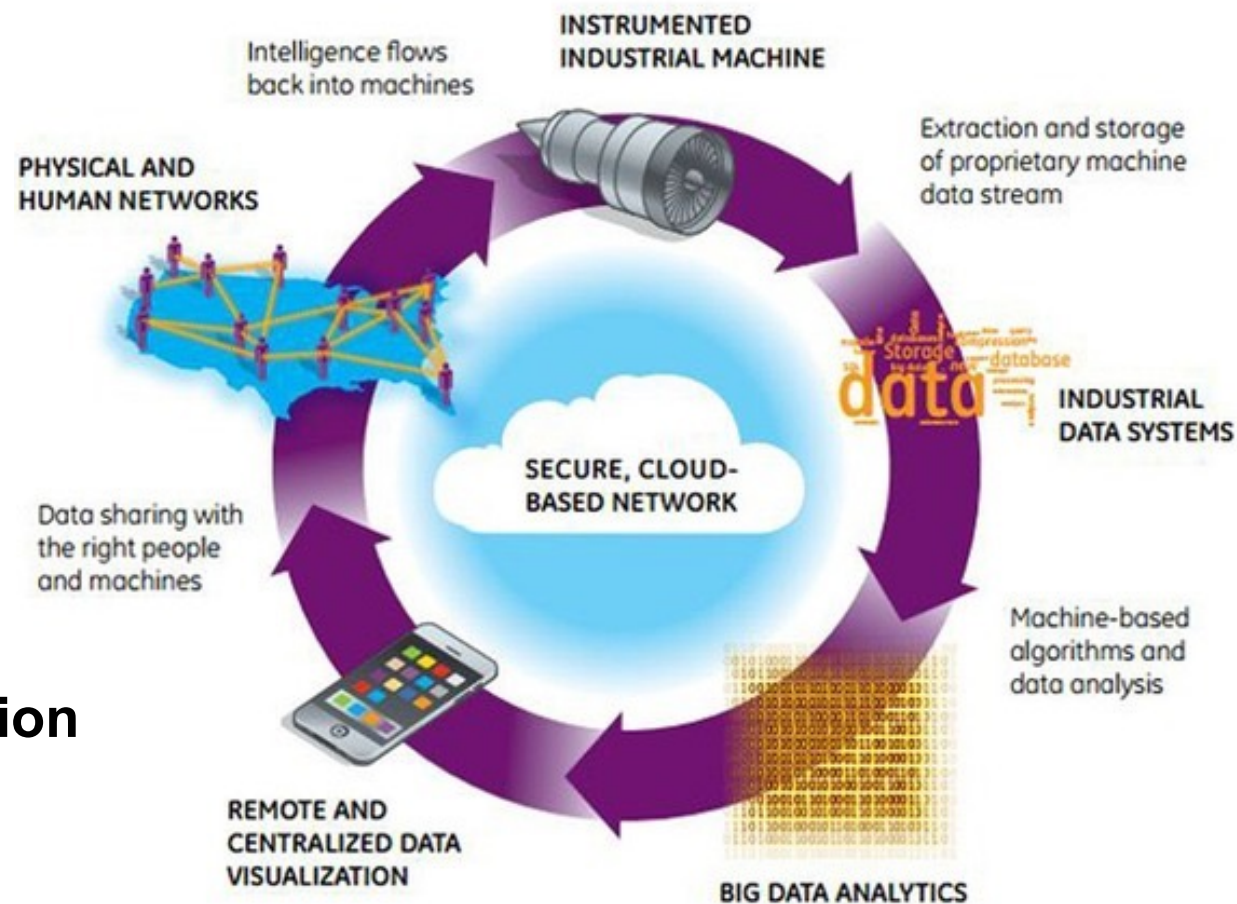


Allocazione dinamica delle risorse

- ▣ **allocazione dinamica in linea** delle risorse (robot, pod con prodotti ➡ stazioni di raccolta) in base agli ordini richiesti, con vincoli di tempo reale: **algoritmi nel cloud**



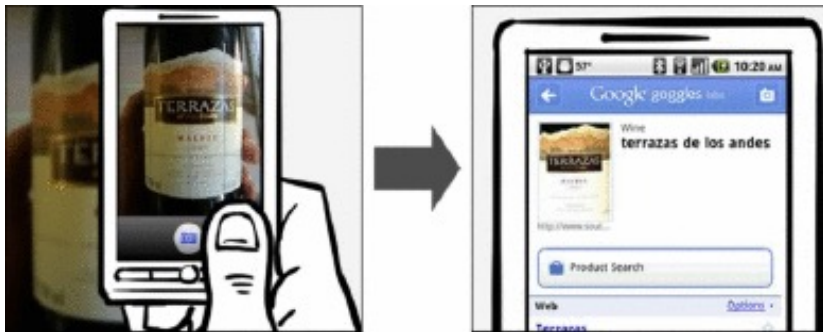
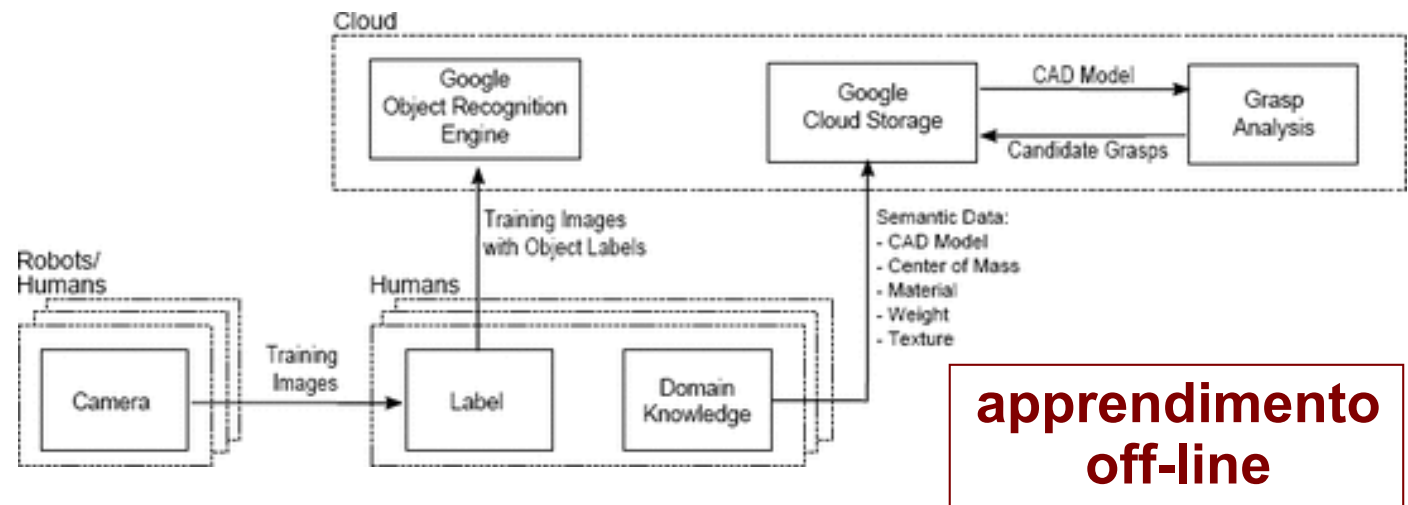
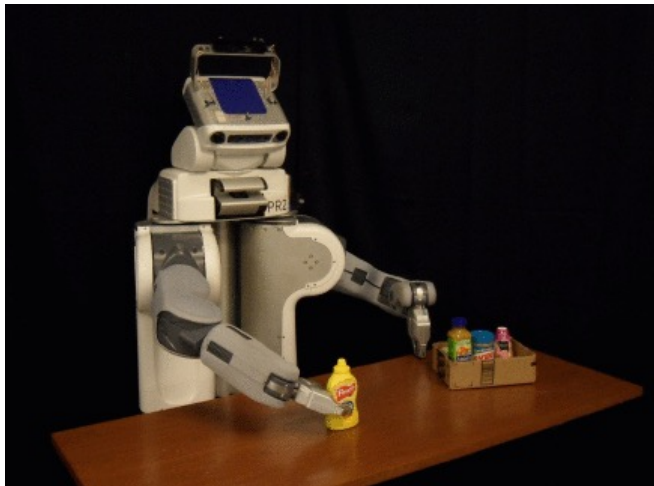
- Amazon è un esempio di evoluzione dell'automazione nello spirito di Industria 4.0
- uso di tecnologie avanzate e integrate (robotica, big data, cloud computing, ICT-based marketing) ha permesso un modello di business “più vicino al cliente”
- più in generale...



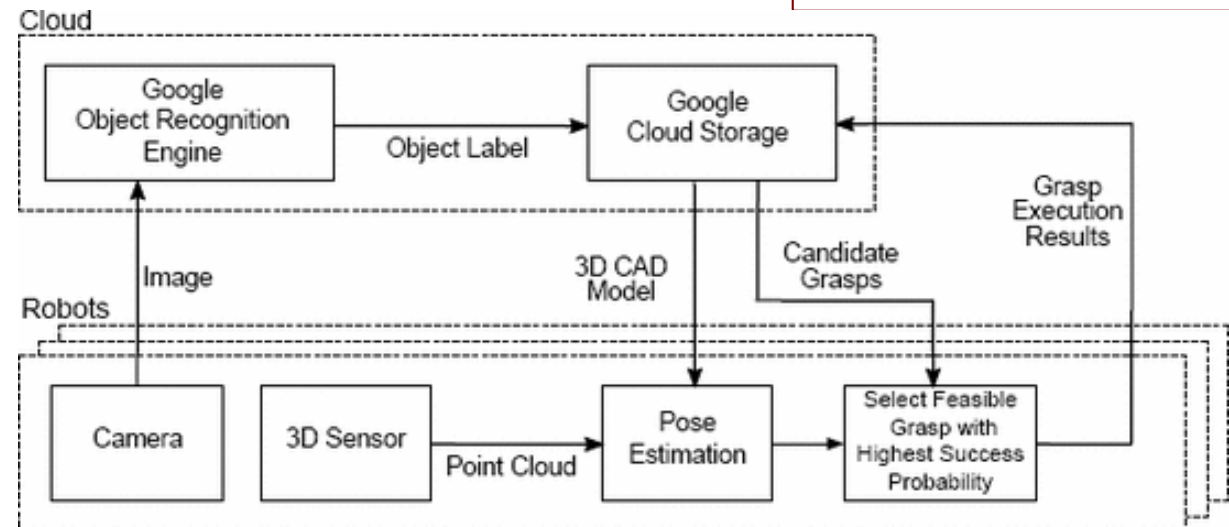
Cloud Automation

□ un primo esempio in robotica

➔ metodo cloud-based per **studiare** e **ritrovare** prese di oggetti con mani robotiche



esecuzione on-line



- un secondo esempio: il robot **Franka Emika**

- è leggero, cedevole, sensorizzato in modo intelligente, sicuro, si programma facilmente, si auto-costruisce, è connesso con il cloud ...



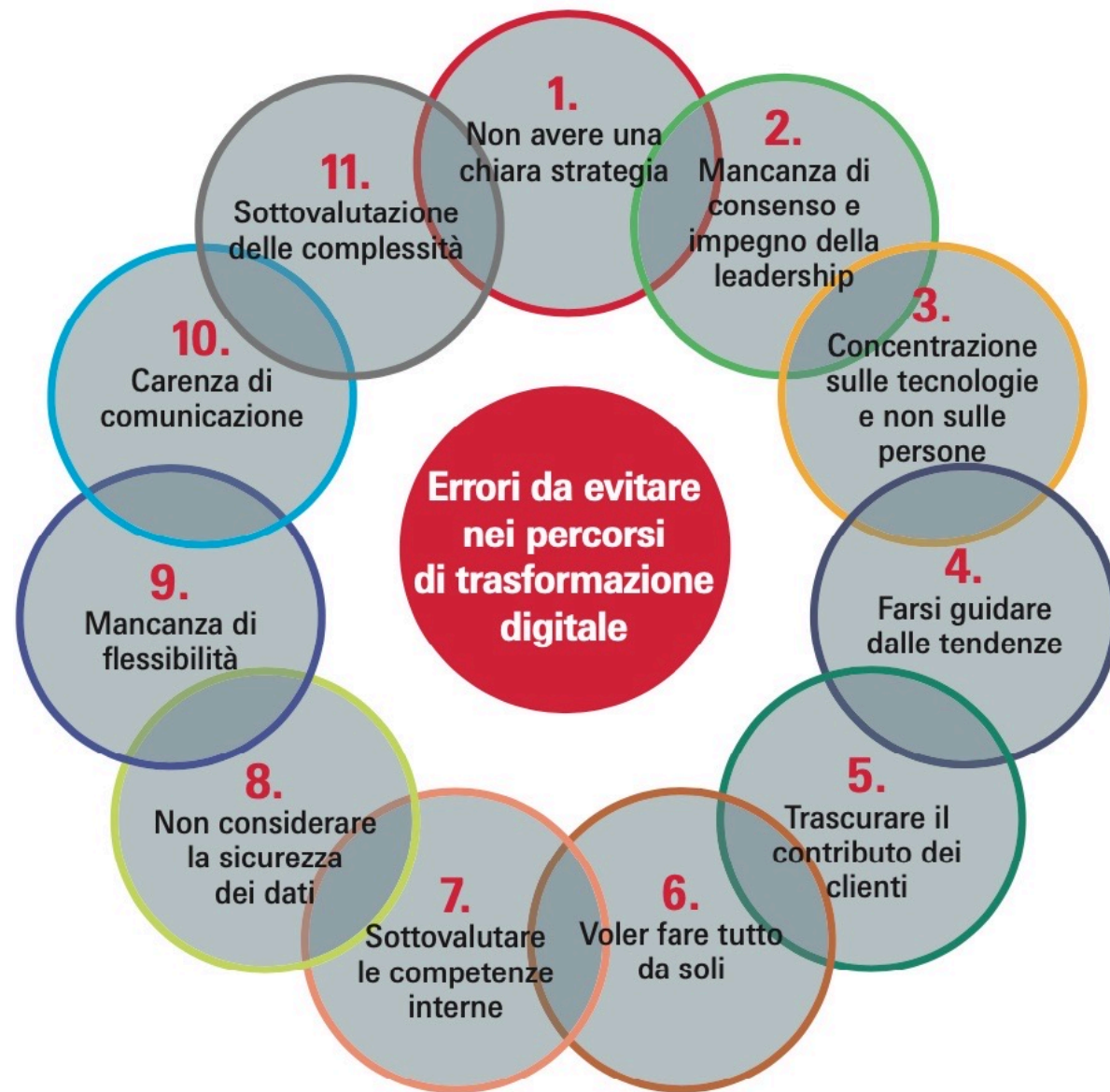
video

Trasformazione digitale



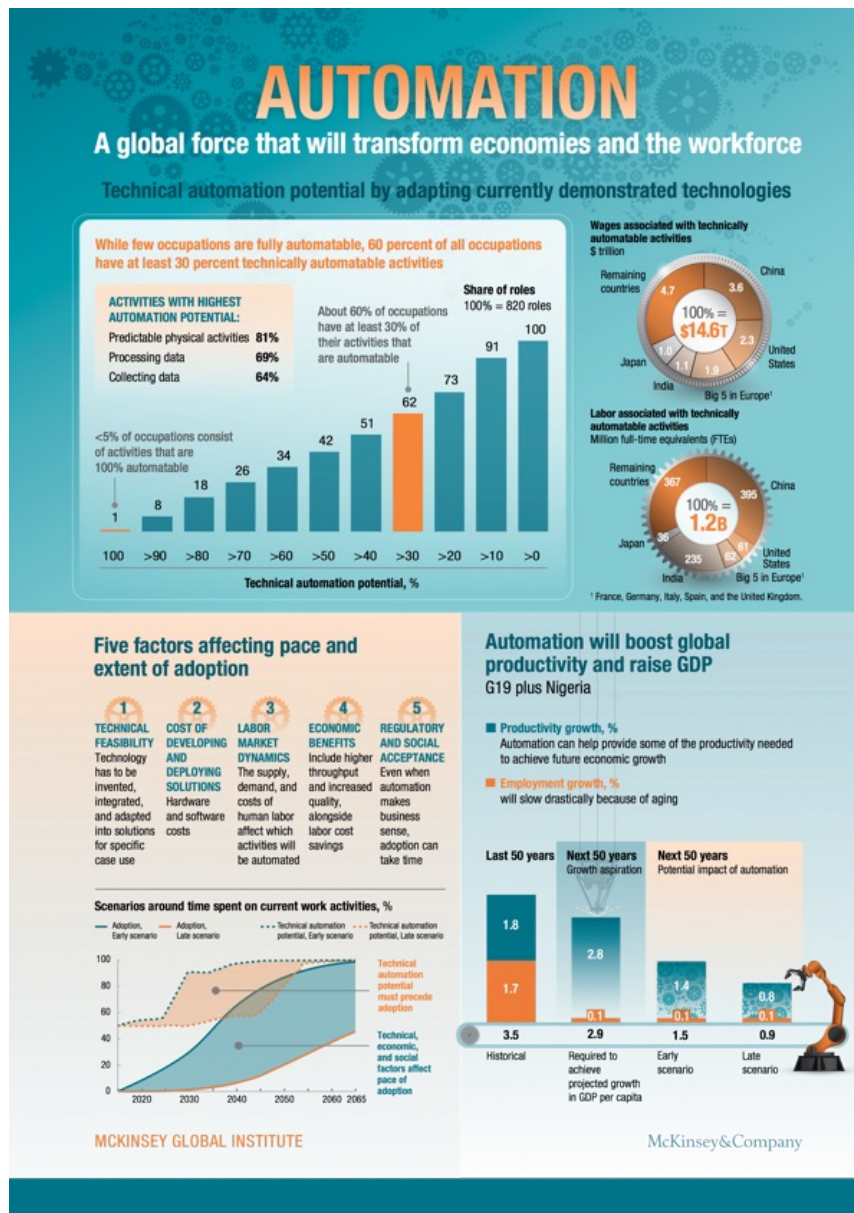
Strategie e percorsi per la trasformazione digitale dei processi produttivi industriali

fonte: SPS Italia Position Paper 2023



fonte: SPS Italia Position Paper 2023

Rapporto McKinsey su Automazione e Lavoro



- storicamente, l'automazione ha sempre aumentato la produttività del lavoro: la stima di crescita futura è dello 0.8 ÷ 1.4% annuo
- si può automatizzare circa la metà delle attività lavorative (pari a \$15K MLD di salari), adattando le tecnologie attuali (o di previsto sviluppo)
- considerate 2000+ attività in 800 occupazioni
 - ➔ le più "sostituibili" sono attività fisiche di tipo prevedibile svolte in ambienti strutturati con "middle-skills": industria manifatturiera, servizi alberghieri e alimentari, commercio al dettaglio (51% delle attività economiche negli USA, pari a \$2.7K MLD di salari)
- meno del 5% delle occupazioni possono essere **completamente** automatizzate
- nel 60% delle occupazioni, almeno il 30% delle attività può essere automatizzato
- scenario: **metà** delle attività lavorative attuali sarà **automatizzata entro il 2055** (± 20 anni per la variabilità di fattori tecnologici, economici, sociali)
- lavoro umano a fianco delle macchine necessario a garantire la crescita futura del PIL/pro capite

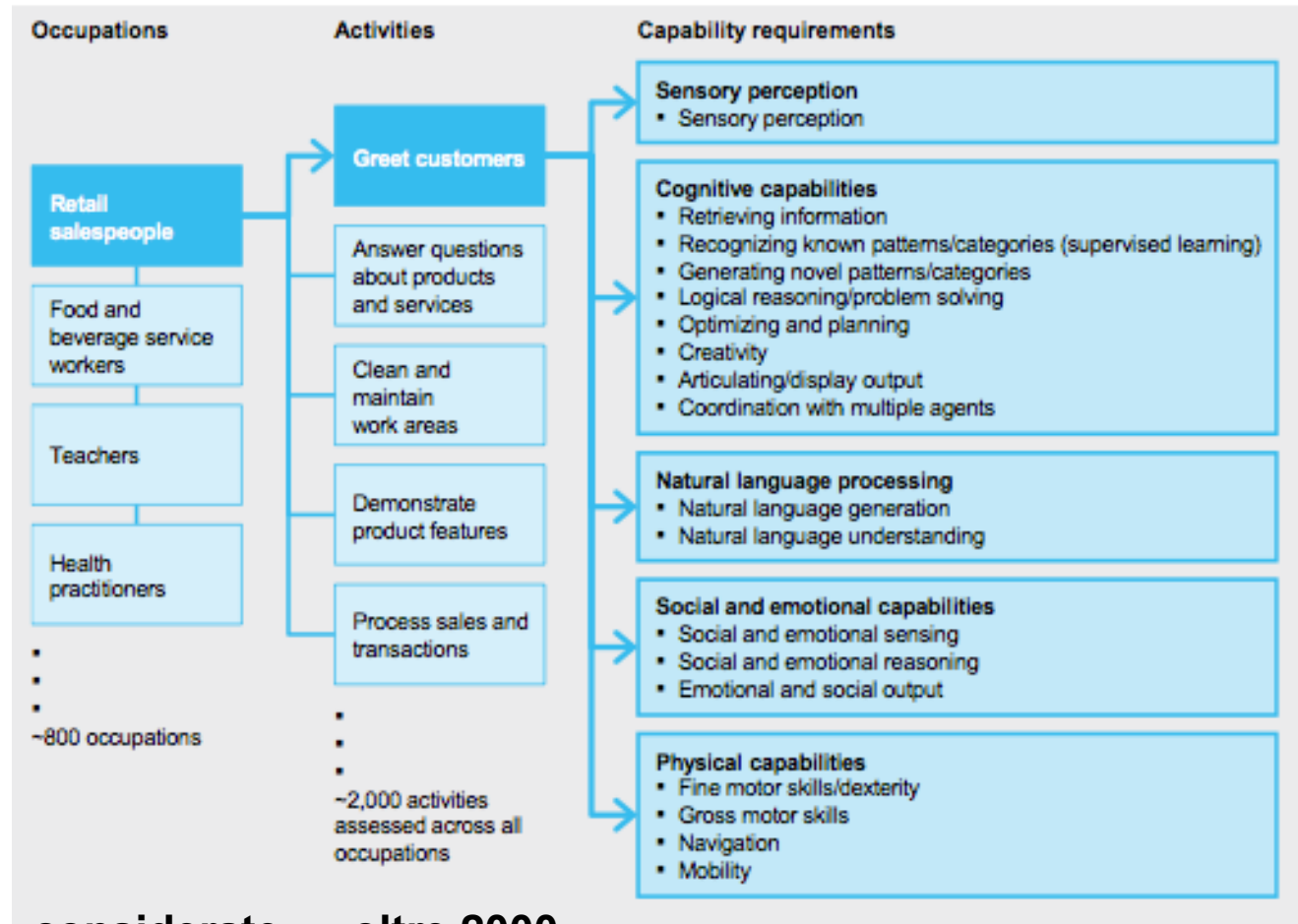
gennaio 2017: grande eco sui media

Automazione, Lavoro, Produttività

... dentro il
Rapporto McKinsey



Tipo di occupazione → Attività coinvolte → Capacità richieste



considerate
circa 800
occupazioni

oltre 2000
attività
elementari

Poche occupazioni sono interamente automatizzabili, anche se il 60% di tutte le occupazioni hanno almeno il 30% delle loro attività che sono automatizzabili (già con le attuali tecnologie)

Esempi di occupazione

addetto macchine tessili,
selezionatore di prodotti agricoli

magazziniere,
agente di viaggi,
riparatore di orologi

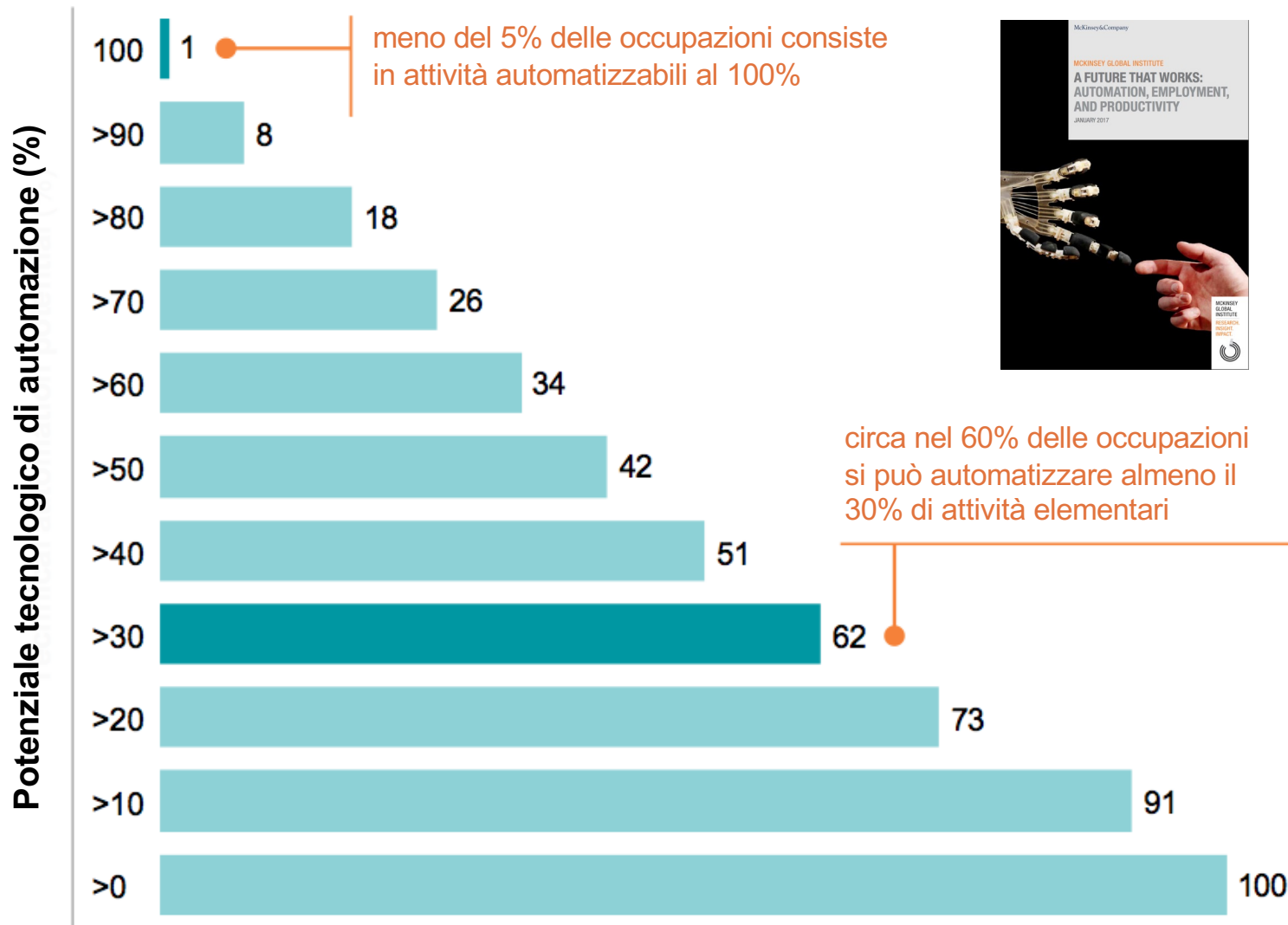
tecnico chimico,
aiuto infermiere,
sviluppatore web

disegnatore di moda,
amministratore delegato, statistico

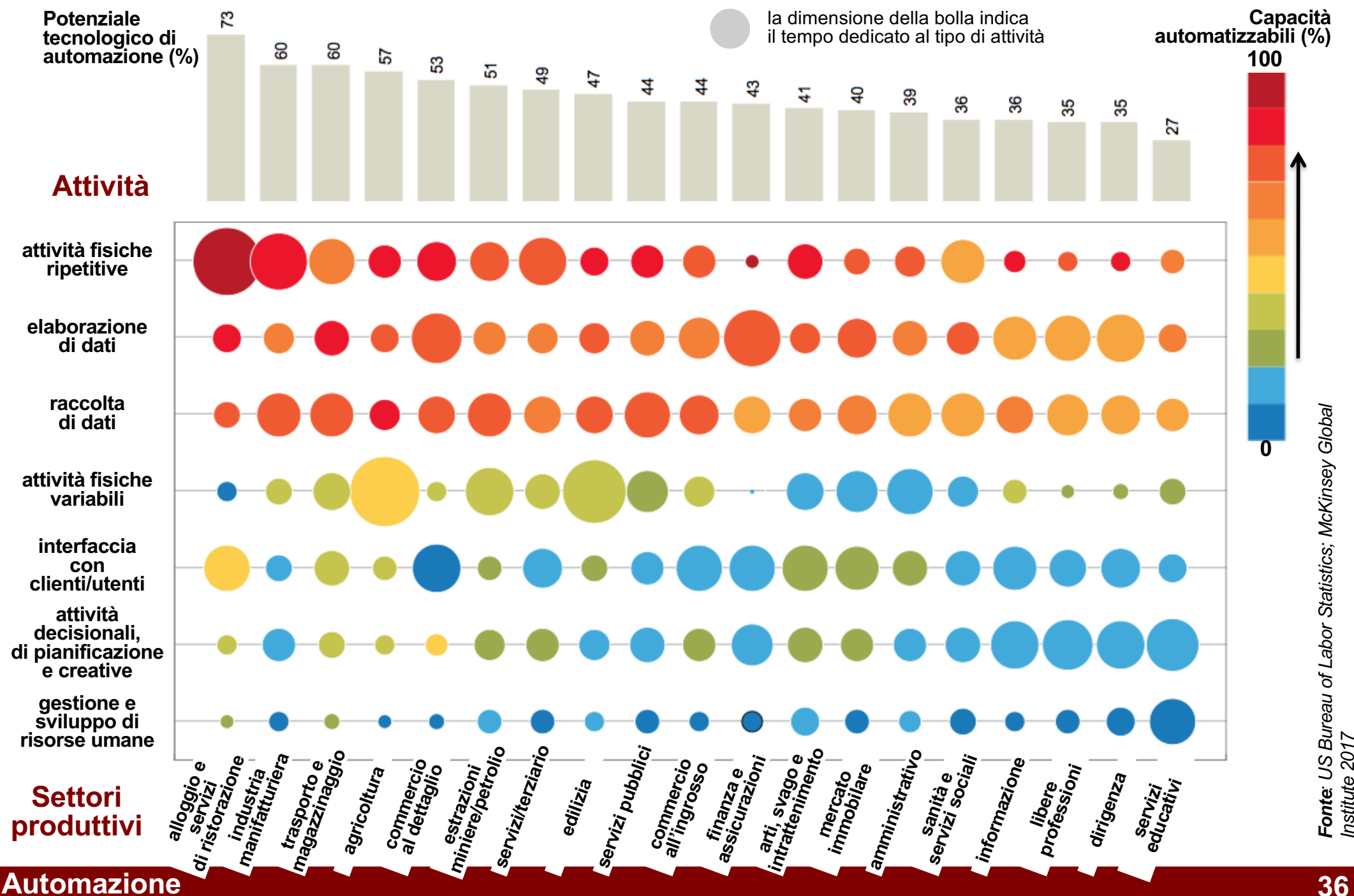
psichiatra,
legislatore

Accumulo percentuale (%)

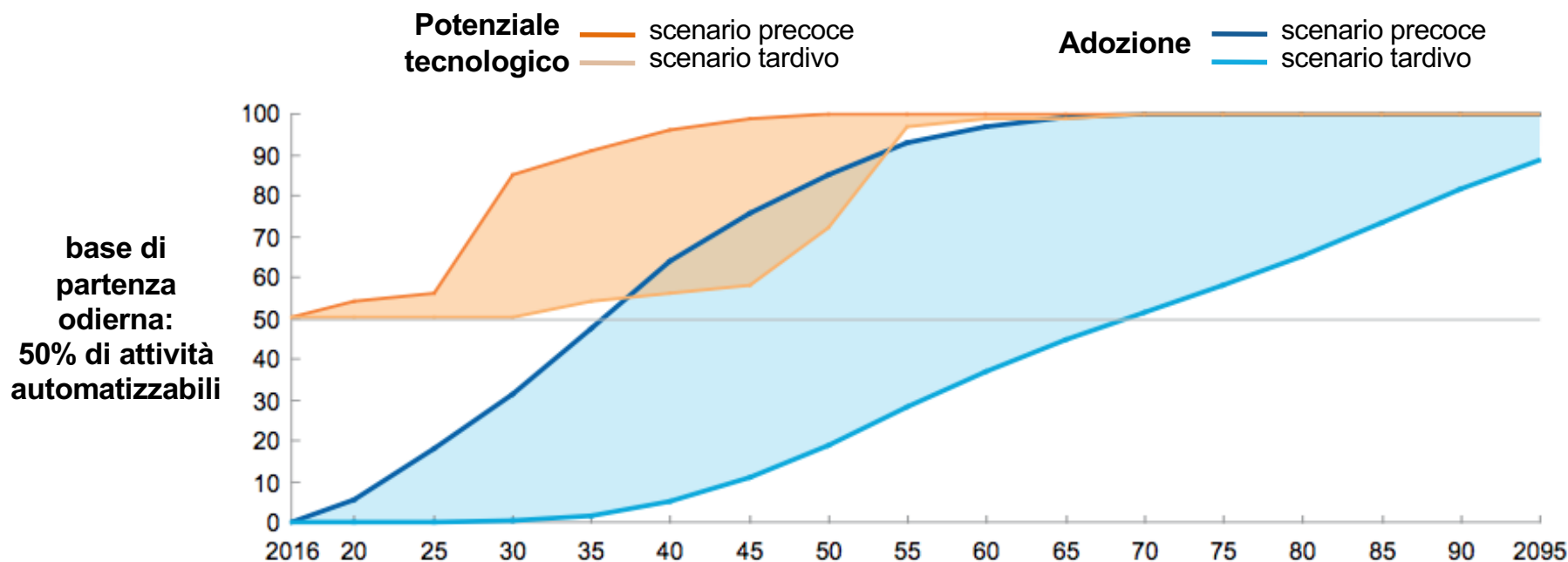
100% = 820 tipi di occupazione considerati, con oltre 2000 attività elementari



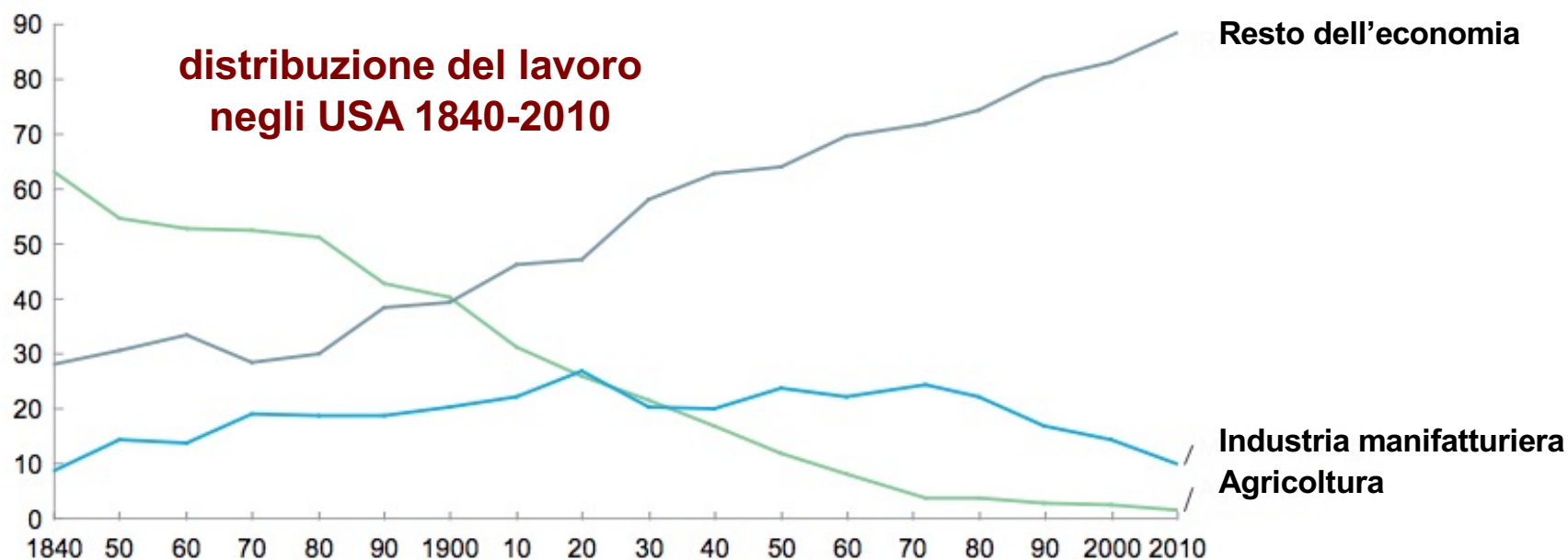
Diversi settori, diversi mix di attività, diversa automazione ...



L'automazione è attualmente e continuerà a essere un fattore trainante globale, ma la sua adozione/accettazione durerà decenni e con scenari molto incerti sui tempi

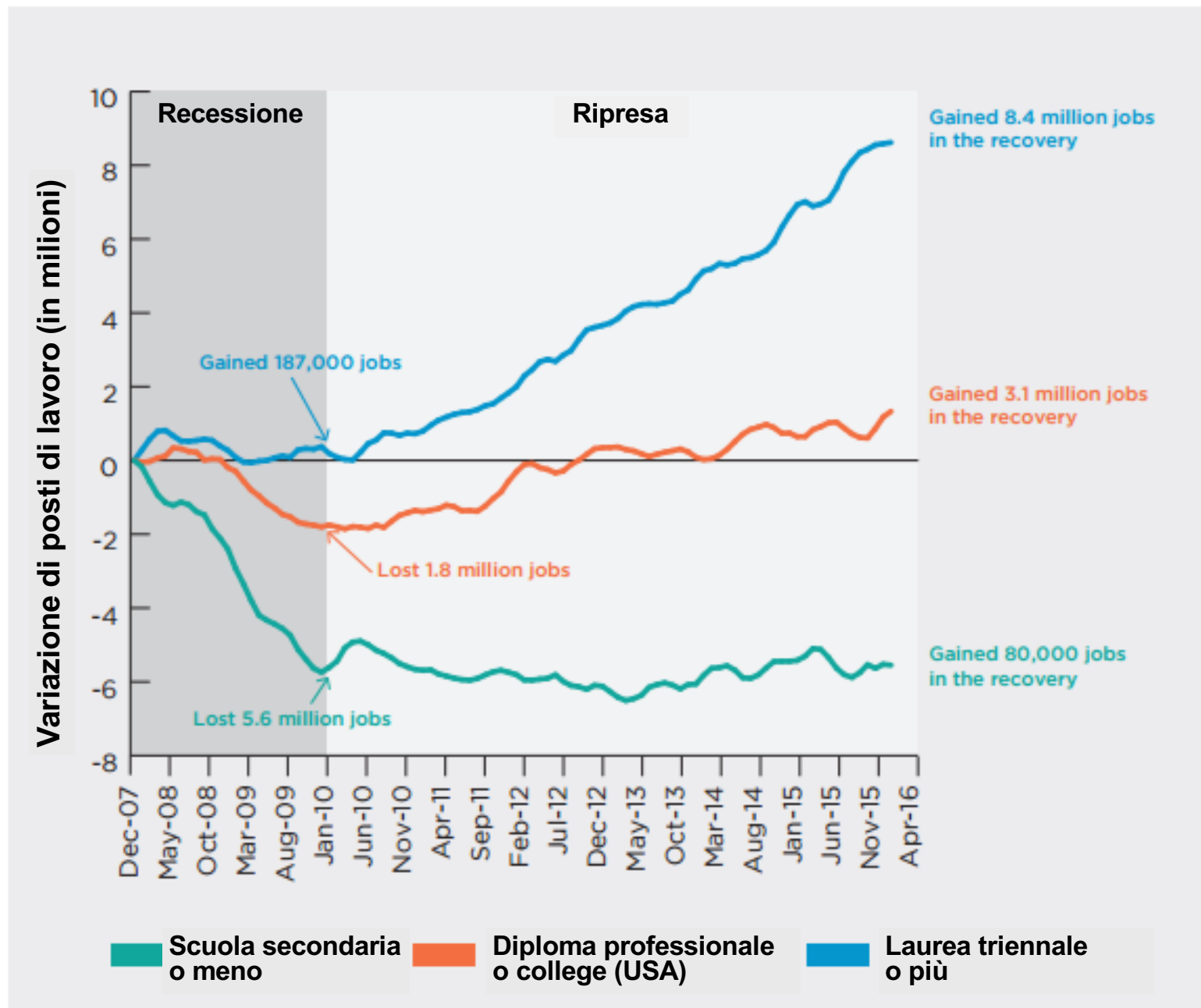


Fonte: McKinsey Global Institute 2017



Fonti: Federal Reserve Bank of St. Louis 1987, McKinsey Global Institute 2017

Andamento dei posti di lavoro e livello di educazione (dati USA)



Rapporto Commissione Europea su Industria 5.0

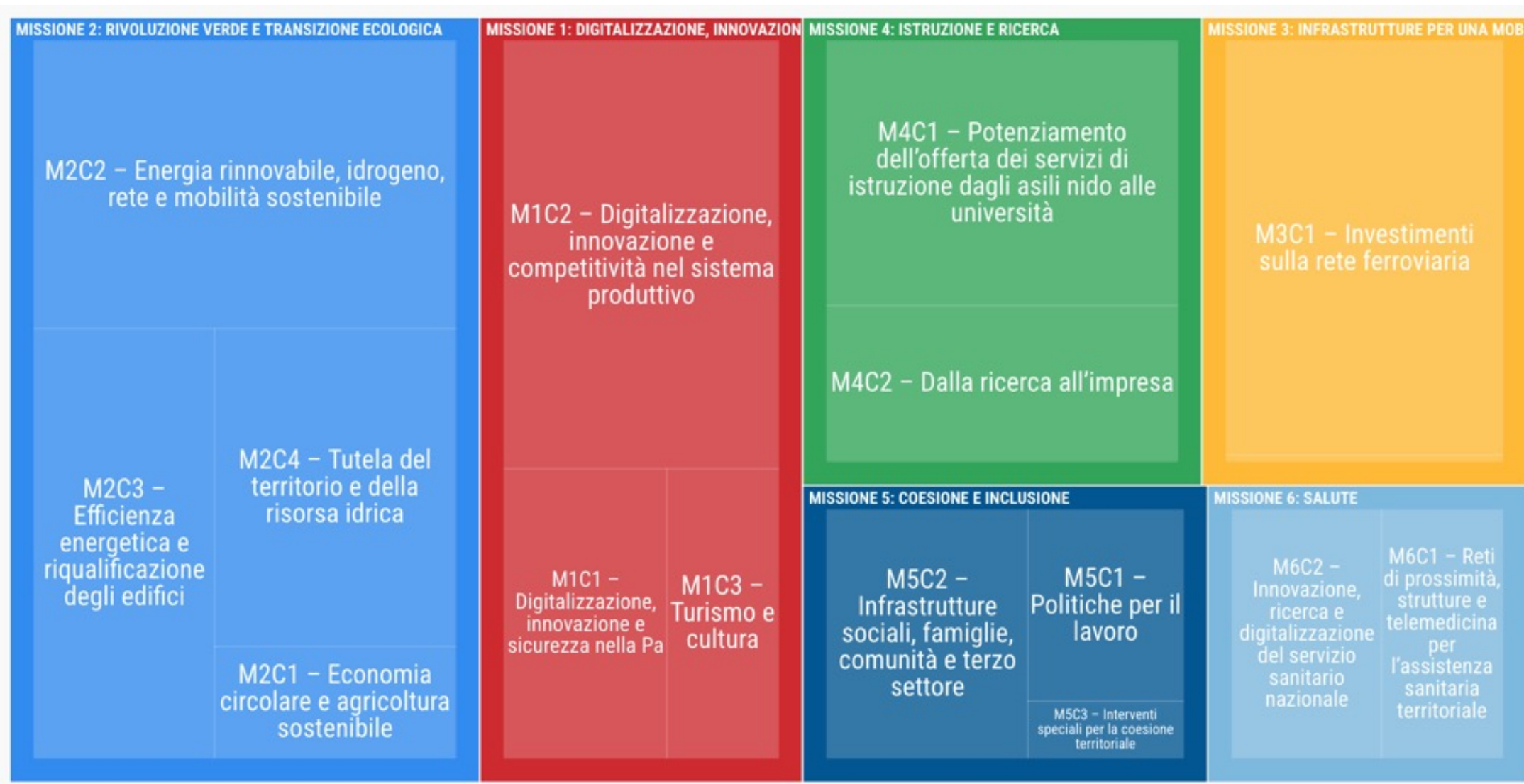


gennaio 2021: con il lancio di

- Next Generation EU (in Italia ⇒ PNRR)
- Horizon Europe (programma di ricerca)

- integra e sviluppa il modello Industria 4.0, verso un'industria europea **sostenibile, centrata sulla persona e resiliente**
- linee guida della CE per favorire l'innovazione oltre la semplice diffusione di nuove tecnologie per raggiungere un benessere collettivo
- strumento **Next Generation EU (750 MLD €)**
 - digitalizzazione, innovazione, cultura
 - rivoluzione verde e transizione ecologica
 - infrastrutture per una mobilità sostenibile
 - istruzione e ricerca
 - coesione e inclusione
 - salute
- visione di **Industry 5.0**
 - industria come fattore di prosperità sostenibile e resiliente per l'intera società
 - capacità di raggiungere obiettivi sociali al di là della (sola) creazione di posti di lavoro e della crescita economica

Le 6 missioni del PNRR in Italia



<https://www.openpolis.it/piano-nazionale-di-ripresa-e-resilienza>

Da Industria 4.0 a Industria 5.0



- confronto tra dimensioni di mercato delle più grandi aziende mondiali nel 2009 e nel 2019
- l'industria 4.0 è già stata trasformata dalle nuove tecnologie digitali

- ⇒ focus su nuovi valori: dai possessori dei beni (shareholders) agli interessati e/o fruitori dei beni (stakeholders)
- ⇒ produzione non più legata esclusivamente a massimo profitto e efficienza di costi, ma responsabile per ambiente e società



- **centralità della persona**
 - cosa può fare la tecnologia per noi (**non** di noi!)
 - usare la tecnologia per adattare i processi produttivi alle necessità dei lavoratori
 - 'skills' per il futuro dell'industria manifatturiera

- **resilienza** = abilità nel gestire con flessibilità il cambiamento
 - produzione industriale dotata di supporti per le infrastrutture critiche e resistente a 'interruzioni'
 - catene di valore strategiche, capacità produttiva e metodi di business flessibili



- **sostenibilità** = processi produttivi circolari basati sul riutilizzo, reimpiego e riciclo delle risorse naturali
 - riduzione dei rifiuti e dell'impatto ambientale
 - assicura i bisogni odierni senza mettere a repentaglio le future generazioni

Tech Trends emergenti (McKinsey, 2021)

Technology trends and underlying technologies

Industry-agnostic trends



1 Next-level process automation...

Industrial IoT¹
Robots/cobots²/RPA³



... and process virtualization

Digital twins
3-D/4-D printing



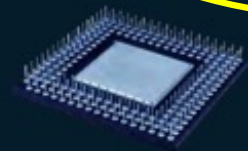
2 Future of connectivity

5G and IoT connectivity



3 Distributed infrastructure

Cloud and edge computing



4 Next-generation computing

Quantum computing
Neuromorphic chips (ASICs⁴)



5 Applied AI

Computer vision, natural-language processing, and speech technology



6 Future of programming

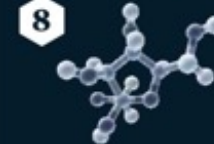
Software 2.0



7 Trust architecture

Zero-trust security
Blockchain

Industry-specific trends



8 Bio Revolution

Biomolecules/"-omics"/
biosystems
Biomachines/biocomputing/augmentation



9 Next-generation materials

Nanomaterials, graphene and 2-D materials, molybdenum disulfide nanoparticles



10 Future of clean technologies

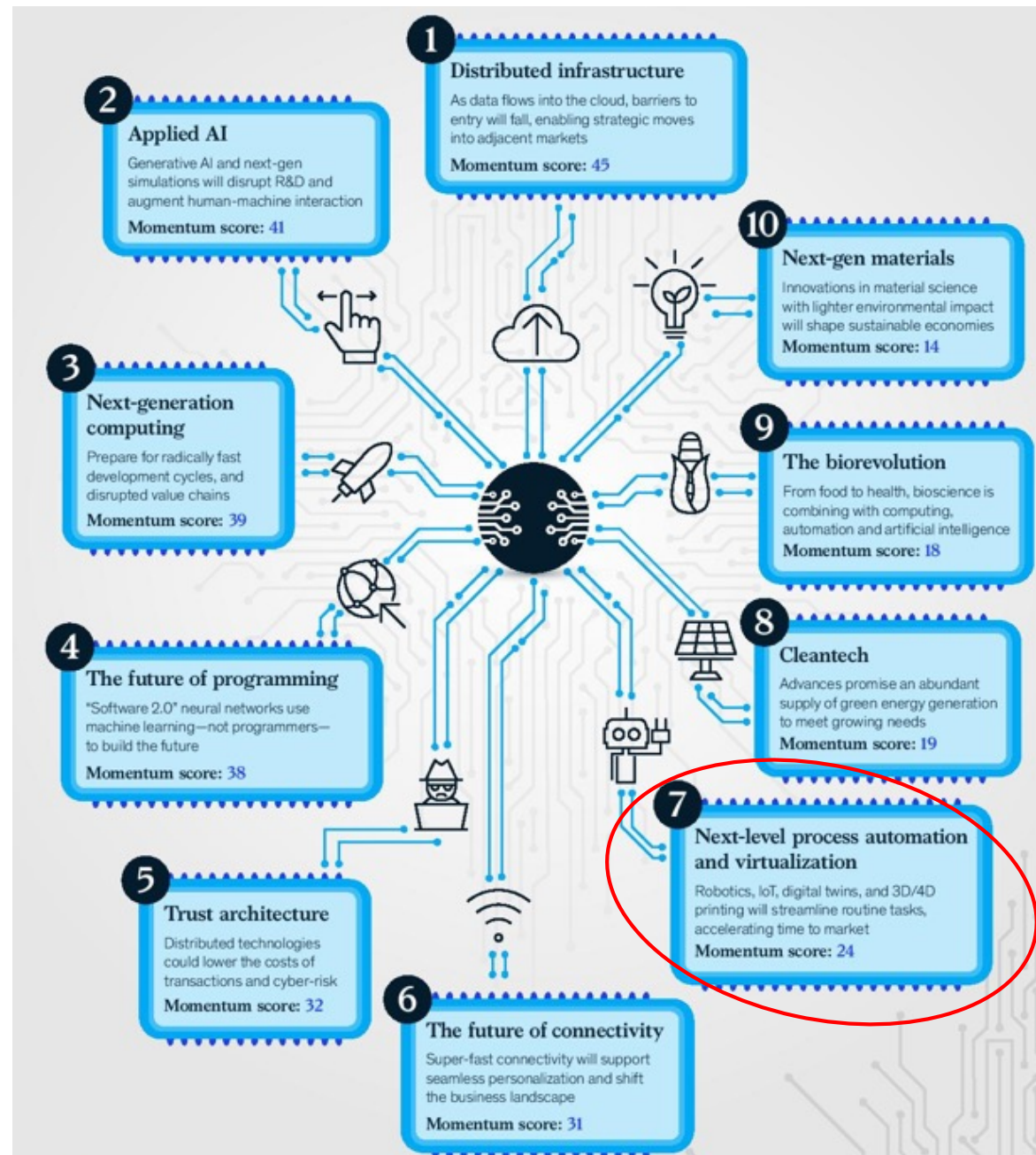
Nuclear fusion
Smart distribution/metering
Battery/battery storage
Carbon-neutral energy generation

1. Internet of things. 2. Collaborative robots. 3. Robotic process automation. 4. Application-specific integrated circuits.

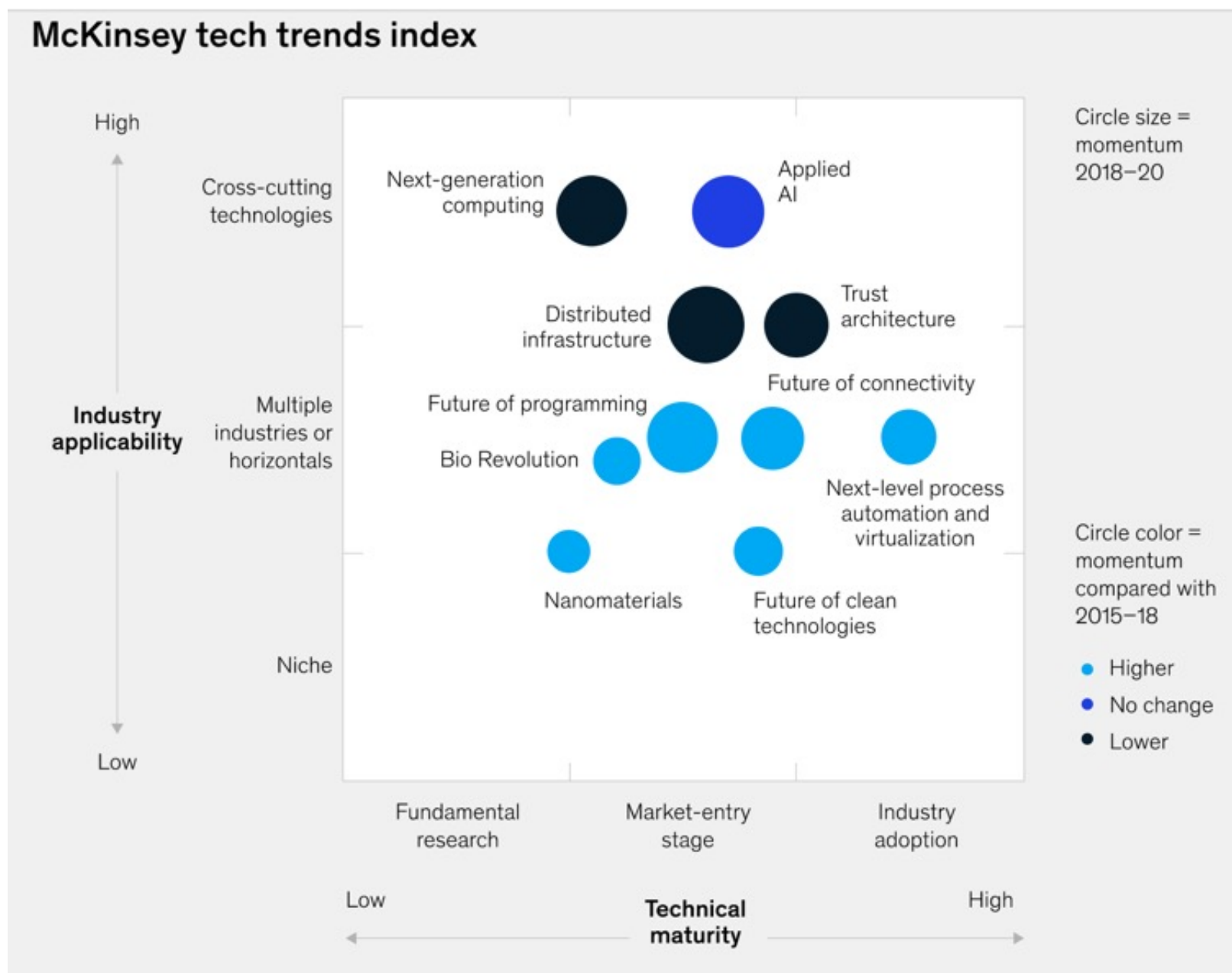
7 tendenze tecnologiche comuni a più settori industriali e 3 specifiche

Tech Trends emergenti (McKinsey, 2021)

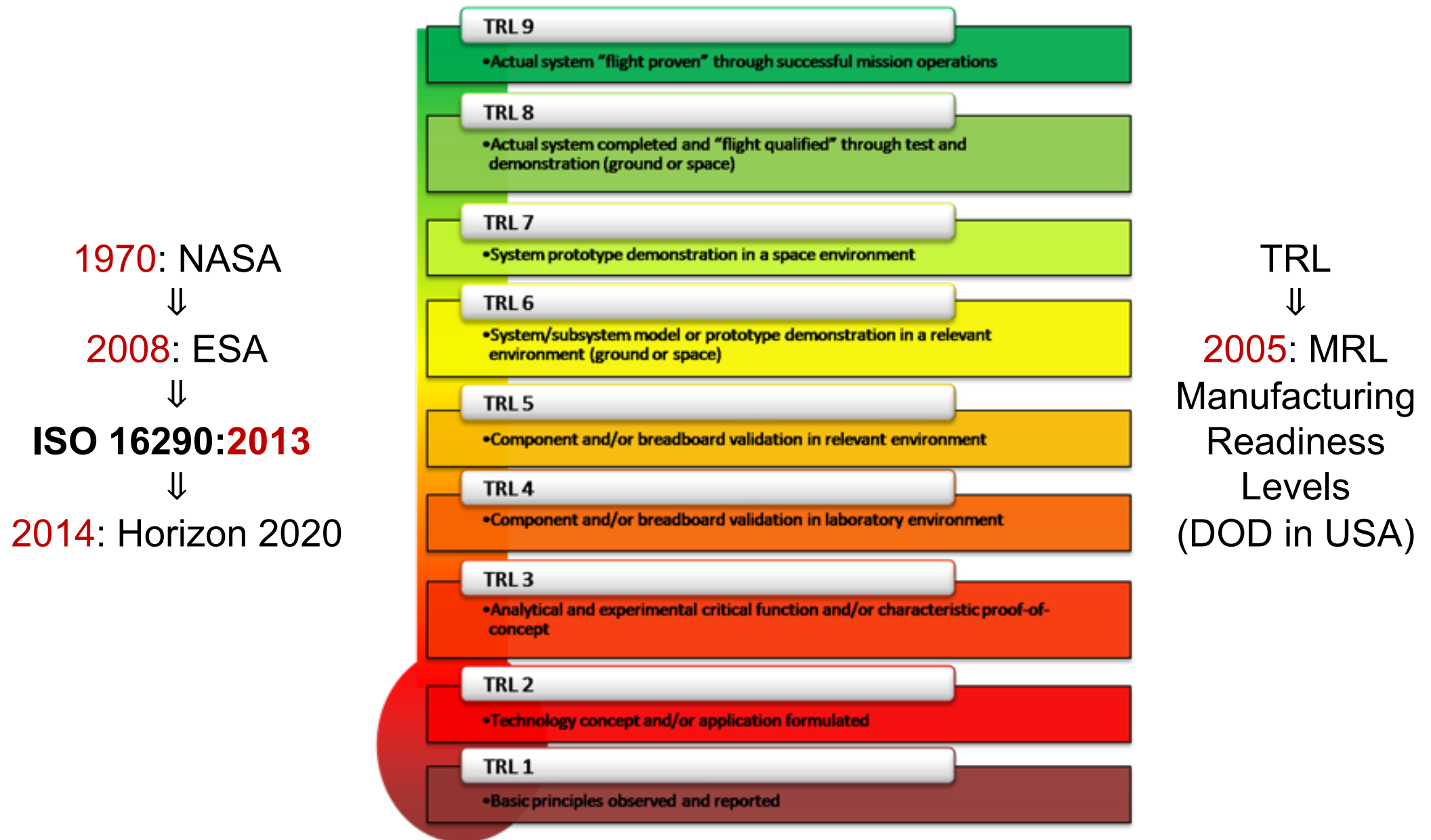
Momentum score =
punteggio di slancio o
rapidità di sviluppo



Tech Trends emergenti (McKinsey, 2021)

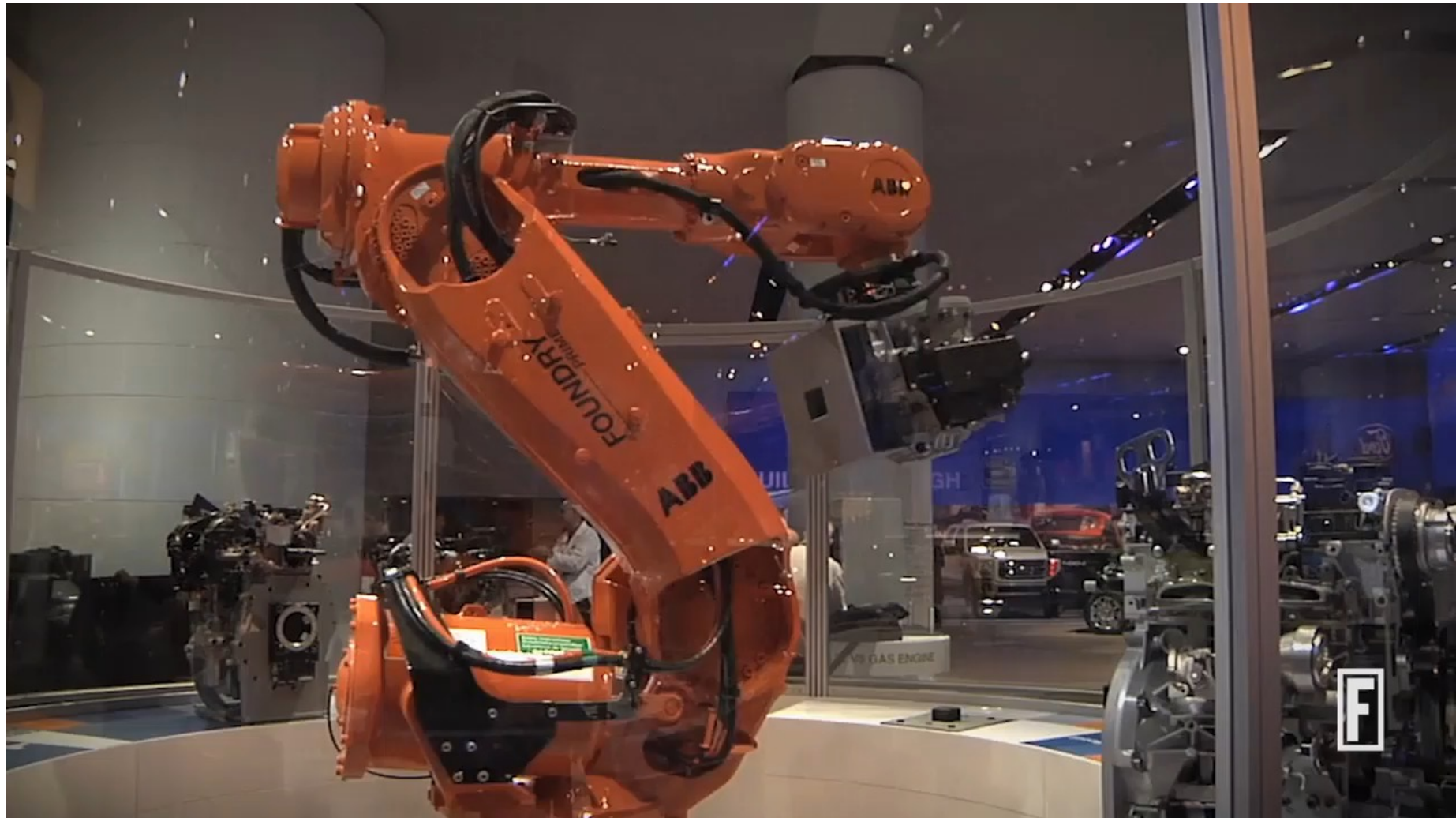


Technological Readiness Levels (TRL)



<https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/>

Robot come “job killers”?







video

fonte: Fortune

Lavori persi ... Lavori guadagnati

Nuovi ruoli professionali in automazione

HOW THE FOUR MANUFACTURING ROLES WILL CHANGE OVER THE NEXT 10 YEARS

	<p>Production operators will:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Work with robots – IFR members estimate 50% will be working with robots in 10 years' time. Tasks include: Programming of simple applications: Monitoring robot performance: Working collaboratively with a robot 'assistant' or robotic tool • Have the opportunity to learn new skills • Work across a range of production lines or cells
	<p>Technicians will:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rely on data generated by machines, and analytic tools to assess when machines need maintenance • Need broad information technology skills to interpret digital representations of physical machines and search databases • Start to take a proactive role in process optimization, exploring how processes could be altered to function more efficiently and avoid typical bottlenecks
	<p>Engineers will:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Increasingly manage connected systems rather than discrete machines • Need expertise in electronics and software as well as traditional skills in mechanical engineering. • Require an understanding of the interfaces and communications protocols between back-end order systems and machine controllers, as well as Internet of Things communications protocols
	<p>Production managers will:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oversee a broader range of machines and processes than in the past • Need broad technology skills in related systems such as enterprise resource planning (ERP) • May in future work in production control rooms managing employees who monitor screens showing the flow of materials, production capacity, machine yield, alerts for machine malfunctions and output to warehouses for shipment. Will also perform complex optimization tasks across the entire production line

NEW JOB PROFILES THROUGH AUTOMATION

MULTIDISCIPLINARY ROLES	Smart Factory Manager	<ul style="list-style-type: none"> • Broad profile spanning production operations and quality control, as well as product design and engineering and IT and cyber security • Uses predictive maintenance analytics to identify machines that are operating outside of established parameters and directs preventive maintenance teams to address issues
	Solution Planner	<ul style="list-style-type: none"> • Spans engineering, technician and production planner roles • Tasked with developing plans to address customer issues
	Process / production technologist	<ul style="list-style-type: none"> • Supports the running of a highly automated factory • High degree of multi-disciplinary flexibility and knowledge of multiple automation systems • Germany has developed a vocational study program for this new professional profile ⁷
	Production Technology Engineer	<ul style="list-style-type: none"> • Integrates, reconfigures, monitors and maintains the resources of an entire production line
	Robot Teaming Coordinator ⁸	<ul style="list-style-type: none"> • Designs business processes that integrate robotics into production and distribution operations • Trains humans and robots to work together collaboratively • Monitors robot performance and provides feedback to programmers to optimize performance
DEEP DOMAIN EXPERTS	Automation technology trainer	<ul style="list-style-type: none"> • Versed in multiple automation technologies • Develops and runs training programs working with external education institutes and equipment manufacturers
	Vision System Technician	<ul style="list-style-type: none"> • Responsible for supervising and adjusting (robot) vision systems
	Robot Debugger	<ul style="list-style-type: none"> • Responsible for resolving software issues in multiple robots
	AI optimization expert	<ul style="list-style-type: none"> • Develops algorithms for production optimization and predictive maintenance

fonte: International Federation of Robotics