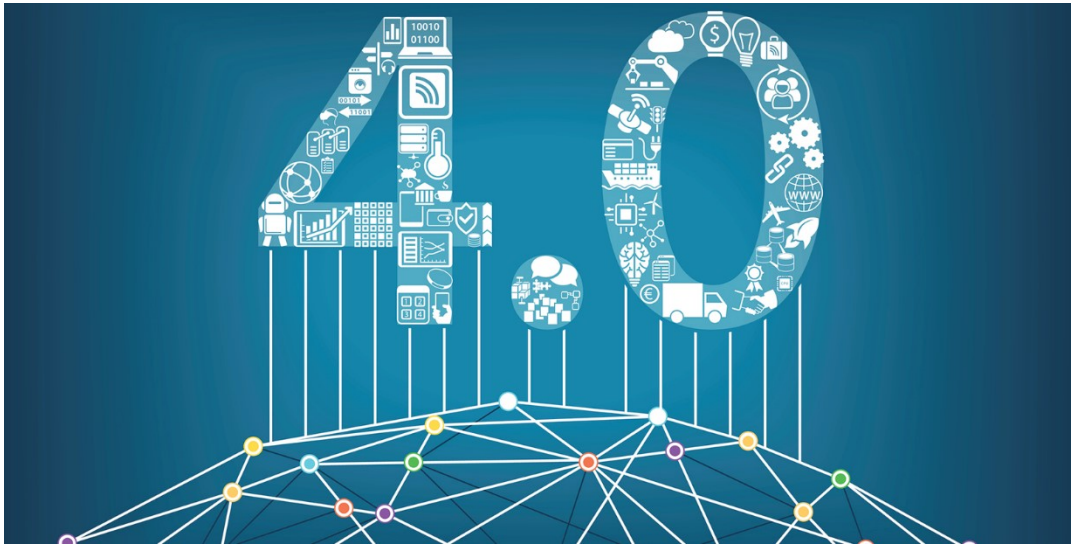
FONDAZIONE
BRUNO KESSLER

TECNOLOGIE DELLA QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE



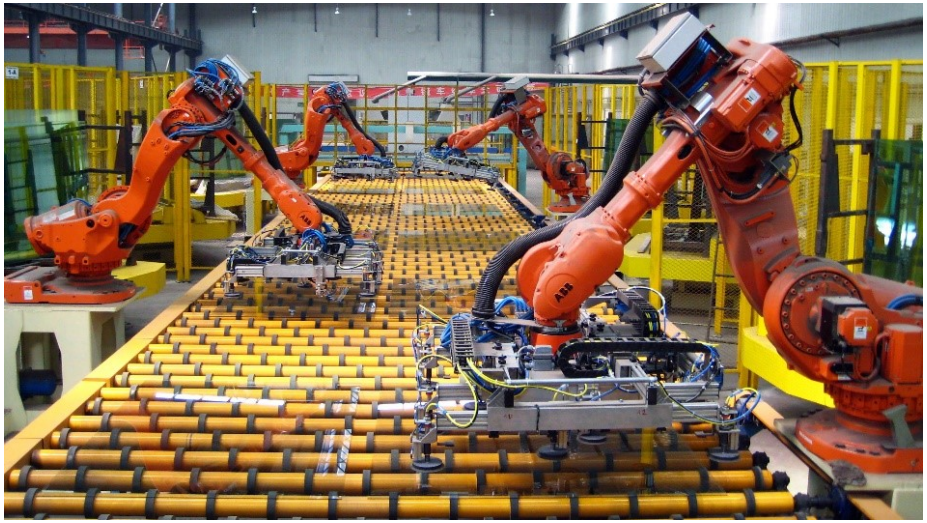
Marco Roveri – roveri@fbk.eu
Fondazione Bruno Kessler
Trento, Italy

Bolzano – 23 maggio 2018
Convegno IPL- Lavoro 4.0
La trasformazione digitale:
Grande fratello sul posto di lavoro?

Agenda

- Industrie 4.0: Introduzione
- Industria 4.0: Tecnologie abilitanti
- Alcune Esperienze in FBK
- Verso Industry 5.0?

An Industry Revolution: Industry 4.0



The manufacturing sector moves from a laborious mass production model to

- an integrated, seamless automated factory
- Digitalizing/virtualizing the entire product value chain,
- optimizing production processes
- the integration of networked communication systems.

[“Industrie 4.0”: Industry 4.0 Working Group, October 2012]

The German Working group

Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution

STRUKTURWANDEL: Zur Hannover Messe tritt die Initiative „Industrie 4.0" an die Öffentlichkeit. Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas, Wolfgang Wahlster, drei Vertreter aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft, zeigen im nachfolgenden Beitrag, wie der Paradigmenwechsel in der Industrie ablaufen wird. In der nächsten Dekade werden auf der Basis Cyber-Physischer Systeme neue Geschäftsmodelle möglich. Deutschland könnte hierbei „die erste Geige" spielen.

VDI nachrichten, Berlin, 1. 4. 11, ua

Sich als Produktionsstandort auch in einer Hochlohnregion behaupten zu können, wird zunehmend zu einer Schlüsselfrage im globalen Wettbewerb.

Im Gegensatz zu anderen Industrieländern ist es Deutschland in den letzten zehn Jahren gelungen, die Anzahl der Beschäftigten in der Produktion weitgehend stabil zu halten. Nicht zuletzt wegen des stark mittelständisch geprägten, aber hoch innovativen produzierenden Gewerbes hat Deutschland auch die wirtschaftlichen Auswirkungen der Finanzkrise besser gemeistert als viele andere.

Die Entwicklung und Integration neuer Technologien und Prozesse haben dazu wesentlich beigetragen.

Produktionsstandort bleiben heißt

Stellung insbesondere im Automobil- und Maschinenbau erarbeitet. Nun gilt es, den nächsten Schritt zum Internet der Dinge im industriellen Umfeld zu machen, damit Deutschland bis 2020 Leitanbieter auf diesem neuen Markt wird.

Durch die digitale Veredelung von Produktionsanlagen und industriellen Erzeugnissen bis hin zu Alltagsprodukten mit integrierten Speicher- und Kommunikationsfähigkeiten, Funksensoren, eingebetteten Aktuatoren und intelligenten Softwaresystemen entsteht hier eine Brücke zwischen virtueller („cyber space") und dinglicher Welt bis hin zur wechselseitigen feingranularen Synchronisation zwischen digitalem Modell und der physischen Realität.

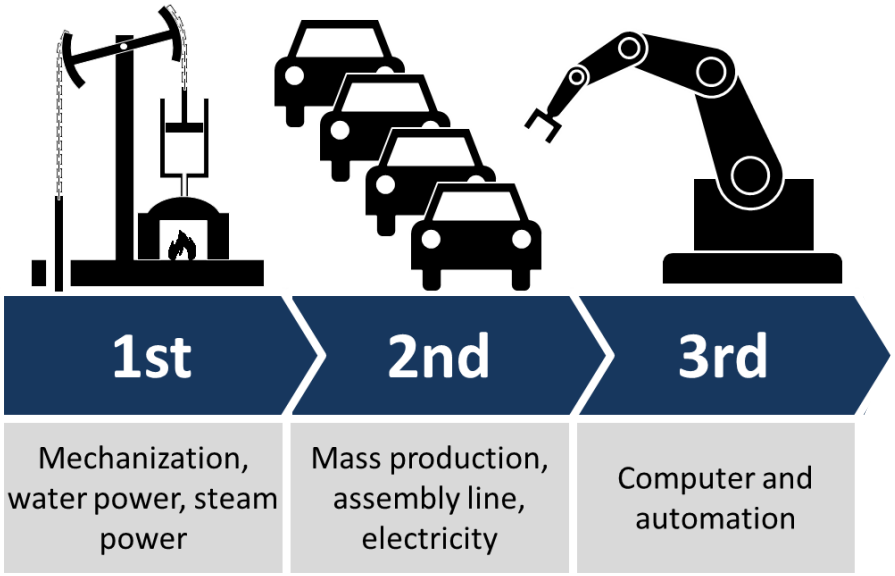
Bei der Entwicklung dieser Cyber-Physischen Systeme wird in Deutsch-

Wolfgang Wahlster, Chef des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz, Henning Kagermann, Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften, und Wolf-Dieter Lukas, Abteilungsleiter Schlüsseltechnologien im Bundesfor

"**Industrie 4.0**" high-tech strategy of the German government

- 2011: Idea presented at the Hannover Fair
- 2012: recommendations presented to the German federal government.
- 2013: final report of the WG presented at the Hannover Fair.

The 4th Industrial Revolution



Industry 4.0:

- systems controlled/monitored by computers,
- tightly integrated with the Internet and its users
- automation – IoT – Cloud Computing – Cognitive Computing

Piano Nazionale: Benefici Attesi

Industria 4.0: I benefici attesi

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

Formazione

Richiesta di Personale

- 32,570 laureati in meccanica, meccatronica e energia
- 3,350 laureati in elettronica e elettrotecnica
- 34,940 4-anni qualificazione meccanica
- 9,840 ingengneri elettronici
- 8,550 ingegneri industriali

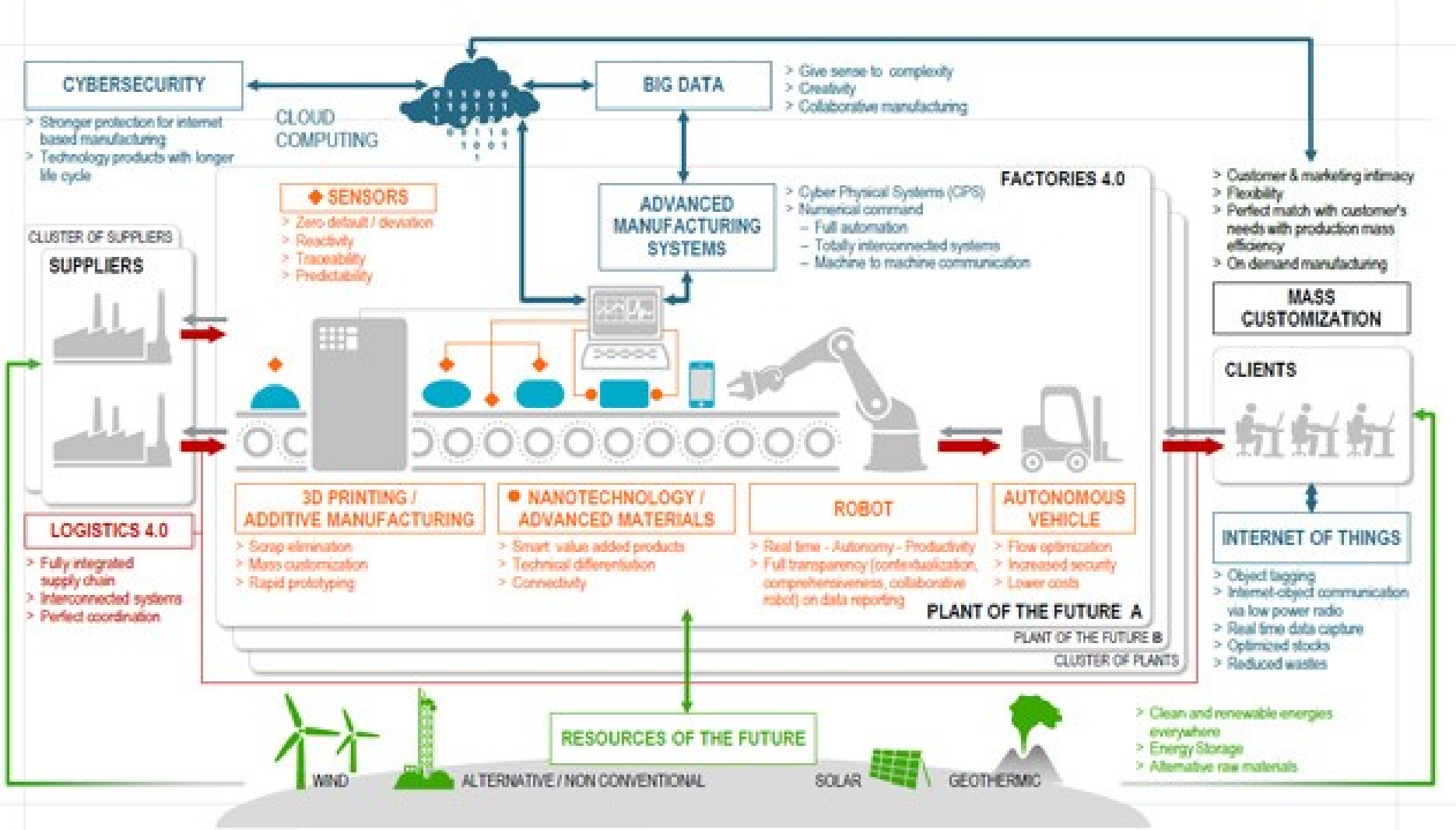
Le occupazioni più ricercate e difficili da trovare sono:

- Il personale addetto a supporto dell'assistenza e dell'installazione,
- Il personale adibito alla gestione delle machine a controllo numerico,
- Il personale specializzato nella lavorazione del metallo e in attività elettromeccaniche,
- Tecnici specializzati in informatica, ingegneria e produzione.

Agenda

- Industrie 4.0: Introduzione
- Industria 4.0: Tecnologie abilitanti
- Alcune Esperienze in FBK
- Verso Industry 5.0?

Industry 4.0: i suoi ingredienti

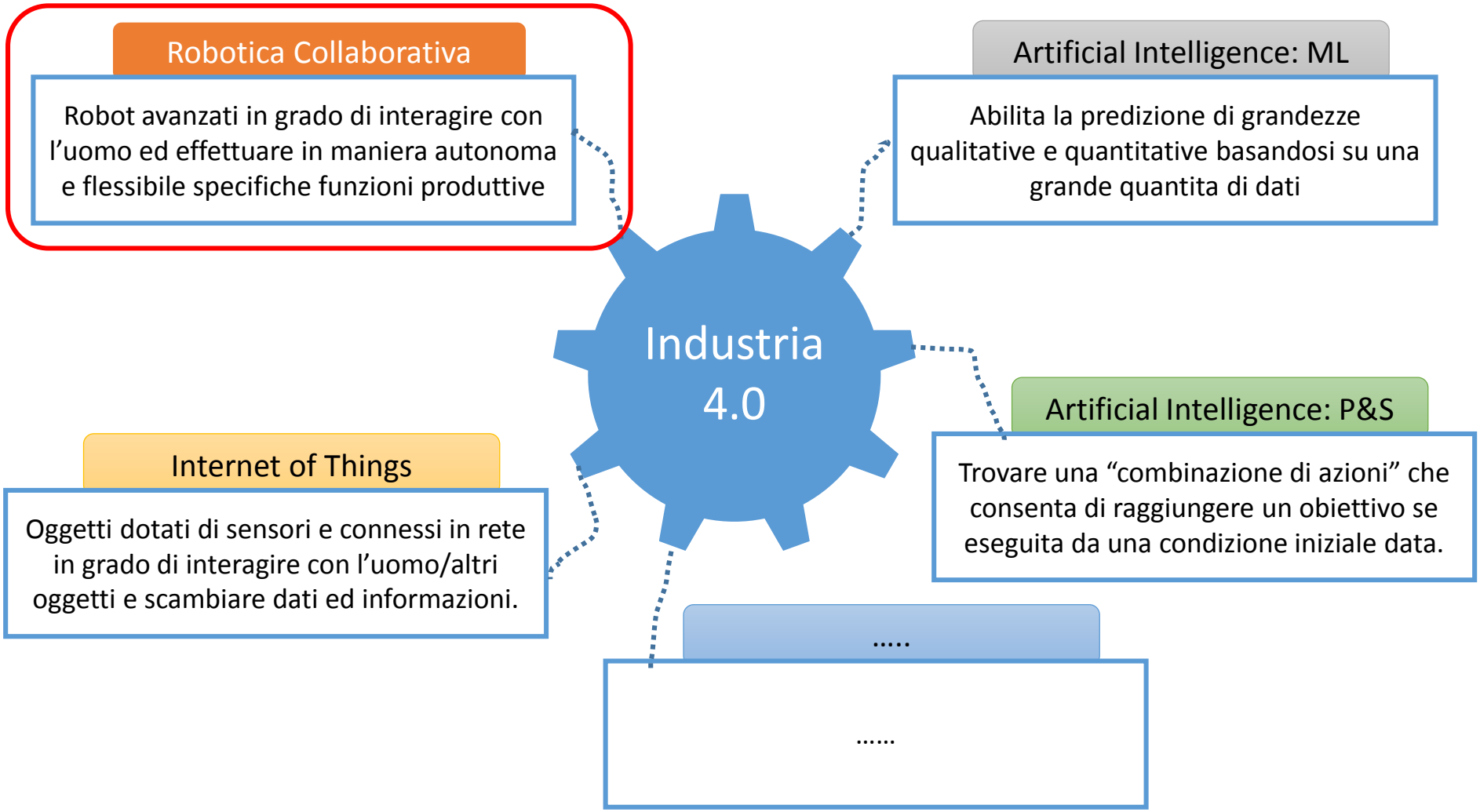


Industry 4.0: Tecnologie Abilitanti

Industry 4.0: Nine technology drivers

1. **Advanced Manufacturing Solutions**
   - Autonomous, cooperating industrial robots
   - Numerous integrated sensors and standardized interfaces
2. **Additive Manufacturing**
   - 3D printing, particularly for spare parts and prototypes
   - Decentralized 3D facilities to reduce transport distances and inventory
3. **Augmented Reality**
   - Augmented reality for maintenance, logistics, and all kinds of SOP
   - Display of supporting information, e.g., through glasses
4. **Simulation**
   - Simulation of value networks
   - Optimization based on real-time data from intelligent systems
5. **Horizontal/ Vertical Integration**
   - Cross-company data integration based on data transfer standards
   - Precondition for a fully automated value chain (from supplier to customer, from management to shop floor)
6. **Industrial Internet**
   - Network of machines and products
   - Multidirectional communication between networked objects
7. **Cloud**
   - Management of huge data volumes in open systems
   - Real-time communication for production systems
8. **Cyber-security**
   - Operation in networks and open systems
   - High level of networking between intelligent machines, products, and systems
9. **Big Data and Analytics**
   - Full evaluation of available data (e.g., from ERP, SCM, MES, CRM, and machine data)
   - Real-time decision-making support and optimization

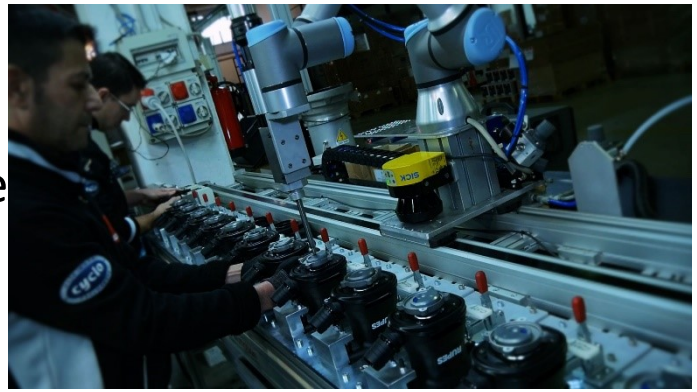
Industry 4.0: Tecnologie Abilitanti



Robotica collaborativa

- La robotica industriale tradizionale prevede che i robot siano racchiusi in gabbie di sicurezza ed autonomamente svolgano le loro mansioni ripetitive in modo rapido e preciso.
  - La gabbia serve per mettere in sicurezza il robot ma soprattutto il personale.
  - Si accede all'area di lavoro del robot solo quando esso è fermo/spento e quindi la zona (la cella di lavoro) è ritenuta sicura.

Robotica collaborativa



- Un **robot collaborativo** (coBot) è sicuro, facile da utilizzare, pensato per lavorare con la stessa forza e velocità del suo collega (un essere umano).
  - Un coBot è più lento e potente di un robot tradizionale.
  - Non ha bisogno di gabbie e/o barriere.
  - Ci sono quattro classi di requisiti di sicurezza che un robot collaborativo deve rispettare:
    - Arresto di sicurezza controllato
    - Guida manuale
    - Controllo di velocità
    - Limitazione di forza e potenza
  - Le caratteristiche principali
    - Sicuro per costruzione
    - Addestrato, non programmato
    - Adattivo, Flessibile e facilmente rilocabile
    - Facile da integrare, Accessibile ed Estendibile

Cobots vs robot tradizionali

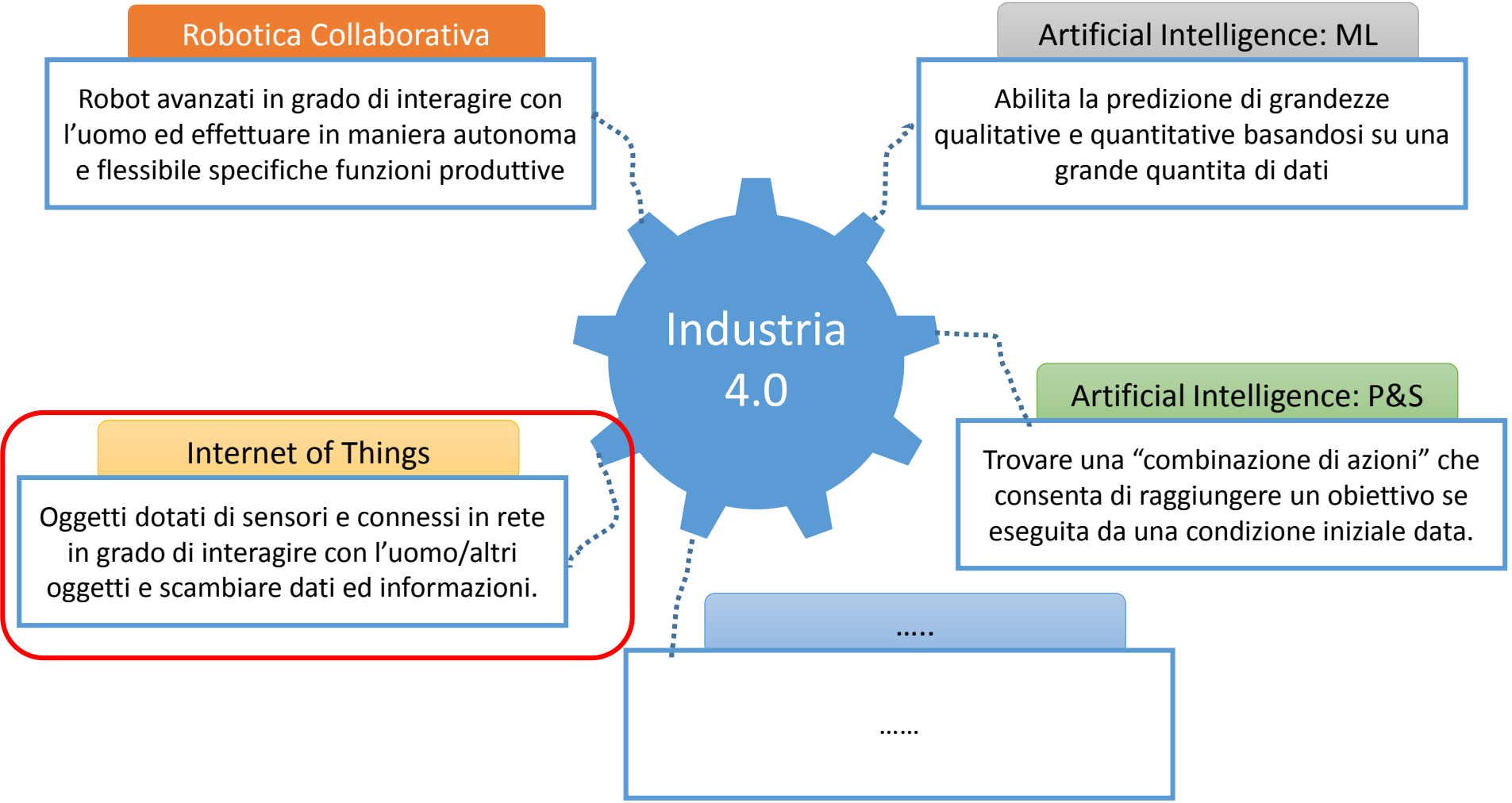
- Capisce le persone e l'ambiente in cui opera
- Sicuro rispetto ad un robot tradizionale
- Flessibile e facile da usare
- Attività eseguite similmente ad un umano
- Può essere addestrato per esempi
- Nessuna minima integrazione è richiesta
- Accessibile nei costi

- Ignaro dell'ambiente in cui opera
- Potenzialmente pericoloso per la sicurezza di un operatore umano
- Elevata precision e ripetibilità delle azioni
- Precise operazioni per il completamento delle azioni è richiesto
- Necessita di programmatori esperti
- L'integrazione con l'ambiente è costosa
- Il costo è elevato

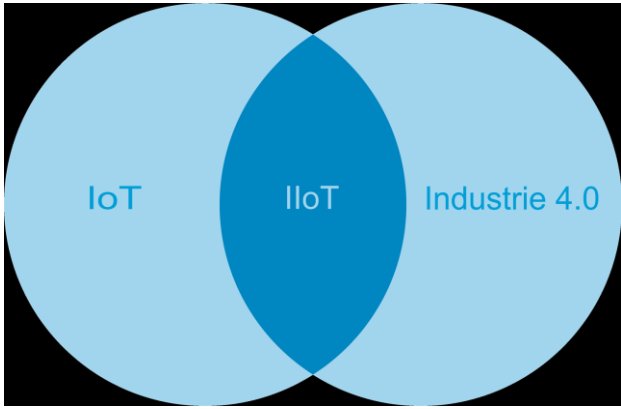
Robotica collaborativa

- E’ possibile «istruire» un cobot manualmente prendendolo letteralmente per mano e tracciando una traiettoria nello spazio.
  - Il robot collaborativo memorizzerà i punti attraversati della traiettoria in modo tale da poterla ripetere in maniera indipendente.
  - Auto apprendimento è permesso grazie a sofisticati algoritmi di I.A ed in particolare grazie all’utilizzo del deep learning (reti neurali)I
- l controllo della forza di un cobot è un elemento essenziale.
  - Tali robot sono programmati per fermarsi se incontrano una certa resistenza.
  - Si fermano appena registrano un valore eccessivo di forza nei giunti del braccio.

Industry 4.0: Tecnologie Abilitanti

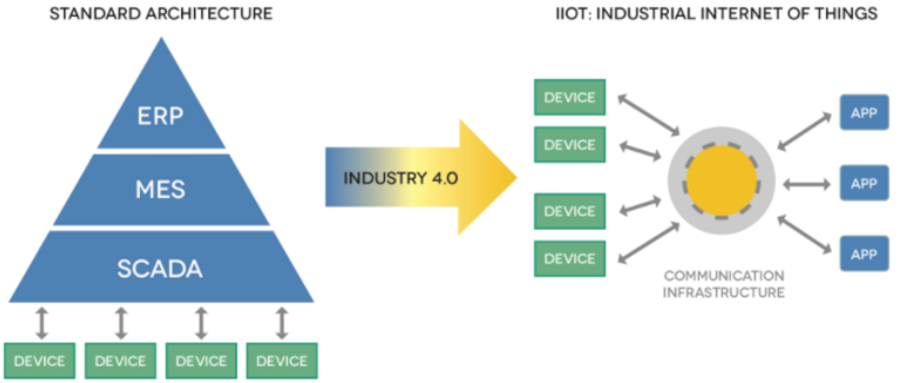


(Industrial) Internet of Things

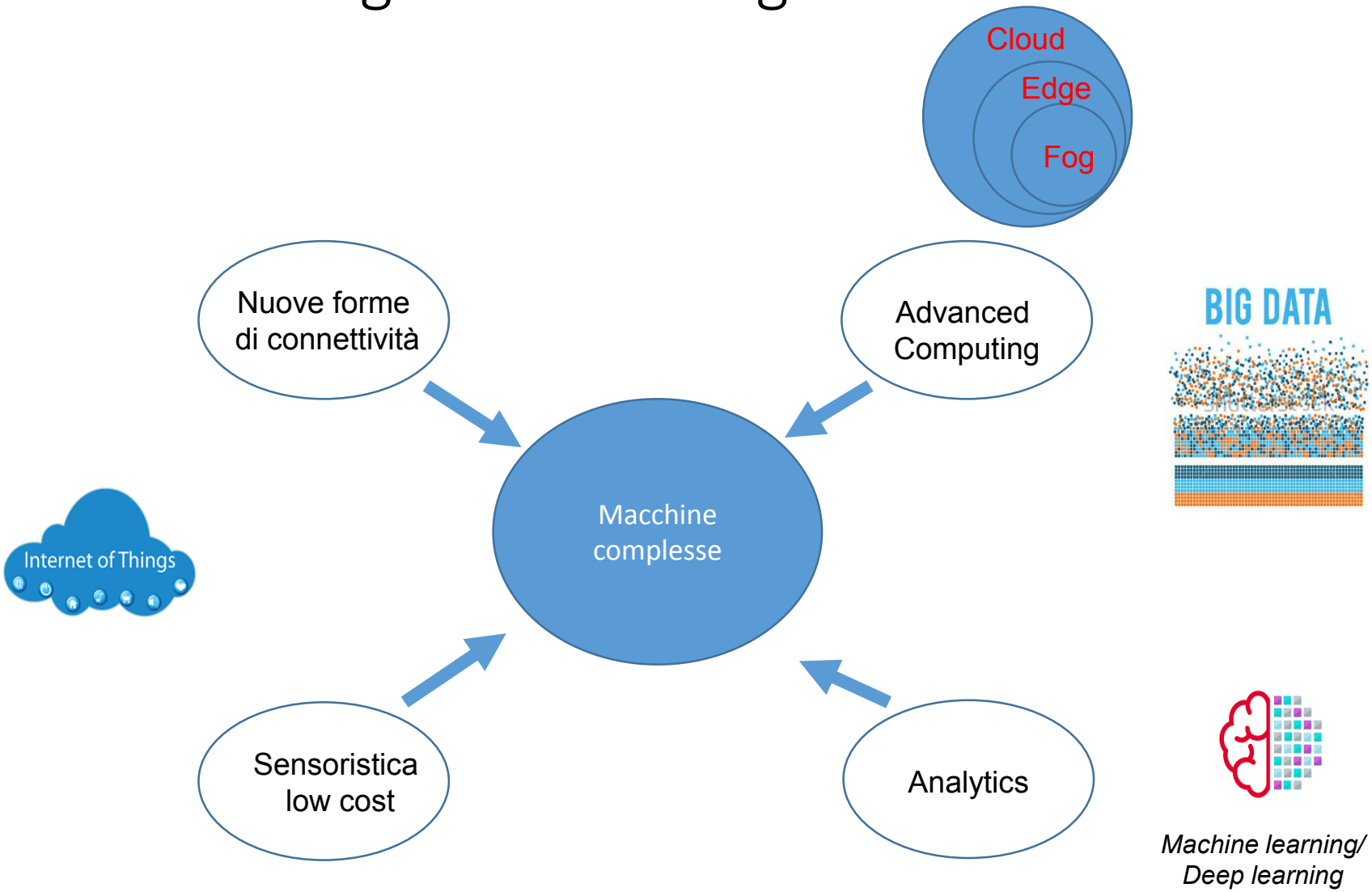


- Internet of Things (IoT)- è la rete di oggetti fisici resi accessibili attraverso Internet. Questi oggetti contengono tecnologia embedded per interagire con lo stato interno o con l'ambiente esterno.
  - Convenienza per i singoli consumatori. Non creano imeediatamente situazioni di emergenza.
  - Importanti ma non critici. Produttività umana. Dispositivi a livello consumatore: Consumer level-devices: wearable fitness tools; smart home thermometers.

- Industrial Internet Of Things (IIoT)- Connette il mondo dell'Industrial Things come sensori, attuatori, controllori, robot, etc a sistemi ad elevate capacità computazionali ed analitiche residenti su Internet-based storage.
  - Ritorno di investimento migliorando l'efficienza, la sicurezza, e la produttiv Spesso creando pericoli di vita o alter situazioni di emergenza. Mission critical. Produttività di macchina; Sistemi usati in contesti critici:
    - Manifattura, Aerospace, Energy



IIoT: convergenza tecnologica



IoT e Big Data Analysis nell' "Industrial Internet": benefici

- "*Servitization*" (dal prodotto al servizio)
- *Controllo remoto* dei processi (Connected Factory)
- Controllo in tempo reale dei *flussi produttivi* e del *magazzino*
- Controlli di *qualità* in tempo reale
- *Sicurezza* negli impianti produttivi
- Ottimizzazione della *Supply Chain*

- Analisi e *ottimizzazione* dei *processi produttivi*
- Monitoraggio di possibili *errori in produzione* (machine, operatori)
- Funzionalità di *manutenzione preventiva*
- Controllo ed ottimizzazione dei *consumi energetici*

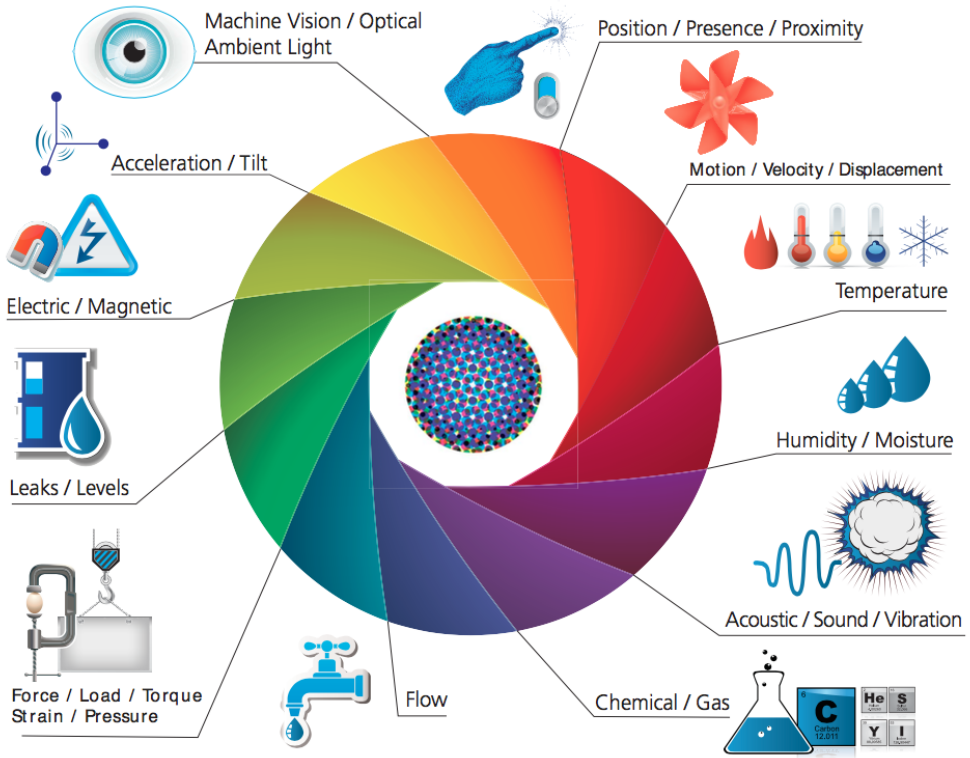
Componenti di una soluzione IoT

Source: *Postscapes*

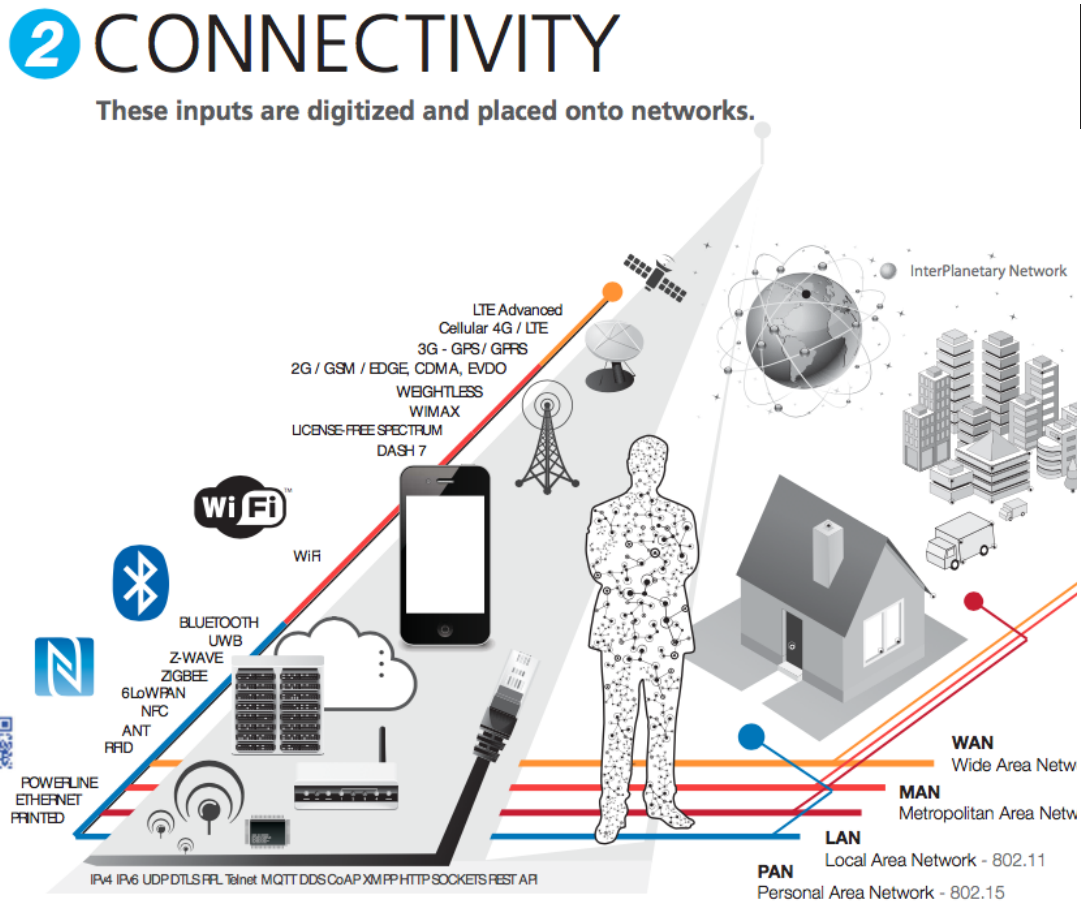
Sensori ed attuatori

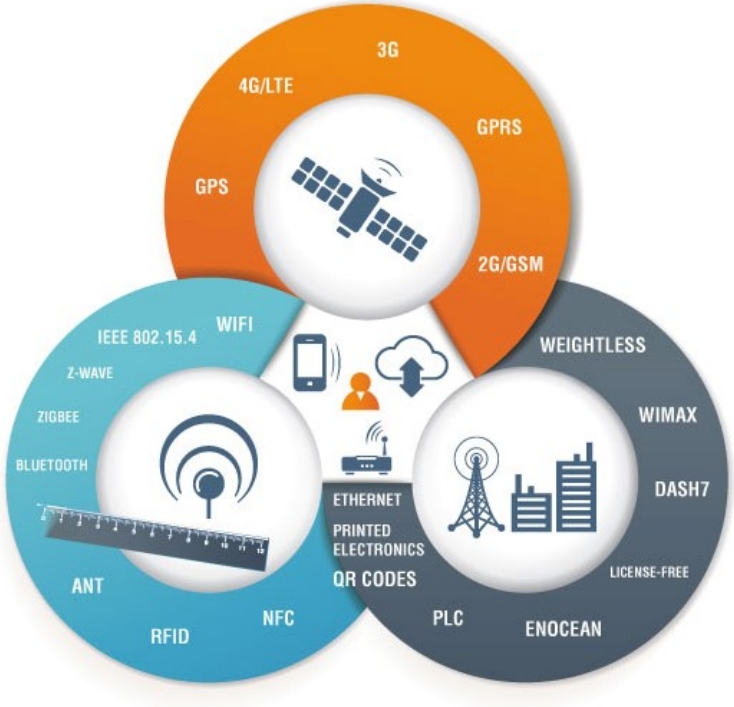
1 SENSORS & *ACTUATORS*

We are giving our world a digital nervous system. Location data using GPS sensors. Eyes and ears using cameras and microphones, along with sensory organs that can measure everything from temperature to pressure changes.

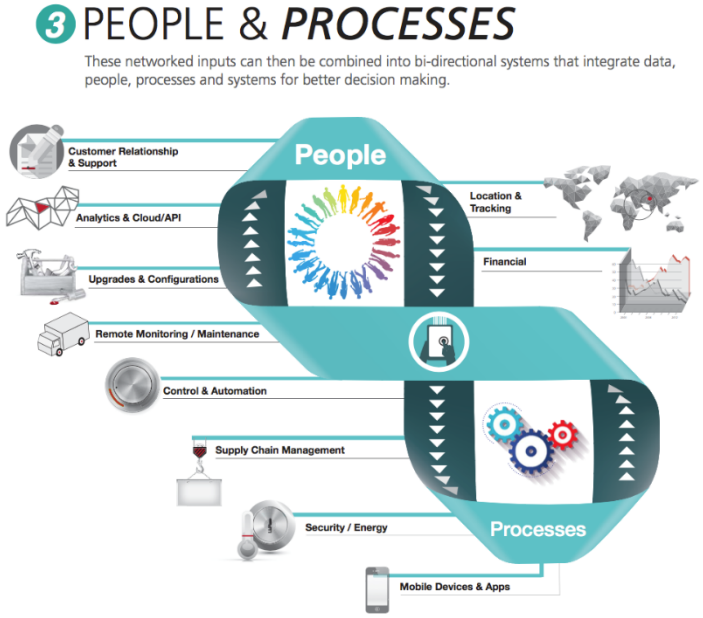


Opzioni di connettività

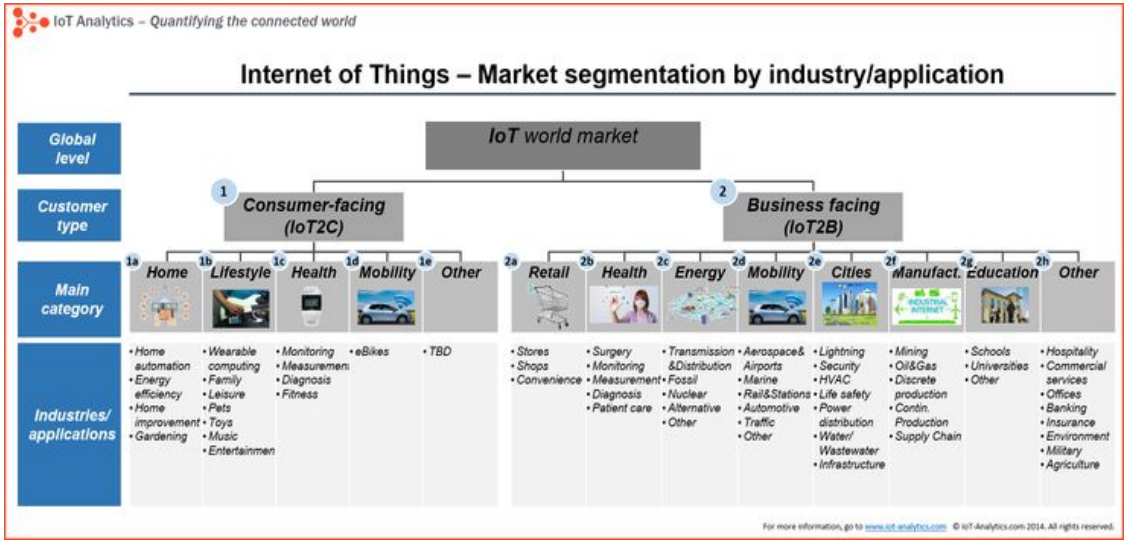




Persone e processi

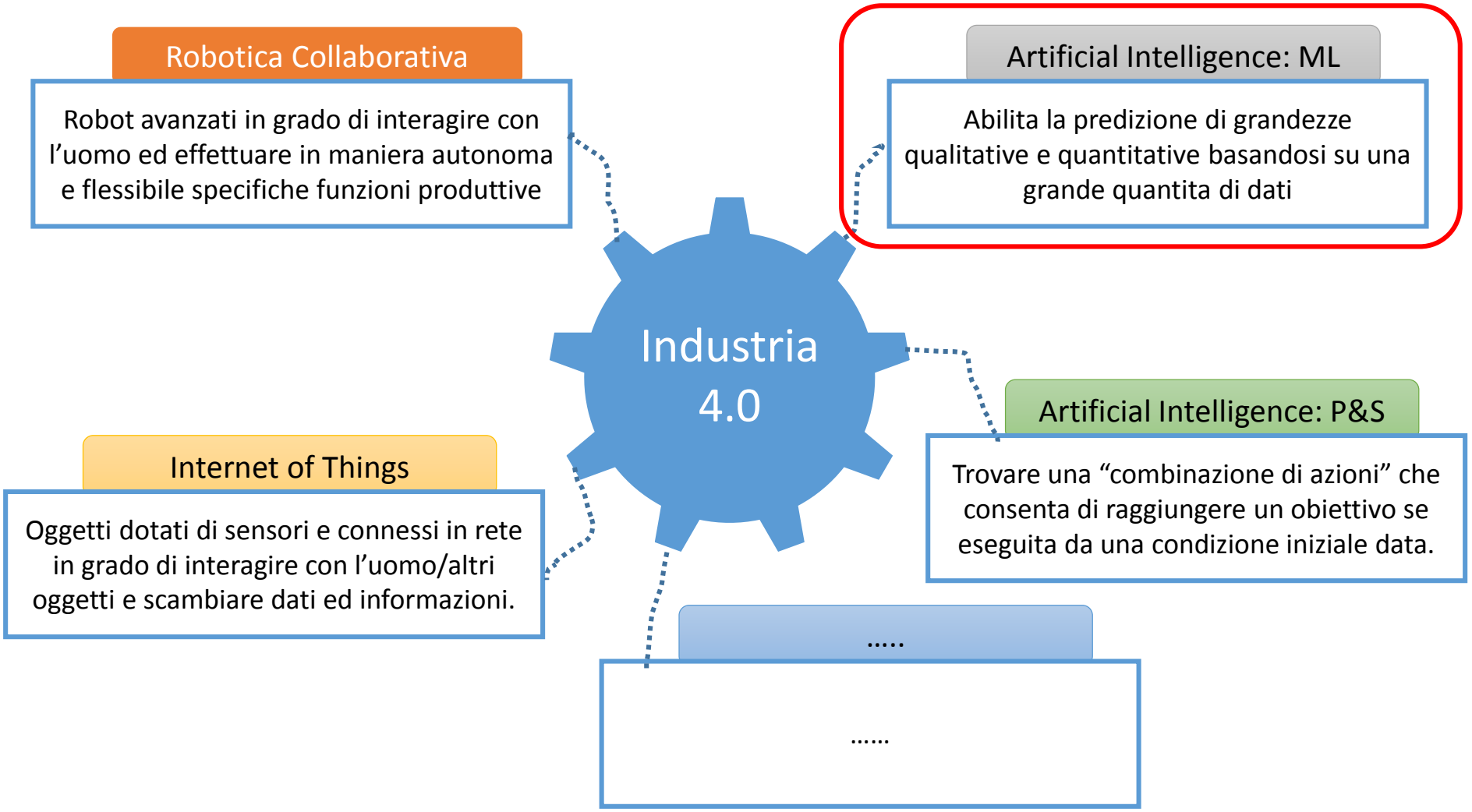


*Centralità del **dato,***
per estrarre valore dal contesto



***Pervasività** dell'IoT in tutti i domini applicativi*

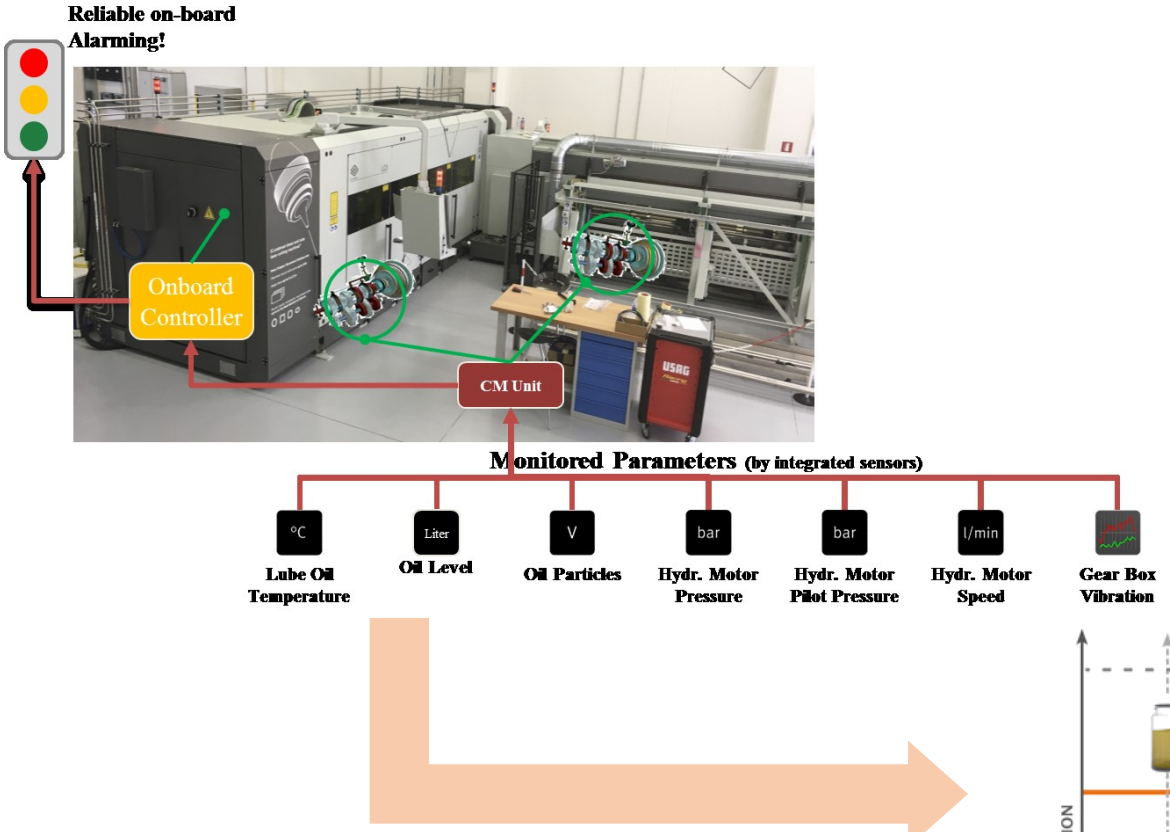
Industry 4.0: Tecnologie Abilitanti



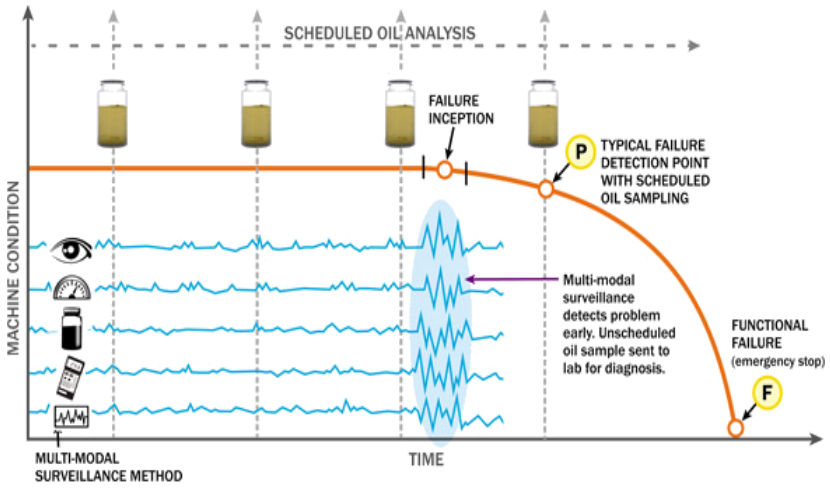
Artificial Intelligence for Industry 4.0

- E’ un termine che indica molteplici aree tematiche:
  - Machine learning/Deep learning
  - Natural language process (NLP)
  - Computer vision e Image/Video recognition
  - Gesture control
  - Robotics
  - Cognitive computing
  - Planning e scheduling
  - Realtà aumentata, realtà virtuale
  - Sistemi esperti
  - Percezione avanzata (mixing tecnologie differenti e.g. video, audio, …)
  - …

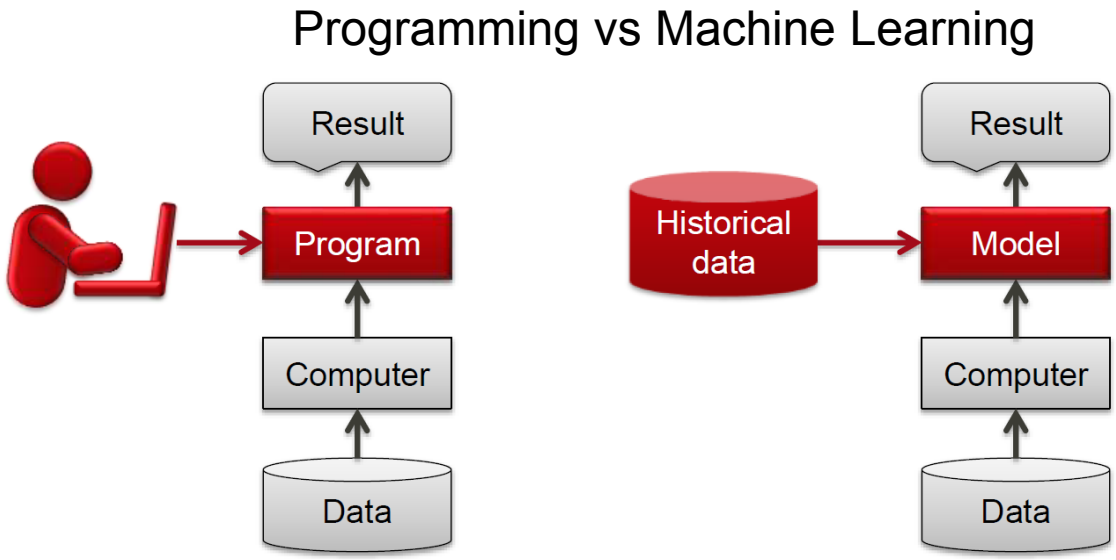
Artificial Intelligence: machine/deep learning



Tipicamente effettuata manualmente da un operatore umano usando strumenti di misura, o semi-automaticamente usando regole o programmi.



Artificial Intelligence: machine/deep learning



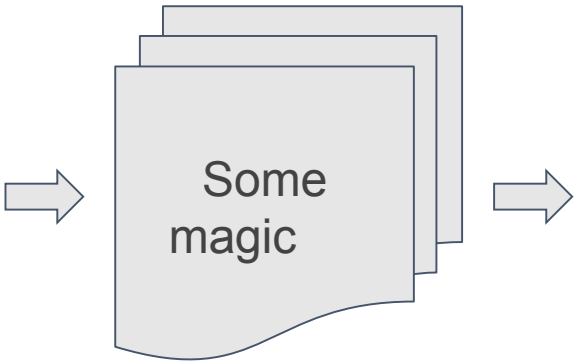
- Machine learning consente di fare predizioni basandosi su un enorme quantità di dati.
- Questo area dell'Intelligenza Artificiale costruisce sul concetto di riconoscimento di modello, e ha l'abilità di generare conoscenza dall'esperienza pregressa in modo indipendente.
- Questo è il motivo per cui sta avendo così grande successo nei processi industriali.

Machine (deep) learning approach

Input

Raw data (eg vibration, temperature, image, video,…) about

1. the behaviour of n components (often obtained by ad hoc platforms) until degradation.
2. Current (n+1) running component



Output

Prediction on:

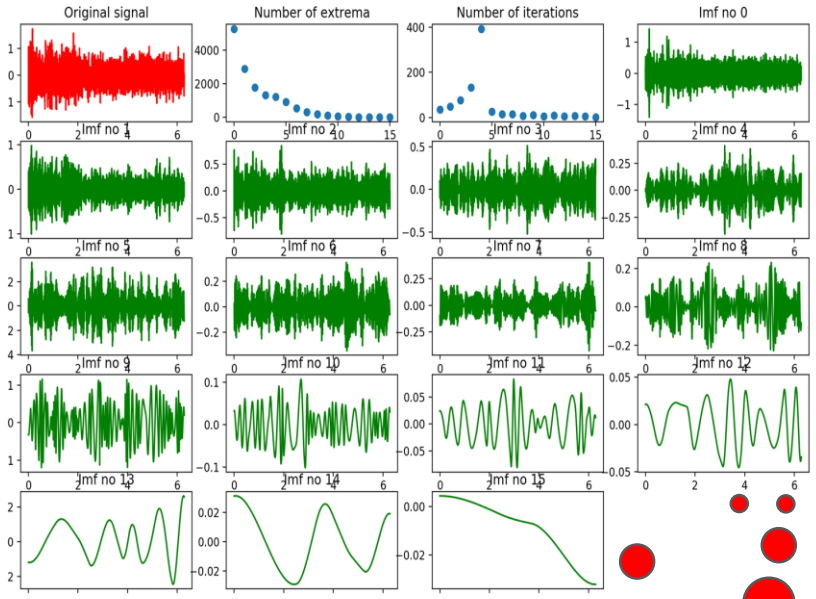
1. Health condition (good/degrading/bad/…)
2. Remaining useful life (RUL)
3. Cause of fault
4. …

Innovation: multi-task prediction. Deep Learning can estimate multiple target functions

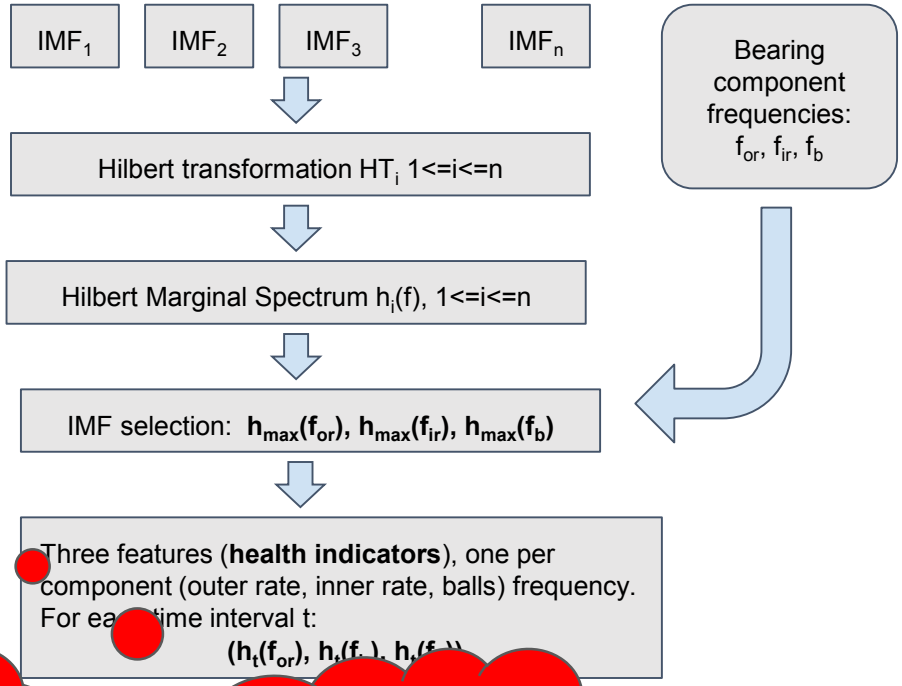
1. Data pre-processing
2. Learn to classify (a function estimated by a ML technique) or estimate RUL (support vector regression), identifying most relevant features
3. Or directly encode hundreds of time series into a compact internal representation to develop estimators

Pre-processing and feature extraction

Step 1: IMF Decomposition through EMD



Step 2: Health Indicator Computation

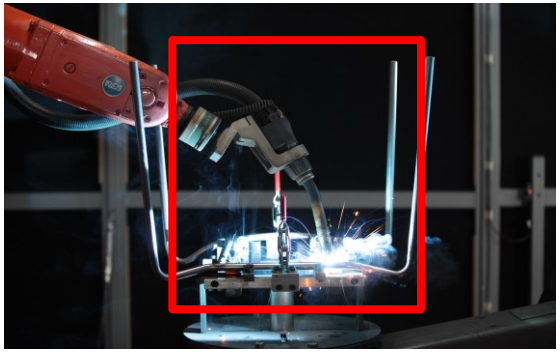


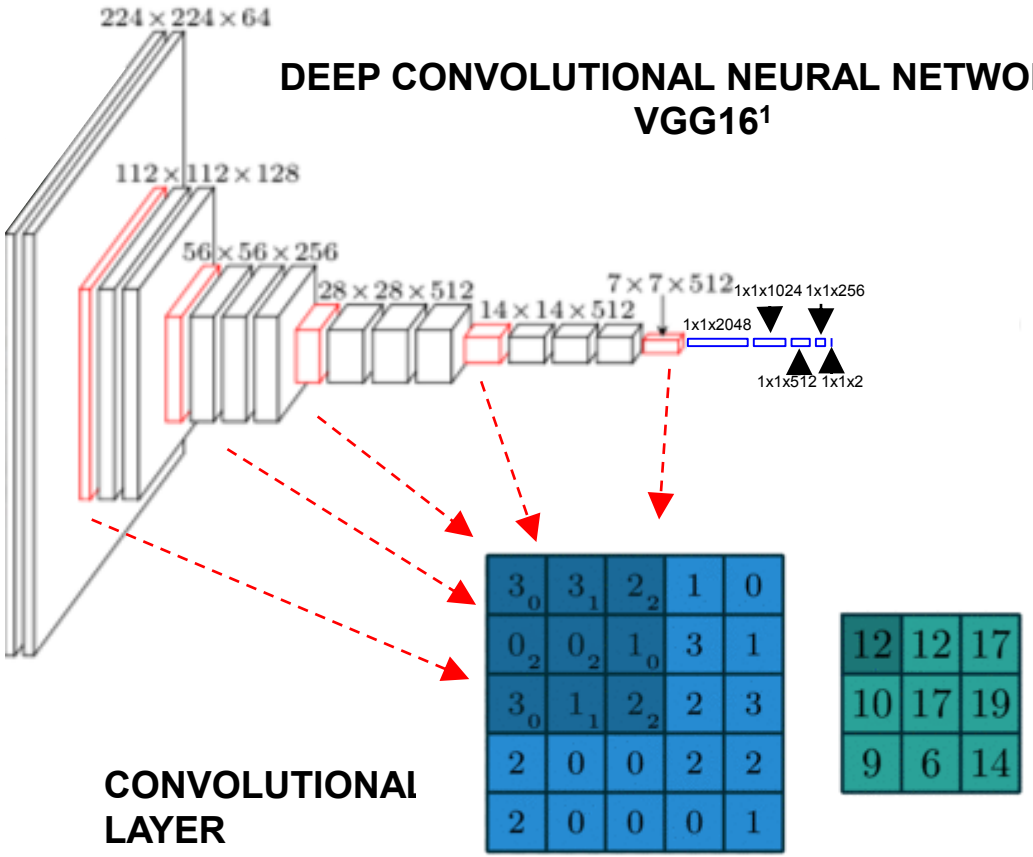
Domain Expert

DSP Expert

Data scientist

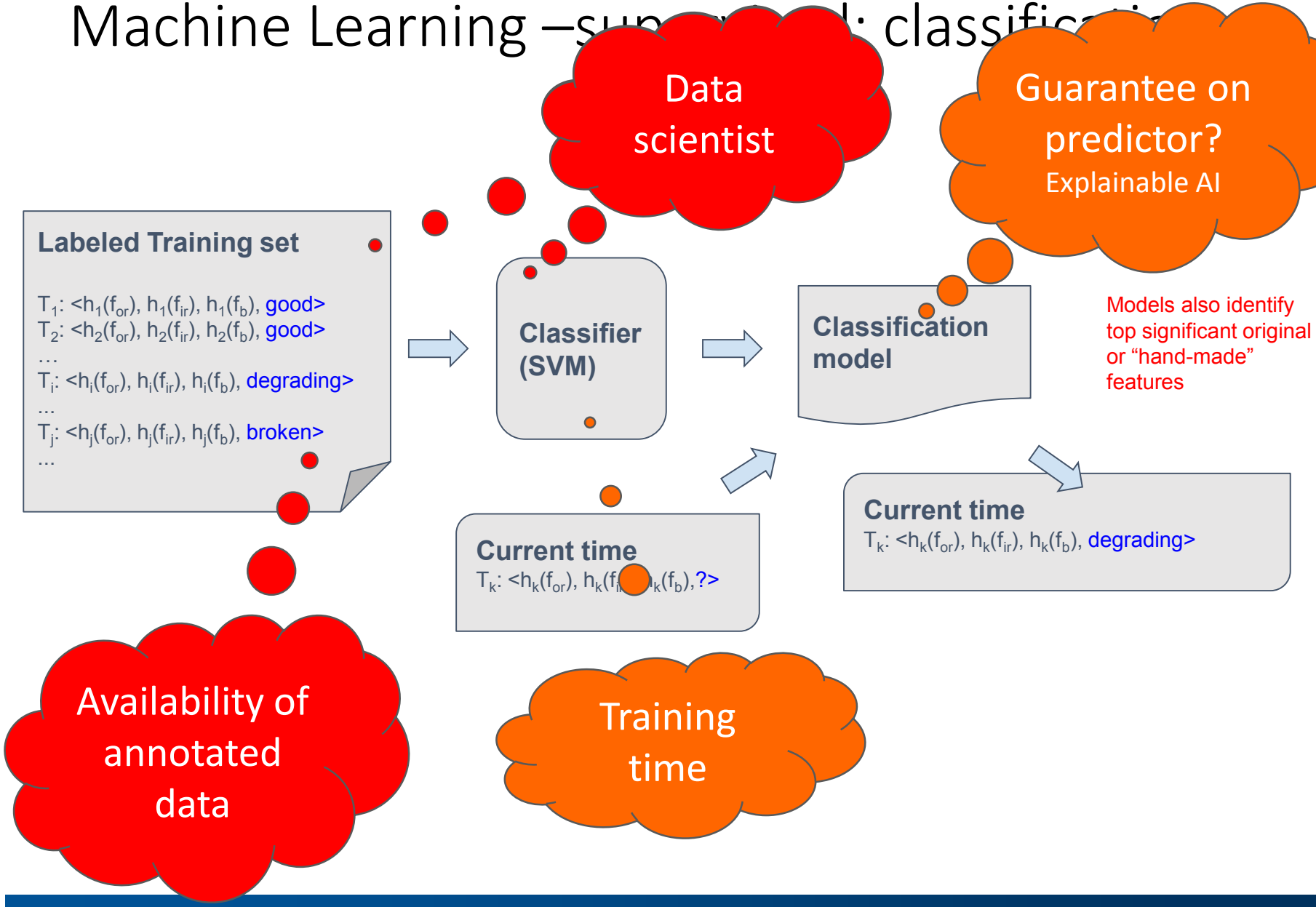
Deep Learning: features from raw data



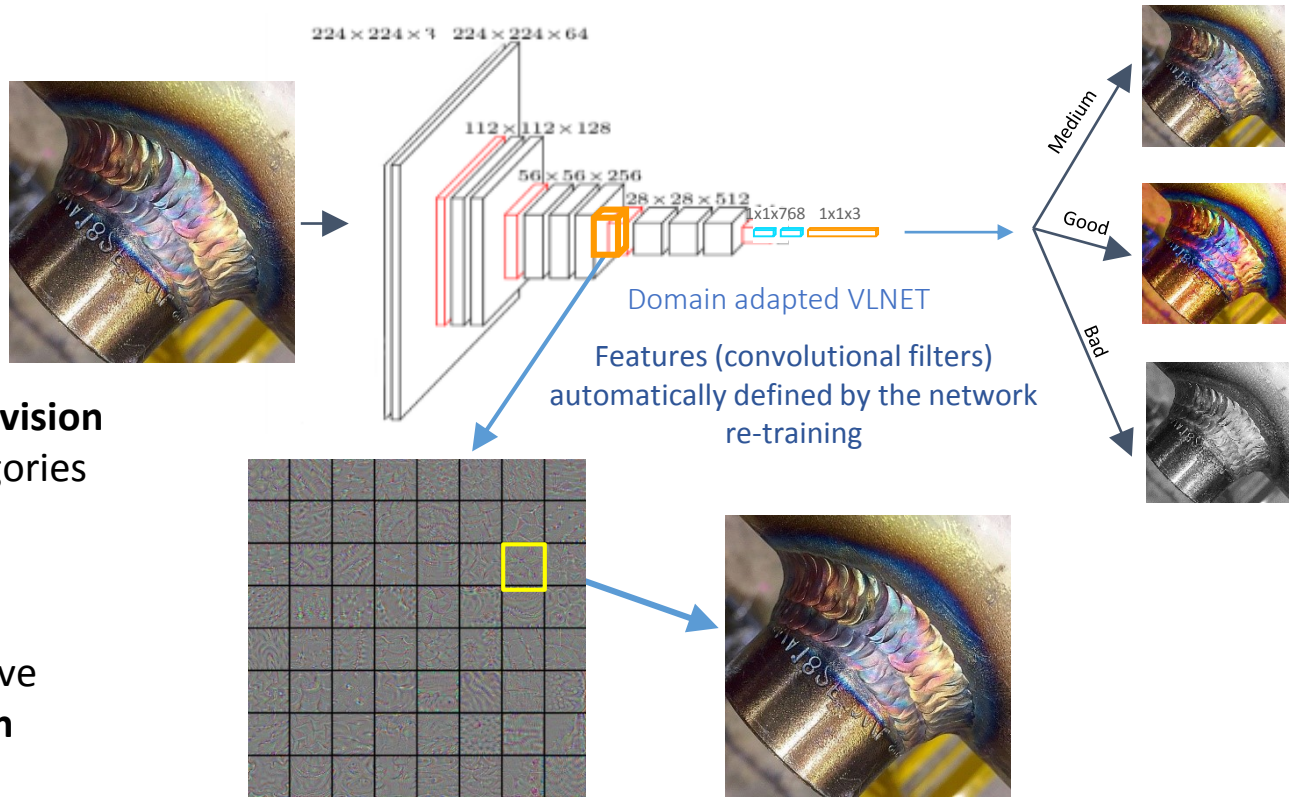


[1]K. Simonyan, A. Zisserman Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition

Machine Learning –sup[illegible]: classifica[illegible]



Deep Learning: classification



GOAL

- **Classify by spectrometry + vision** welded objects into 3 categories (Good, Medium, Bad)

- Objective & shared QC
- Portable and Non-destructive
- **Low-cost for large adoption**

- **Smartphone and mobile first with a cloud solution**

Learning to predict quantitative information (e.g. Remaining Useful Lifetime)

Training sets

$\{<h_{i-nr}(f_{ir}), \ldots, h_{i-r}(f_{ir}), h_i(f_{ir}), h_{i+1}(f_{ir})>\}$

$\{<h_{i-nr}(f_{ir}), \ldots, h_{i-r}(f_{ir}), h_i(f_{ir}), h_{i+2}(f_{ir})>\}$

.....

Regression (SVR)

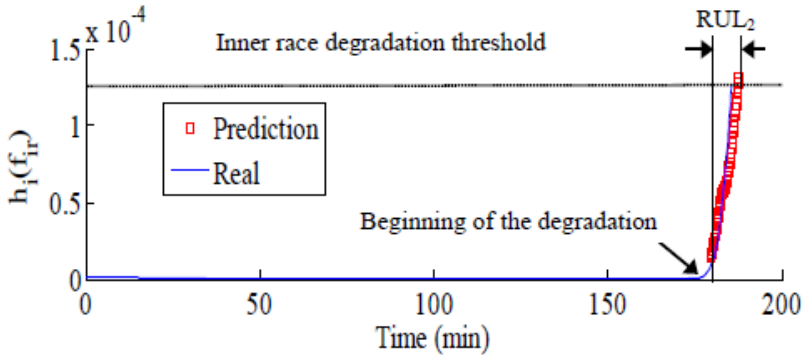
Regression models

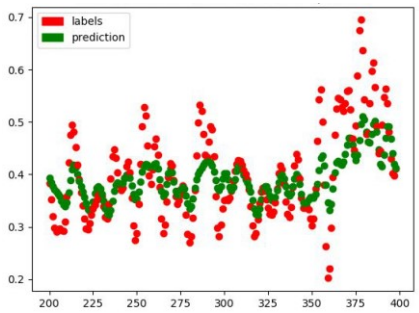
Current trace

$h_{k-nr}(f_{ir}), \ldots, h_{k-r}(f_{ir}), h_k(f_{ir}), ?$

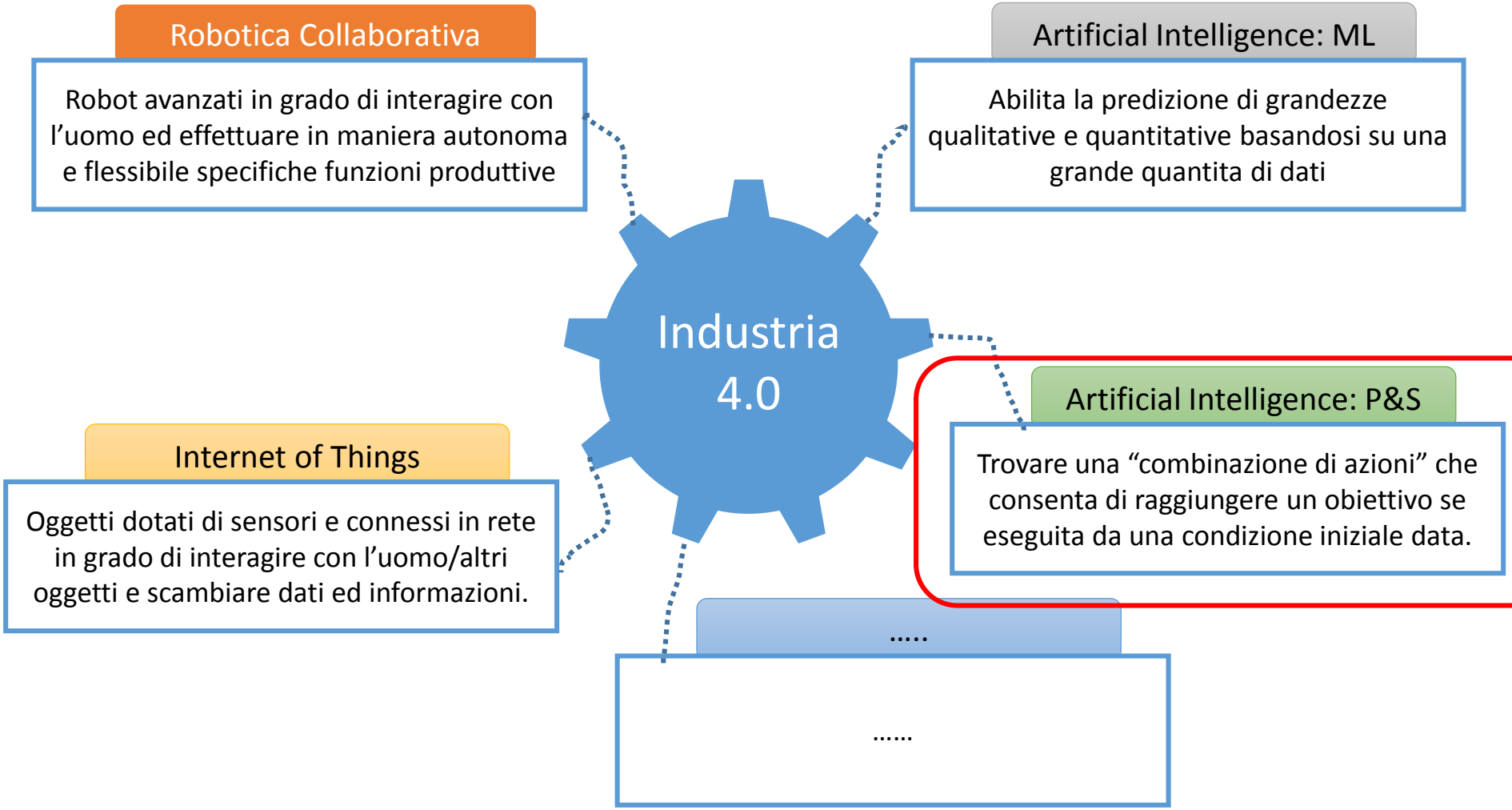
Current trace

$h_{k-nr}(f_{ir}), \ldots, h_{k-r}(f_{ir}), h_k(f_{ir}), h_{k+1}(f_{ir}), h_{k+2}(f_{ir}), \ldots$

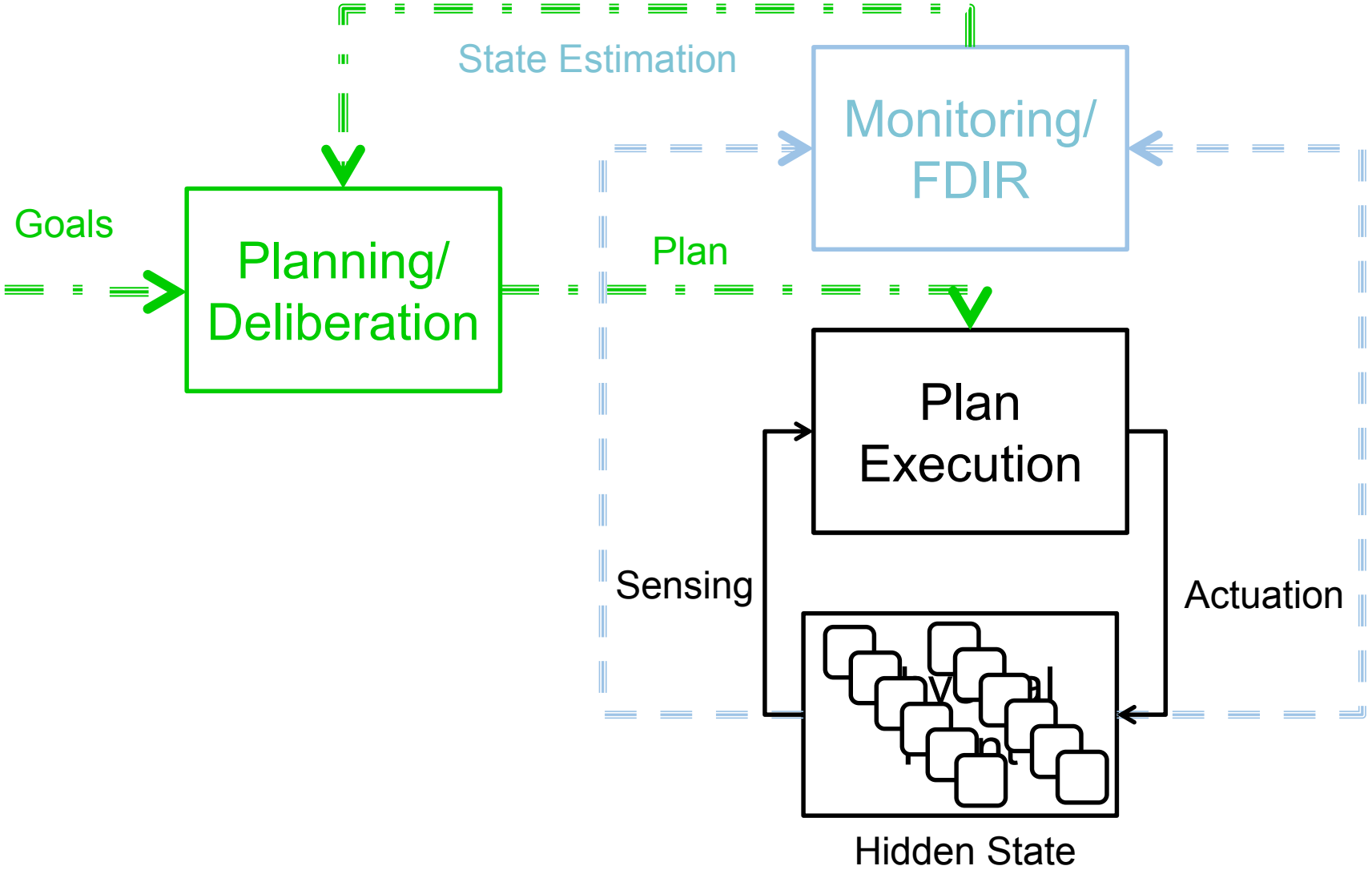




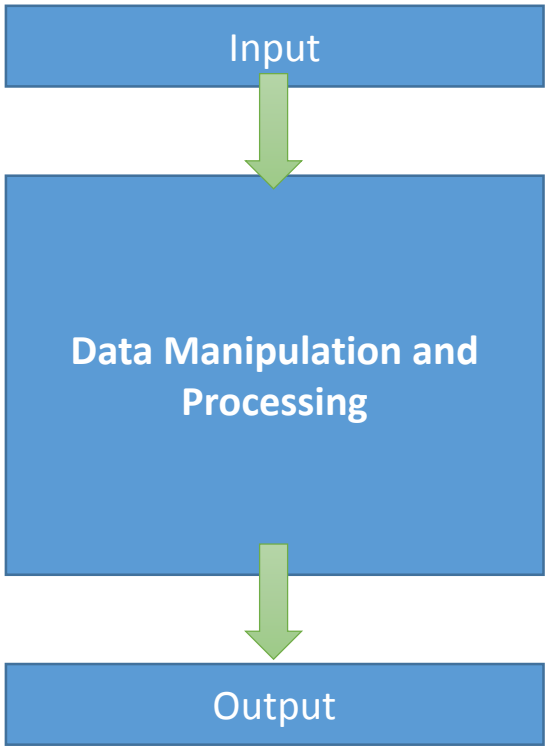
Industry 4.0: Tecnologie Abilitanti



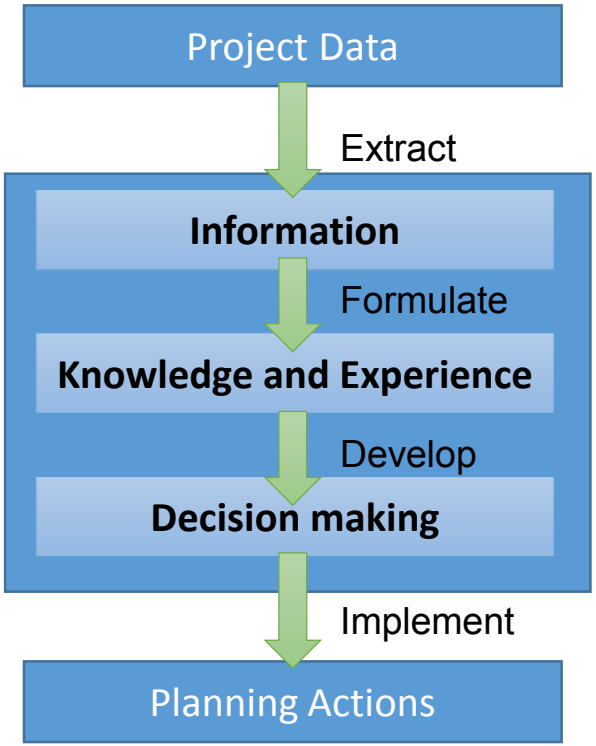
Artificial Intelligence: Planning e Scheduling



Artificial Intelligence: Planning e Scheduling



Trasformazione di input in output



Trasformazione di dati in azioni da programmare nel tempo

Componenti di un sistema di Planning e Scheduling

- Scegliere la regola migliore da applicare sfruttando la migliore informazione disponibile
- Applicare la regola scelta per generare un nuovo stato che risulta dall'applicazione della regola stessa
- Capire quando una soluzione è stata trovata
- Identificare vicoli ciechi per abbandonarne l'esplorazione per direzionare la ricerca di una soluzione in direzioni più promettenti.
- Indentificare quando si è trovata una soluzione «quasi corretta» per poi usare tecniche speciali per renderla completamente corretta

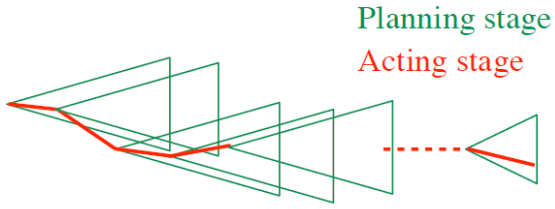
Artificial Intelligence: Planning e Scheduling

- Trovare una “combinazione di azioni” che consenta di raggiungere un obiettivo se eseguita da una condizione iniziale data:

  Dato
  - Un insieme di descrizioni delle operazioni (azioni primitive di un agente)
  - Una descrizione dello stato iniziale
  - Una descrizione degli obiettivi da raggiungere

  Calcolare un piano
  - Una “sequenza” di instanze delle operazioni, tali che se eseguite nello stato iniziale cambieranno lo stato del mondo fino a raggiungere uno stato che soddisfi la descrizione degli obiettivi da raggiungere.

- Alla base del controllo di agenti intelligenti: robot, impianti di produzione flessibili, ERP, …
  - L’agente è posizionato in un ambiente dinamico e impredicibile
    - Adatta azioni alla situazione corrente
    - Reagisce ad eventi
  - Si appoggia su
    - Operational models che dicono come effettuare una azione
    - Osservazioni dello stato corrente



Artificial Intelligence: Planning e Scheduling

- Si basa su un modello matematico preciso delle azioni e del loro effetto sull'ambiente, dello stato dei componenti da controllare, e dell'ambiente stesso.
- Consente di ottimizzare il piano, basandosi su ragionamento matematico.
- Consente di costruisce un piano che tiene in conto dei goal e di eventuali limitazioni e vincoli, e di eventuali usi di risorse nel tempo.
- Consente l'analisi delle implicazioni o decisioni alternative, di evidenziare problemi e conseguenze, e di pianificare e schedulare le diverse azioni in modo da raggiungere gli obiettivi.
- Può raccomandare una soluzione migliore che tiene in considerazione diverse grandezze fisiche (risorse quali e.g. consumo batteria, …)
- Abilita a prendere decisioni in real time e analisi e raggiungimento di KPI predefiniti.
- Abilita la cosiddetta «what if analysis» per valutare l'impatto di diverse soluzioni e vincoli.
- Sfrutta diverse tecnologie:
  - Algoritmi di ricerca, tecniche di ottimizzazione, programmazione lineare, genetic programming, teoria dei vincoli, ricerca euristica, …

Agenda

- Industrie 4.0: Introduzione
- Industria 4.0: Tecnologie abilitanti
- Alcune Esperienze in FBK
- Verso Industry 5.0?

Industria4.0 in FBK: Polo Meccatronica Rovereto

Formazione	Innovazione	Impresa
• Superamento del divario tra i mondi **istruzione-imprenditoria**	• **Trasferimento tecnologico** • Servizi di accompagnamento per lo **sviluppo** delle capacità di **innovazione** delle aziende	• Operare per promuovere una **crescita competitive** delle imprese • Alto potenziale di **attrazione** • Sviluppo di **cluster dedicati**

POLO MECCATRONICA

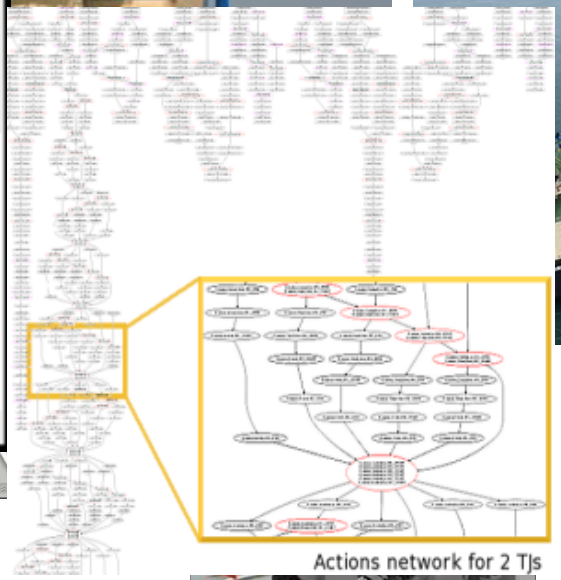
[Pro]M MECHATRONICS PROTOTYPING FACILITY

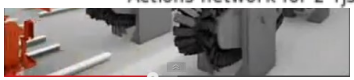
Industria 4.0 in FBK: Progetto con azienda avionica

Verifica sistema di frenatura AIR6110

Industria4.0 in FBK: Progetto con azienda Oil&Gas

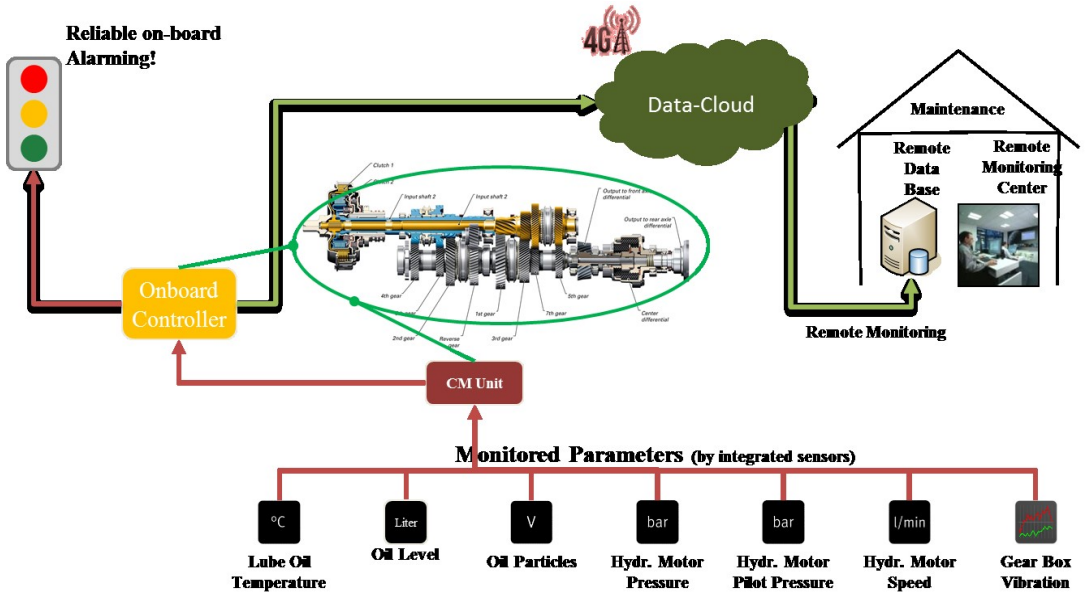
Saldatura Automatica Tubi a bordo di nave posatubi

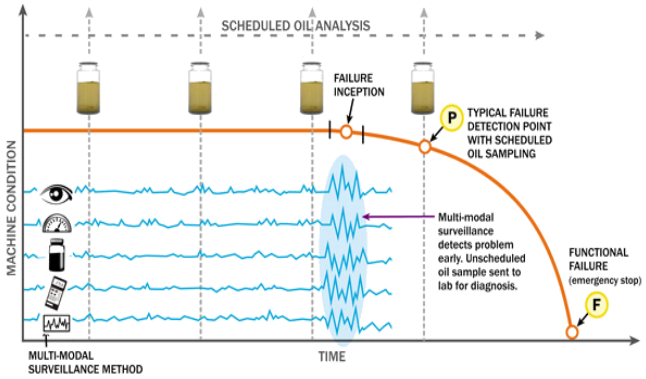




Industria4.0 in FBK: Progetto con SME di automazione

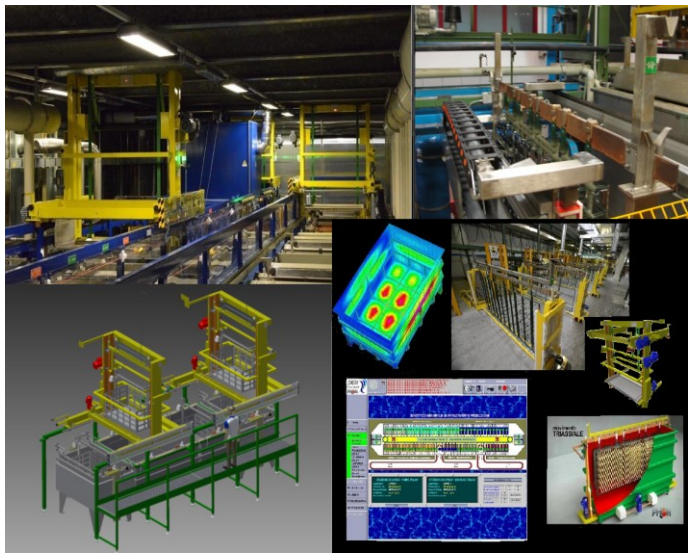
- Sistema integrato di monitoraggio per la manutenzione predittiva di machine complesse (e.g. motoriduttori con cuscinetti a sfera) sfruttando una infrastruttura **Industrial IoT-enabled**, **model based reasoning**, **machine learning**, and cloud computing, assicurando **sicurezza** dei dati (per impedire accessi e operazioni costose in modo fraudolento).

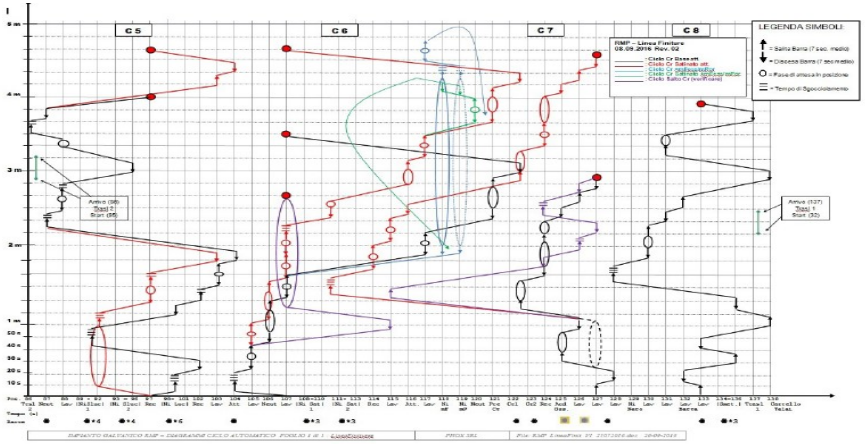




- Trasformare dati in azionamenti intelligenti;
- Sfruttare ragionamento model based e machine learning per l'analisi di grandi moli di dati;
- Analisi cloud-based per allarmistica in tempo reale e predizioni a medio termine;
- Assicurare la sicurezza dei dati monitorati (rotazione, temperatura, frequenze, …);

Industria4.0 in FBK: Phox Eng
Progettazione e costruzione impianti galvanici



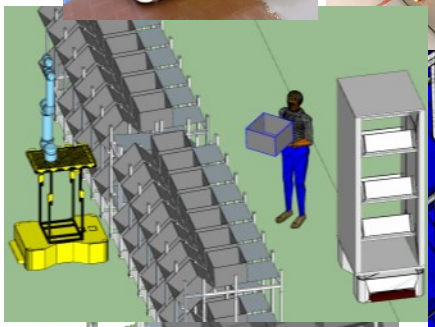


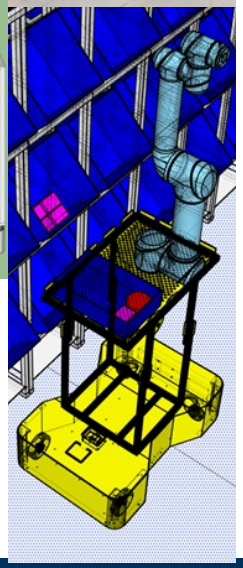
Industria 4.0 in FBK: iLAADR/iLEVATOR

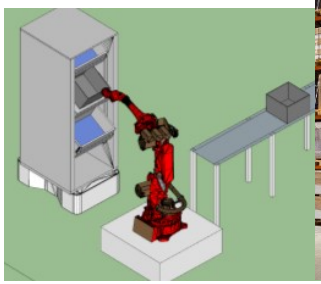
intraLogistics Enabled by autonomous Vehicles cooperATing with Operators and Robots

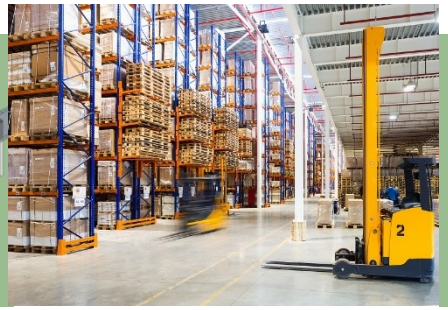
- Use of low cost, IoT-enabled, network of Automated Guided Vehicles with CPS modules and robotic manipulations to:
  - Intra-logistic management within plant;
  - Enable automated replenishment;
  - Support for complex event detections and handling;
  - Autonomously reconfigure the internal flow;
  - Simplify the Human-robot interaction at line side;
- Final clients are manufacturing company operating complex inbound flows and manufacturing tasks.

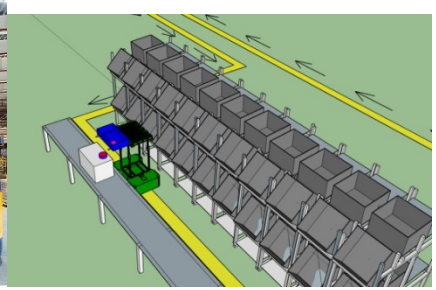
Internal Logistics with Automated Autonomous Delivery and Replenishment

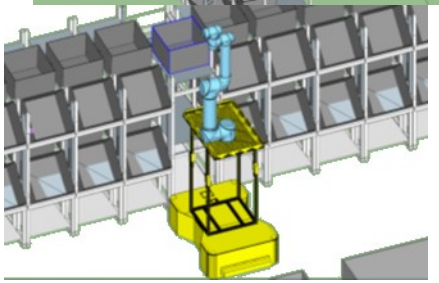








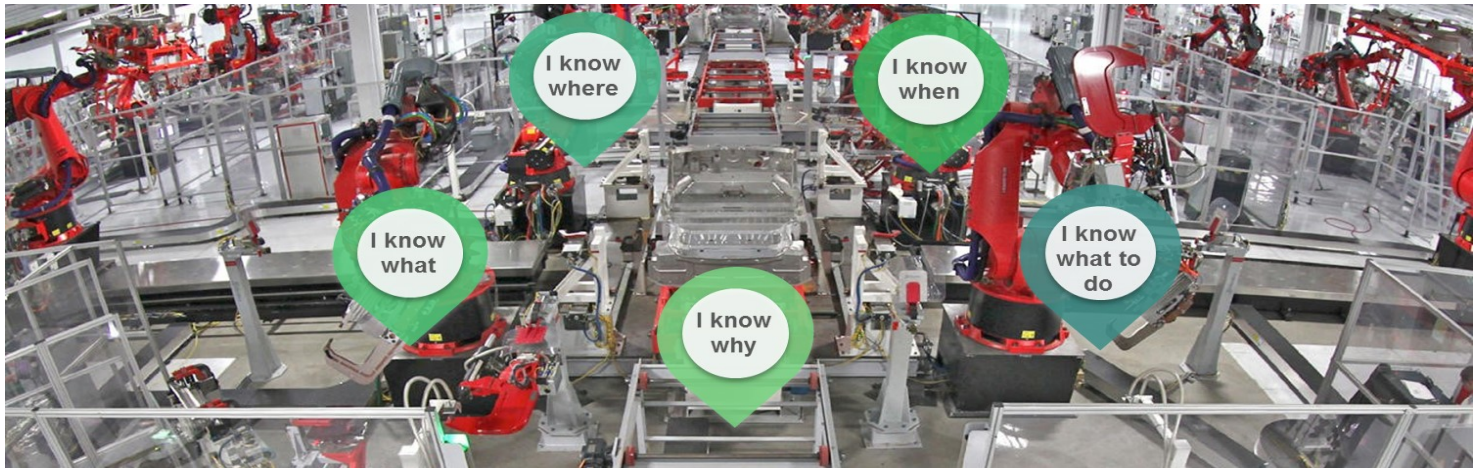


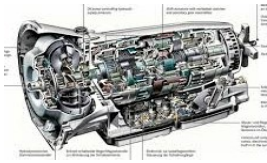


Industria 4.0 in FBK: ALMeS

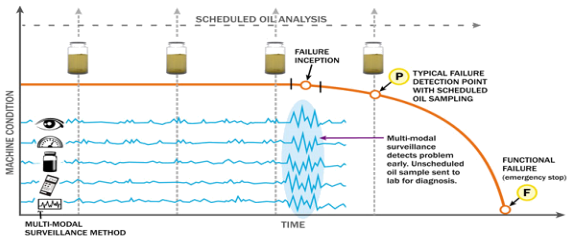
Add-on Low-cost Multi-purpose Enabled Smart maintenance

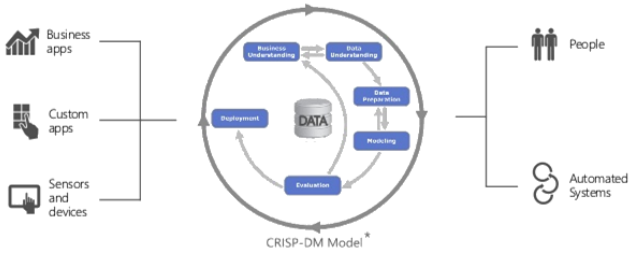
- Complex system monitoring for predictive maintenance using an Industrial IoT-enabled infrastructure, model based reasoning, machine learning, and cloud computing, ensuring security.

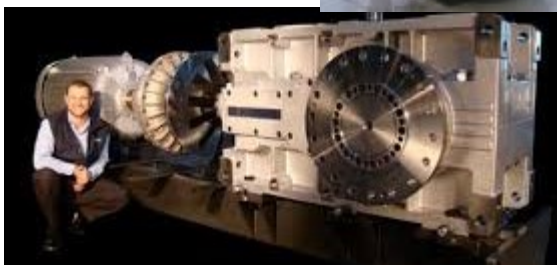




- Transform data into actionable insights;
- Leverage model based reasoning and machine learning for data analytics;
- Cloud-based analytics for real-time alerting and mid-term predictions
- Ensure security of the monitored data



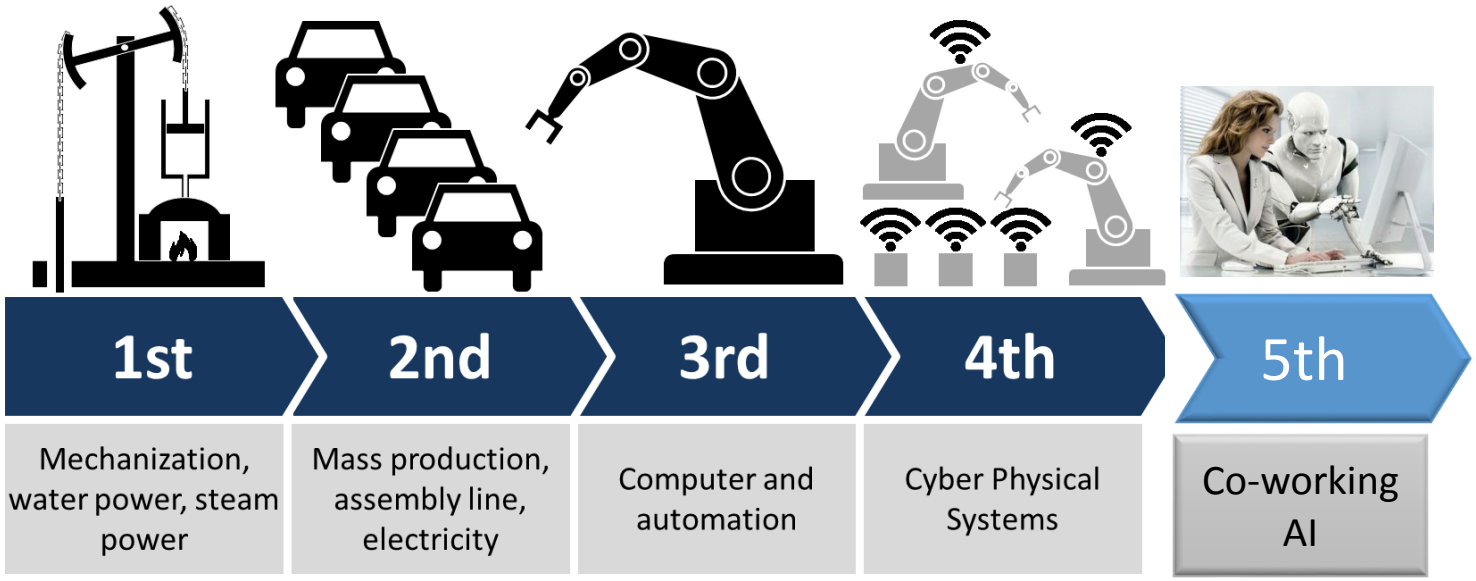




Agenda

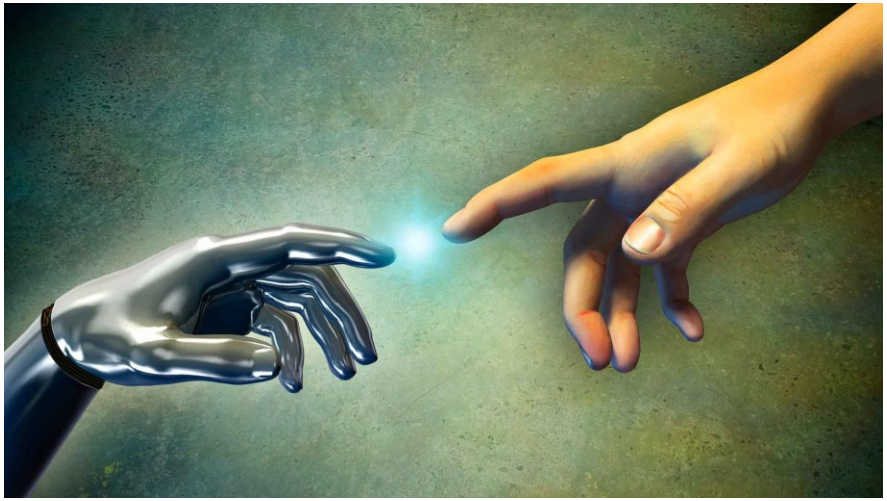
- Industrie 4.0: Introduzione
- Industria 4.0: Tecnologie abilitanti
- Alcune Esperienze in FBK
- Verso Industry 5.0?

The 5th Industrial Revolution?



- Collaborazione fra umano e robot sempre più efficace.
  - Il robot aiuta l'uomo, senza sostituirlo, svolge operazioni che richiedono più forza
  - L'uomo può svolgere operazioni che richiedono più intelligenza, esperienza.
- Tecnologie (avanzatissime), ergonomia, il lavoro che cambia, formazione, la fabbrica distribuita, che arriva nelle case e nei laboratori degli artigiani.
- Artificial Intelligence ancora più spinta

The Future Revolution: AI for Industry



- Esseri umani e machine che lavorano “hand-in-hand”
- Precise, technical skills delle machine **+** cognitive skills dell’uomo
- Machine automation **+** creativity e immaginazione dell’uomo
- Human-aware industry 4.0
  - Dall’automazione alla collaborazione
  - Dai robot ai “co-bots”, dai lavoratori ai co-workers
  - Dall’automated planning/acting allo human aware planning/acting ...

Un nuovo concetto di fabbrica, Nuove tipologie di lavoro

La macchina più intelligente e quella che

- non necessariamente rimpiazza l'uomo ma…
- consente all'uomo di compiere un lavoro più creativo ed intelligente, e …
- consente alla fabbrica di essere più produttiva, sicura, piacevole, eco-friendly.

L'Intelligenza Artificiale è la disciplina che può consentire di raggiungere questo obiettivo (yes, we can!):

- Pianificazione ed esecuzione consapevole della presenza umana
- Deep + continuous learning sia dai dati che dal comportamento umano
- Interazione intelligente (e.g. basato su linguaggio naturale e sul parlato)
- Tecnologia inclusiva, AI for all, AI for good & wealth redistribution

Grazie dell’attenzione