



Industrial Design Manufacturing&Plants

La «Smart Factory»

**Marco Raimondi
(mraimondi@liuc.it)**

Una nuova cultura industriale

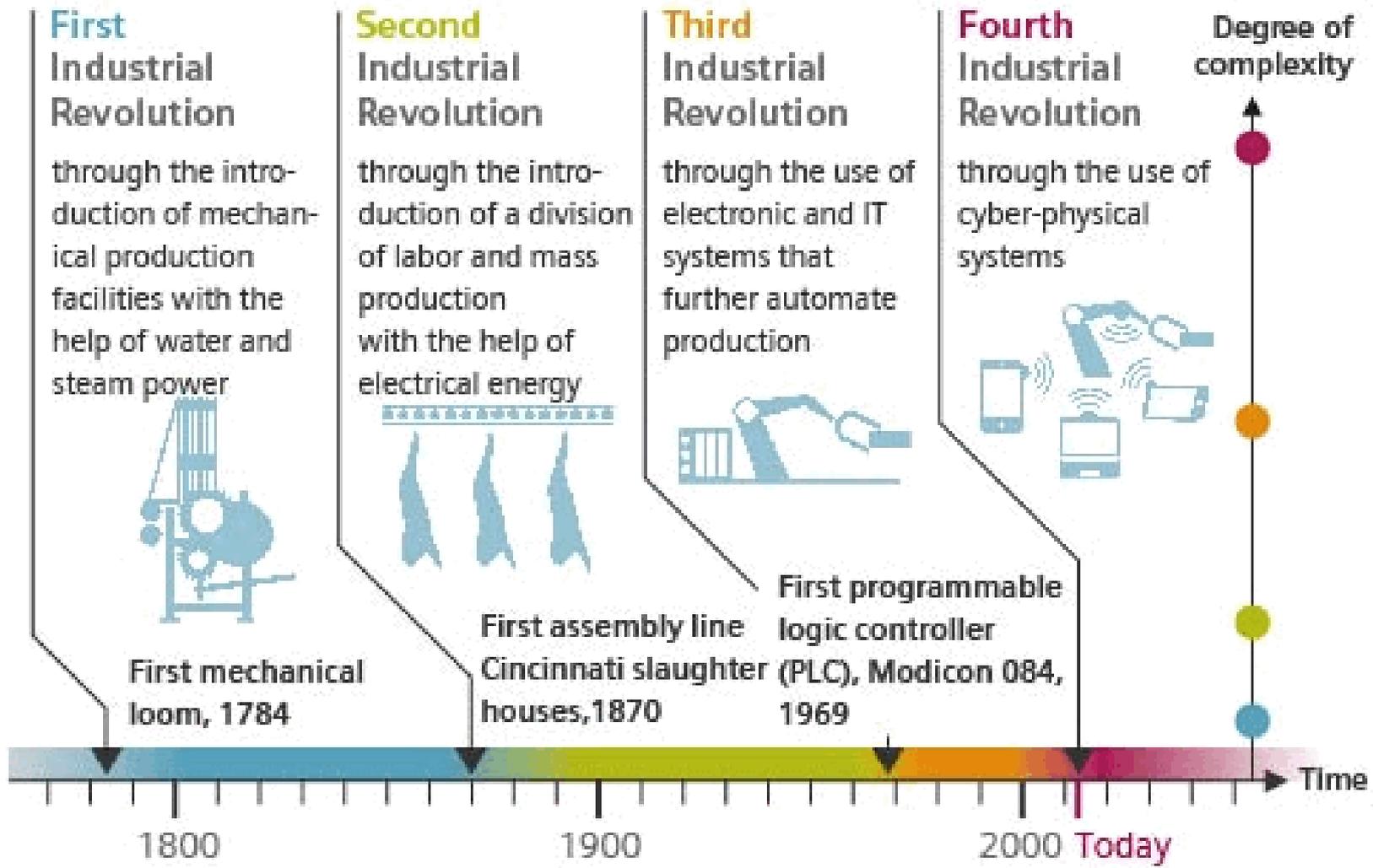
- **Industria 4.0 indica una nuova cultura industriale che tende ad automatizzare, attraverso la digitalizzazione, le tecnologie produttive al fine di migliorare le condizioni di lavoro e aumentare la produttività e la qualità dei processi**
- **Prende il nome da «Industry 4.0», iniziativa europea su un progetto del governo tedesco lanciato nel 2013 con investimenti su infrastrutture, scuole, sistemi energetici, enti di ricerca e aziende, per riportare la manifattura tedesca ai vertici mondiali**
- **Il nome viene attribuito a Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas e Wolfgang Wahlster che lo utilizzarono per la prima volta in una conferenza alla Fiera di Hannover del 2011. Dal 2016 il progetto è stato avviato in altri paesi dell'Unione Europea tra cui Francia, Italia, Spagna e Regno Unito.**

Caratteristiche

- **Elemento cardine di Industria 4.0 sono i sistemi ciberfisici (CPS), sistemi fisici che interagiscono tra loro grazie alla loro connessione con i sistemi informatici: ciò consente, attraverso la decentralizzazione e la collaborazione tra sistemi, uomini e macchine un nuovo modo di concepire i processi produttivi**
- **L'impatto di questo nuovo approccio sul contesto economico e sociale sta portando a cambiamenti epocali, tanto da denominarlo "Quarta rivoluzione industriale»**
- **Come accertato dalla ricerca statunitense "The Future of the Jobs" è infatti in corso una profonda trasformazione del mondo del lavoro data dal mutamento di importanti fattori tecnologici e demografici**

Un cambiamento epocale

- **Le nuove tecnologie e politiche improntate alla flessibilità del lavoro distruggeranno circa 7 milioni di posti di lavoro in pochi anni in Europa, creandone circa 2 milioni di nuovi che richiederanno nuove competenze**
- **Le perdite di posti di lavoro coinvolgeranno in particolare le funzioni amministrative (-4,8 ml posti lavoro) e della produzione (-1,6 ml posti lavoro). Si creeranno invece nuove posizioni nelle funzioni ingegneristiche, informatiche, manageriali e finanziarie**
- **Cambieranno le competenze e le skill ricercate: nel 2020 il problem solving sarà la skill più ricercata. Creatività, capacità di analisi e sintesi, pensiero critico saranno le qualità più ambite nel prossimo futuro.**



La smart factory

- **Si affermerà progressivamente il concetto di «smart factory»:**
 - **Smart production:** utilizzare tecnologie produttive che creino collaborazione tra gli elementi del processo produttivo (operatore, macchine, strumenti, dati, ..)
 - **Smart services:** adottare infrastrutture digitali e tecniche che consentano di integrare i sistemi, le aziende (fornitore/cliente) tra loro e con le strutture esterne (strade, hub, servizi pubblici, ...)
 - **Smart energy:** prestare sempre più attenzione ai consumi, ovvero creare sistemi sempre più performanti che riducano il consumo di risorse per realizzare sistemi sostenibili nel tempo

Increased productivity
 ... e.g., through a higher level of automation that reduces production time, enables better asset utilization and inventory management



Increased flexibility
 ... e.g., manufacturing flexibility through machines and robots that can execute the production steps for a large number of products

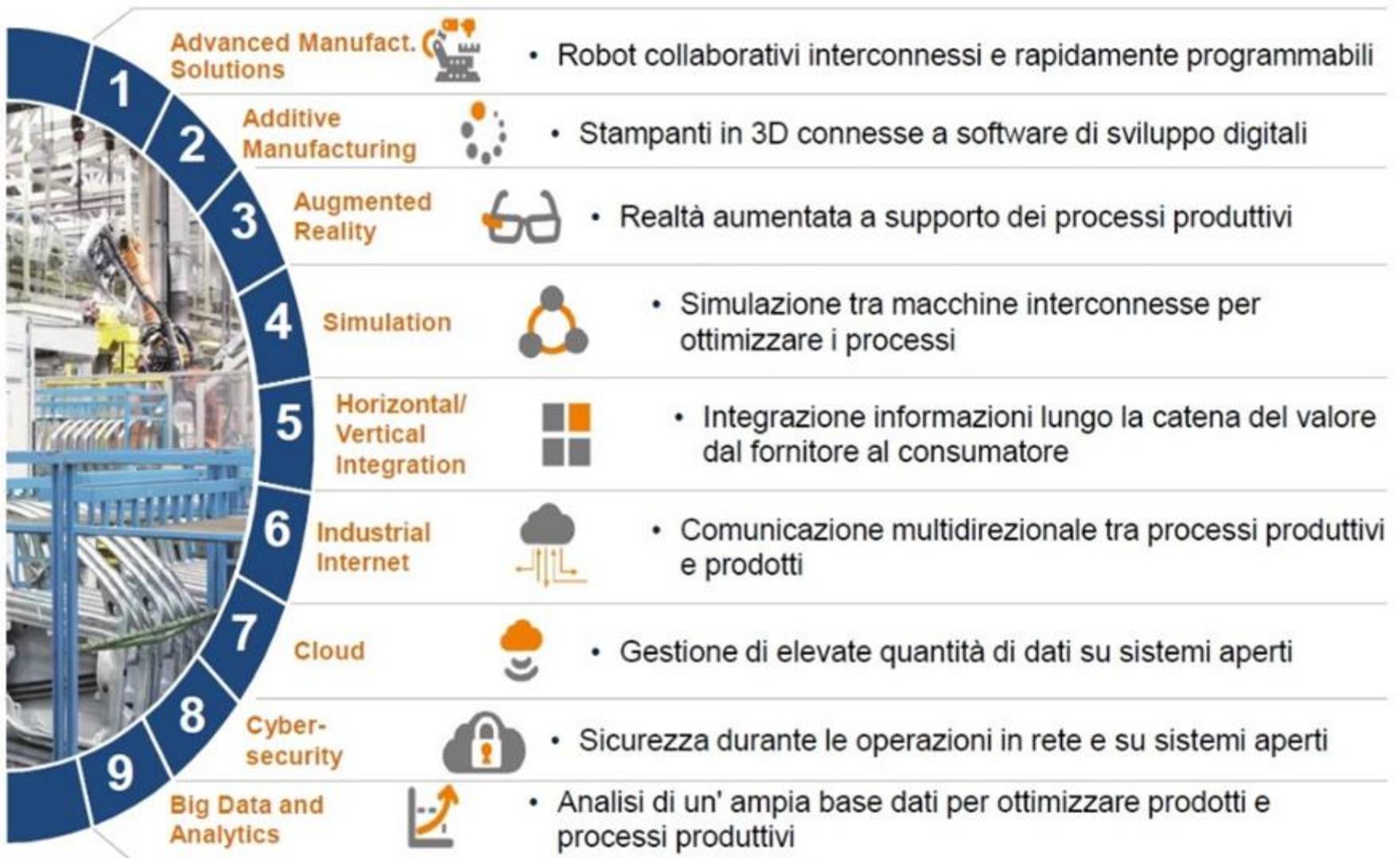
Increased quality
 ... of products via sensors and actuators that monitor the current production in real time and quickly intervene in case of errors



Increased speed
 ... from the first product or factory idea to the finished product through consistent data and, e.g., new simulation opportunities.



Industria 4.0: Le tecnologie abilitanti



Esempi

- **Macchine in grado di prevedere i guasti e innescare in autonomia dei processi di manutenzione**
- **Capacità di taluni impianti di reagire a cambiamenti imprevisti nella produzione con attività di auto regolazione**
- **Configurazione delle reti informatiche di uscire dai confini delle singole fabbriche permettendo una completa interconnessione di più fabbriche tra loro**
- **Sistemi in grado di acquisire autoconsapevolezza e auto-predizione così da fornire al management informazioni sullo stato di talune situazioni o intervenire essi stessi nel prendere decisioni a riguardo**

Cambiamenti con le nuove tecnologie

Il nuovo paradigma di Industria 4.0 impatterà su molte aree tematiche, in particolare:

- 1. I cambiamenti nei servizi offerti e quindi nei modelli di business**
- 2. La garanzia di affidabilità e produttività continua**
- 3. La sicurezza informatica connessa alla vulnerabilità delle tecnologie IoT**
- 4. La sicurezza delle macchine fisiche, in assenza della sorveglianza umana**
- 5. I cicli di vita del prodotto, che tenderanno inevitabilmente ad accorciarsi**
- 6. La catena del valore dei diversi settori che vedranno spostati gli equilibri**
- 7. La necessità di una diversa educazione ed abilità dei lavoratori coinvolti**
- 8. Il mutamento di diversi fattori socio-economici (fasce sociali, paesi emergenti, ...)**

Principali ostacoli e criticità

L'implementazione dei paradigmi di Industria 4.0 si scontra generalmente con una serie di ostacoli e criticità:

- **Sicurezza in ambito informatico, dati dall'esigenza di diffondere l'interconnessione tra sistemi di produzione**
- **Affidabilità e stabilità necessarie per le comunicazioni critiche macchina-macchina per evitare interruzioni di produzioni**
- **Integrità dei processi di produzione per garantire il corretto svolgimento e controllo anche in emergenza**
- **Protezione del know how industriale contenuto nei file di controllo dell'automazione industriale**
- **Mancanza di competenze adeguate da parte del personale presente, specie in situazioni di aziende con scarsa rotazione**
- **Perdita di posti di lavoro in processi automatici digitalizzati, specialmente per i livelli sociali più bassi e meno istruiti**

Industria 4.0: la situazione oggi

- **USA:** il 16% delle aziende ha realizzato almeno uno dei tasselli: i big data, l'internet of things, la robotica collaborativa, l'additive manufacturing (stampa 3D), la realtà aumentata o la cybersecurity
- **Germania:** oltre la metà delle 6mila imprese manifatturiere con più di 100 milioni di euro di fatturato ha effettuato investimenti in Industry 4.0
- **Italia:** secondo dati Istat per circa la metà delle imprese italiane nel triennio 2012-14 l'attività di ricerca è stata debole o quasi assente e Accenture ha calcolato che, alle attuali condizioni, l'aumento della produttività italiana da qui al 2035 sarebbe del 12% per cento, contro l'11% spagnolo, il 20% francese, il 29% tedesco. Ciò trova origine nella diversa capacità che i Paesi hanno di integrare e assorbire le innovazioni tecnologiche

Main initiatives, partnerships and influences as of March 2017

United States
 Industrial Internet (Consortium)
 Smart Manufacturing
 Industry 4.0



- **Industrial Internet:** US concept (GE) but Industrial Internet Consortium global and collaborates with Industry 4.0 Platform.
- **UK:** Industry 4.0 and 4IR initiative. Post-Brexit unknown.
- **China:** Industry 4.0 the framework of "Made in China 2025"
- **Japan:** several initiatives, collaboration Industry 4.0 Platform.

EU / Western Europe

- Austria: Industrie 4.0 Österreich
- Belgium: Factories of the future
- Czech Republic: Průmysl 4.0
- Denmark: MADE
- France: L'Industrie du Futur
- Germany: Industrie 4.0
- Hungary: IPAR4.0
- Italy: Industria 4.0
- Netherlands: Smart Industry
- Portugal: Indústria 4.0
- Spain: Industria Conectada 4.0
- Sweden: Smart Industry / Produktion 2030
- UK: Industry 4.0 / 4IR
- EU: aligning national plans

"Born" in Germany

China

Made in China 2025



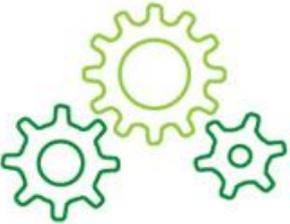
Japan

Robot Revolution Initiative
 Society 5.0



Nuovi modelli di business

Table 2. Industry 4.0 key business objectives, organized

	<p>Productivity improvements</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Maximizing asset utilization and minimizing downtime • Driving direct and indirect labor efficiency • Managing supply network costs and synchronization • Ensuring schedule and plan stability and accuracy
<p>BUSINESS OPERATIONS</p>	<p>Risk reduction</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ensuring raw material price and availability • Managing warranty and recalls effectively • Mitigating geographic risks
	<p>Incremental revenue</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Finding sources of growth for the core business • Growing aftermarket revenue streams • Deepening customer understanding and insights • Strengthening customer integration and channels
<p>BUSINESS GROWTH</p>	<p>New revenue</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Creating new products and service offerings • Expanding internationally and in emerging markets • Identifying attractive M&A opportunities

Source: Deloitte analysis.

Graphic: Deloitte University Press | DUPress.com

Principi di progettazione

- **Sono 6 i principi di progettazione su cui le organizzazioni devono basarsi per implementare Industria 4.0**
 1. **Interoperabilità (a volte definita anche interconnessione o semplicemente connettività)**
 2. **Trasparenza delle informazioni (anche virtualizzazione o entità virtuali)**
 3. **Decentramento (anche decisioni decentralizzate / autonome o autonomia)**
 4. **Capacità di operare in tempo reale**
 5. **Assistenza tecnica e orientamento al servizio (con interazione uomo-macchina)**
 6. **Modularità**

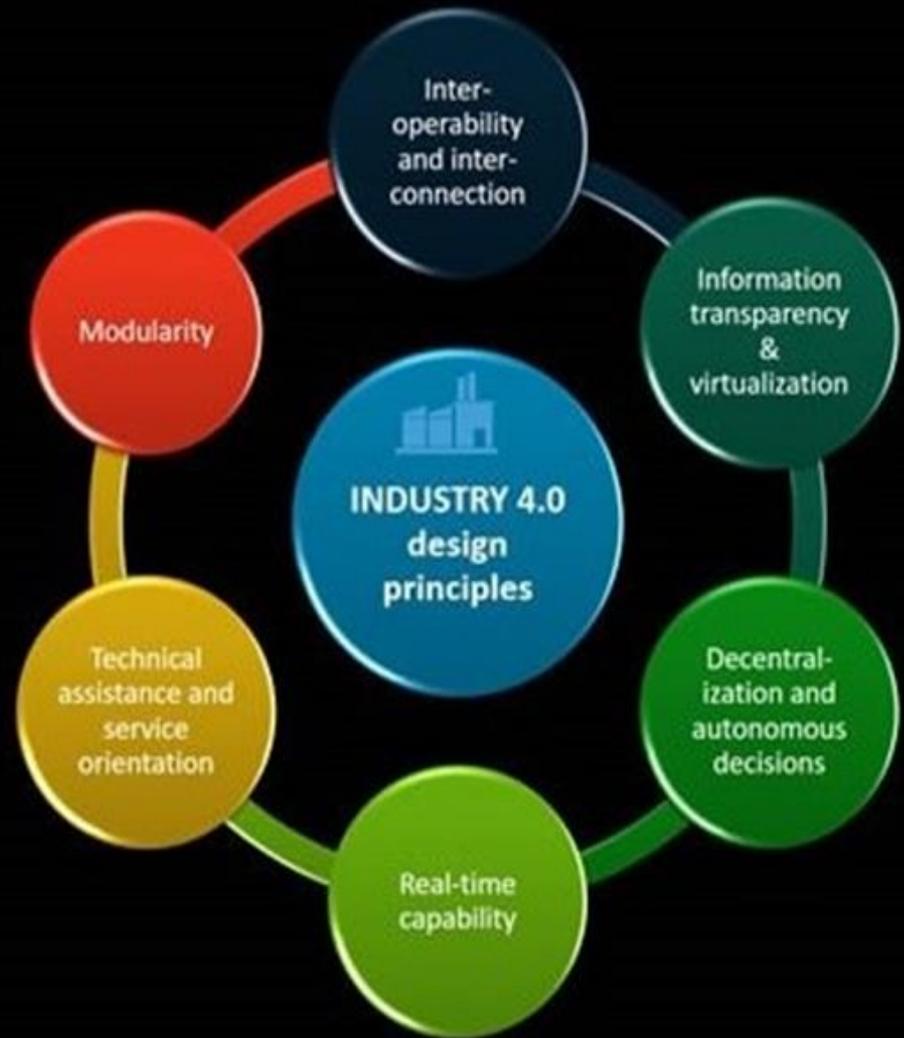


Interoperability and interconnection

- Connection of cyber-physical systems, people and manufacturing systems
- Collaboration
- IT and OT convergence
- Internet of Things and People
- Standards, protocols, connected data

Information transparency / virtualization

- Virtual representations and copies
- Sensor data and contextual data
- Context-aware information
- Digital manufacturing and plant models
- Simulation models and digital twins



Decentralization and autonomous decisions

- Autonomous and semi-autonomous decisions
- Intelligence towards the edge
- The cyber-physical system as decision maker
- Human/machine element in planning and deciding
- Ubiquitous decentralization from manufacturing to warehousing and logistics

Technical assistance and service orientation

- Cyber-physical systems supporting people
- As-a-service-economy
- Personalization and value-added services with focus on customer
- Internet of Services
- New service models

Real-time capability

- Real-time data for real-time economy
- Immediate collection and analysis to obtain desired insights
- Fast data for flexibility
- Focus on decisions
- Preventative/predictive maintenance

Modularity

- Replacement or expansion of individual models as response to changing needs
- Customer-centricity
- Flexibility and agility
- Planning for the unpredictable
- Dynamic environment: capabilities for swift changes

Interoperabilità (interconnessione)

- **Si realizza introducendo i paradigmi di Internet of Things (IoT), Internet of People (IoP), Internet of Services (IoS). Per passare alla produzione intelligente, alle fabbriche intelligenti o alle industrie connesse, è necessario collegare tra loro le cose reali, persone, macchine, standard, processi**
- **L'interoperabilità riguarda anche la collaborazione e la capacità di far dialogare standard diversi tra loro in modo che i dati provenienti da varie fonti possano dialogare ed essere utilizzati. Tutti gli attori devono essere connessi**

Trasparenza (virtualizzazione)

- **Si tratta della capacità dei sistemi informativi e dei sistemi cyberfisici di simulare e creare copie virtuali degli elementi del mondo fisico attraverso la creazione di modelli digitali alimentati da tutti i dati che si ottengono attraverso sensori in grado di controllarlo in tempo reale.**
- **Sono necessarie informazioni dall'ambiente cibernetico (virtuale, digitale) e dagli ambienti fisici (calati nel contesto reale di spazio e tempo). Le informazioni non sono dati, in quanto per diventarlo devono prima essere ricondotte al contesto in cui nascono per essere interpretate**

Decentramento (delle decisioni)

- **E' la capacità dei sistemi cyberfisici di assumere decisioni essi stessi ed operare il più possibile in completa autonomia, rimandando a decisioni di più alto livello solo in caso di emergenze o presenza di obiettivi conflittuali**
- **I sistemi cyberfisici devono formulare decisioni autonome ed essere in grado di affrontare le incertezze, rispondendo alle esigenze di personalizzazione poste dal contesto. E' il concetto di fabbrica intelligente che offre agilità e flessibilità in un ecosistema interconnesso**

Operatività in tempo reale

- **L'abilità dei sistemi digitali di rilevare costantemente la situazione del sistema e supportare gli uomini con analisi complesse per prendere decisioni consistenti e risolutive in tempo reale**
- **La flessibilità, la manutenzione predittiva, la capacità di sostituire rapidamente le risorse in caso di guasto hanno senso in un contesto che funzioni in tempo reale**
- **Ciò è necessario per garantire l'efficacia ed essenziale per realizzare gli ultimi due principi di progettazione: l'orientamento al servizio e la modularità**

Orientamento al Servizio

- **E' la capacità del sistema cyberfisico di sostituire fisicamente l'uomo nelle le attività del mondo reale che risultano faticose, pericolose o ripetitive.**
- **La produzione deve essere adeguata alla domanda dei clienti (es. la personalizzazione): non può più produrre ciò che gli conviene, bensì ciò che serve e quando serve.**
- **E' anche la necessità per le aziende di sviluppare nuovi servizi basati sull'analisi di dati, alla ricerca di nuovi modelli di business**
- **L'assistenza tecnica e la manutenzione, sono un principio fondamentale per assicurare un alto livello di efficienza all'interno dell'azienda**

Modularità

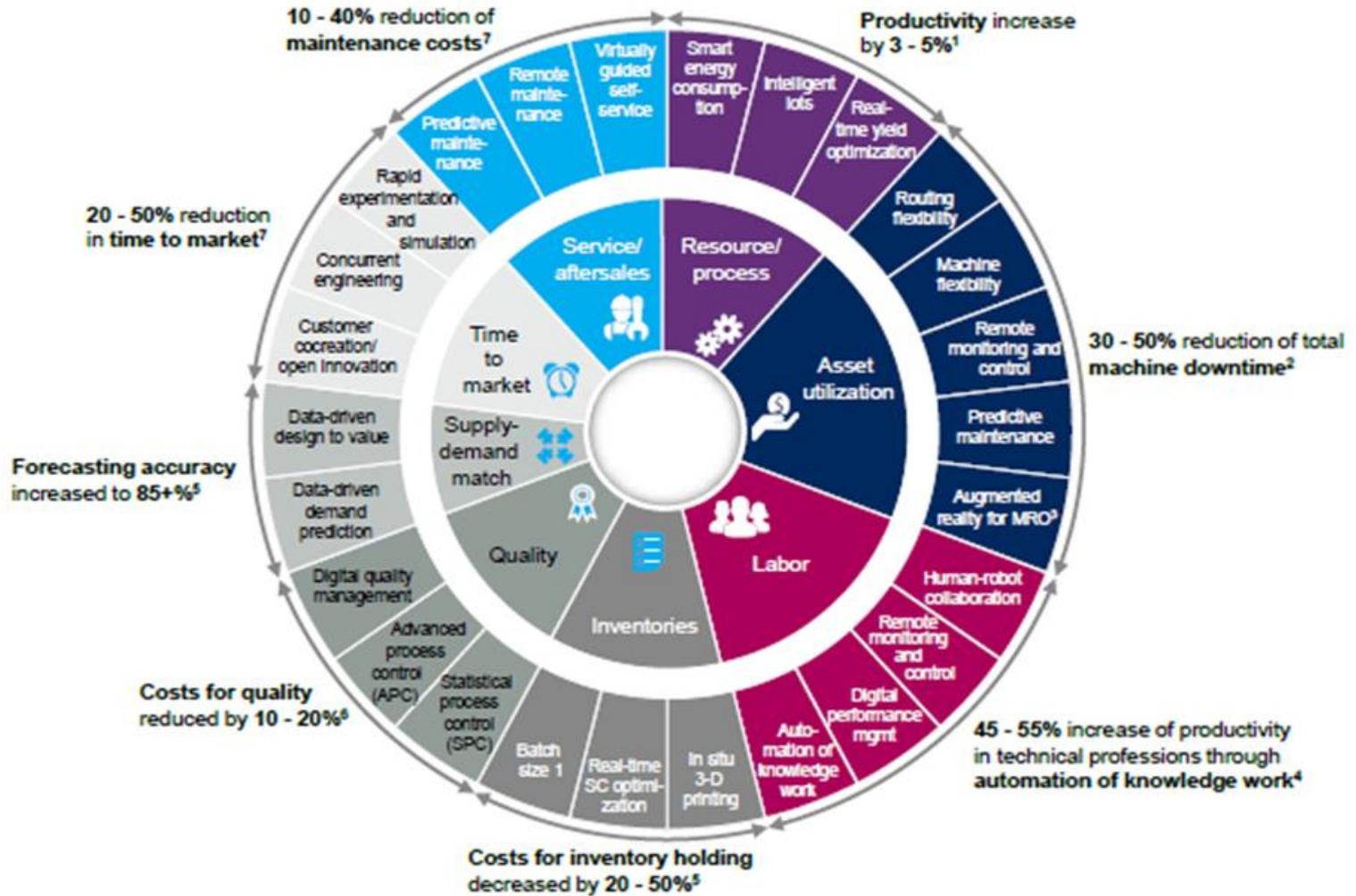
- **E' la possibilità di isolare e personalizzare i singoli moduli, intervenire puntualmente per risolvere problemi specifici, mettere sempre il cliente la centro dell'attenzione e prevedere tutto ciò che è oggettivamente prevedibile**
- **Modularità significa i vari moduli individuali all'interno della fabbrica intelligente**
- **Ha a che fare con un passaggio da sistemi rigidi e produzione lineare verso un ambiente in cui le richieste cambiano da parte dei clienti e dei partner nella catena di fornitura e ove le condizioni di mercato sono messe al centro dell'attenzione**

Le tecnologie chiave

Non esistono regole precise e non si può implementare tutto insieme. La scelta delle tecnologie da implementare dipende dal contesto in cui opera l'azienda, dagli obiettivi che ci si prefigge e dalle capacità dalle risorse a disposizione:

- **IoT è decisamente una tecnologia critica per l'affermarsi di Industria 4.0: senza una rete diffusa che metta in contatto tutti gli elementi non si potrebbe creare nessuna integrazione.**
- **Big Data Analytics, Cloud e Simulazione, sono essenziali per un contesto caratterizzato da esigenze di flessibilità, modularità, integrazione e sviluppo rapido.**
- **Intelligenza artificiale, Interfacce avanzate uomo-macchina sono invece tecnologie essenziali in un contesto produttivo caratterizzato da necessità di automazione di processo**
- **La valutazione delle priorità deve essere realizzata sui “value drivers” dell'azienda e, a tal proposito, può essere effettuata con il “Digital Compass” elaborato da McKinsey**

Il "digital compass" di McKinsey



1 Client experience

2 McKinsey analysis

3 Maintenance, repair, and operations

4 Cf. McKinsey Global Institute: Disruptive technologies

5 McKinsey analysis

6 Cf. T. Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser (Ed.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik (2014)

7 Cf. McKinsey Global Institute: Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity

1. Advanced Manufacturing Solution

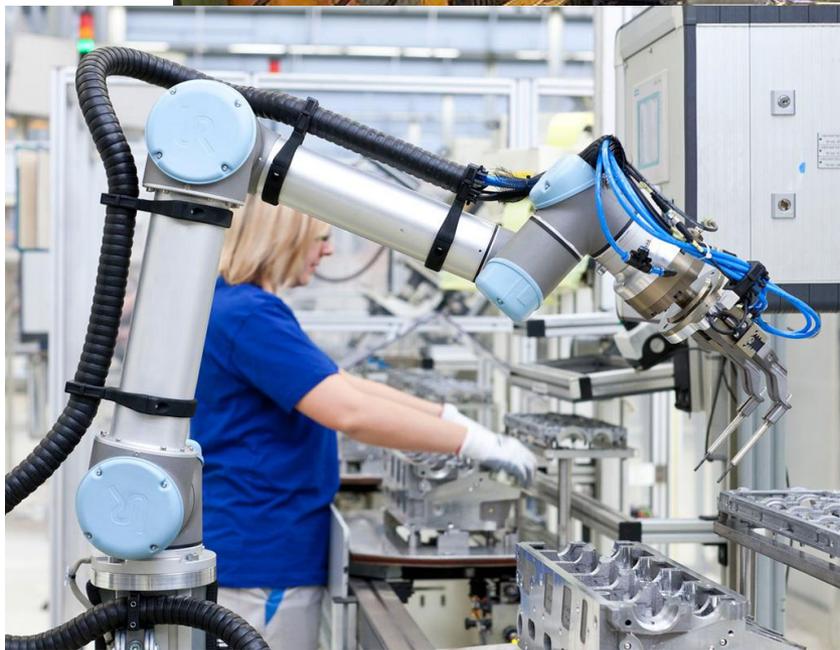
Sono sistemi avanzati di produzione, completamente interconnessi per offrire flessibilità e performance

La robotica avanzata completamente integrata con il sistema informatico e gestionale: i robot collaborativi o cobot, presenti nella logistica di Amazon ne sono un esempio



***I sistemi di movimentazione automatici dei materiali integrati con i sistemi WMS:
ad esempio gli AGV integrati con i sistemi produttivi***



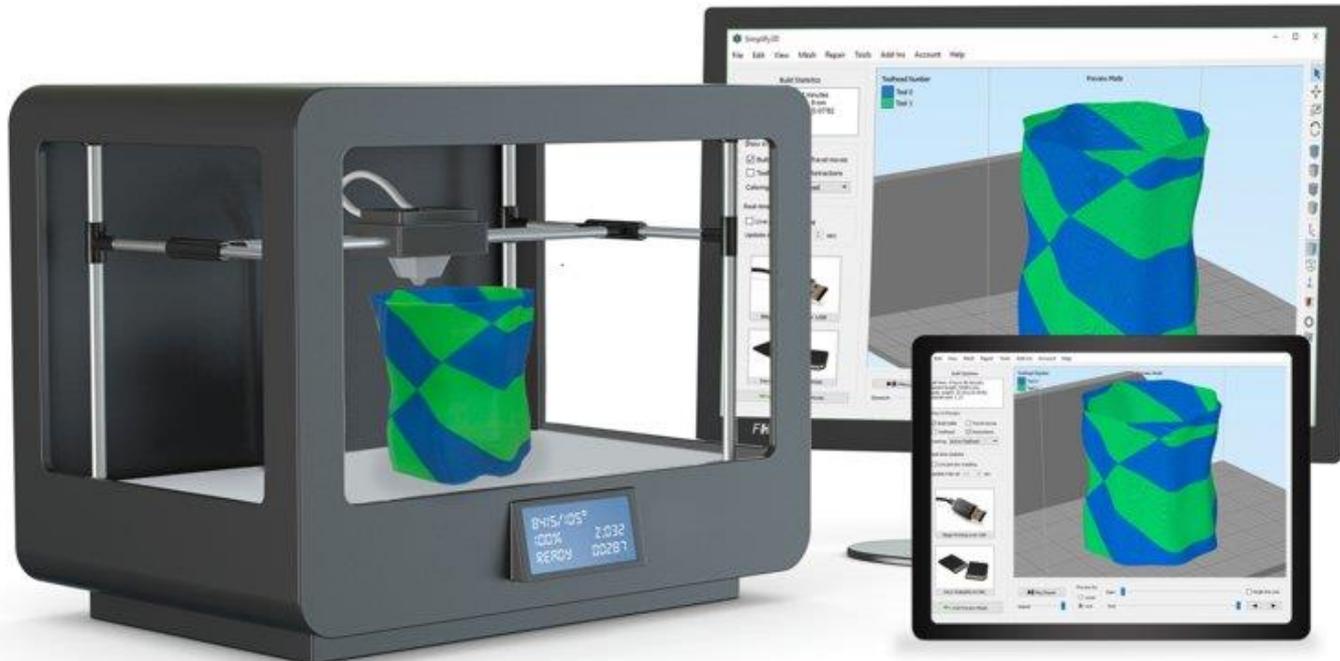


***Un ulteriore esempio sono le
linee di assemblaggio integrate
uomo-robot***

2. Additive Manufacturing

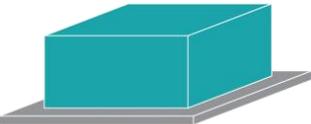
Sistemi di produzione additiva che aumentano l'efficienza dell'uso dei materiali, riducendo gli sfridi e consentendo sistemi di produzione a costi sostenibili anche per lotti molto ridotti

Esempi sono le stampanti tridimensionali di ultima generazione in grado di stampare dei componenti con materiali aventi caratteristiche meccaniche paragonabili ad una produzione con tecnologie tradizionali (iniezione, termoformatura, etc...)

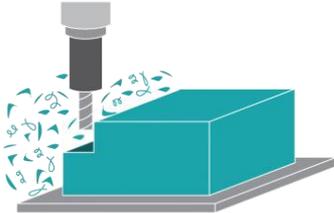


CNC Machining vs. Fabrisonic Hybrid 3D Metal Printing

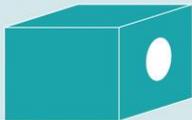
Traditional machining starts with a large block.



Material is machined to the desired shape.



Desired part.



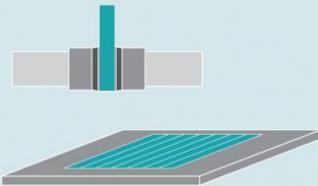
Piles of scrap.



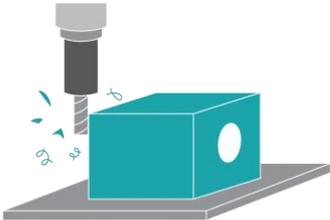
Fabrisonic starts with a thin sheet.



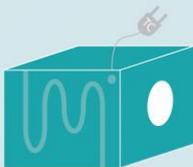
Foils are welded to 'Print' near net shape.



A small amount of machining to assure perfect tolerance and shape.



Parts can include internal passages, embedded electronics, and multiple metals.

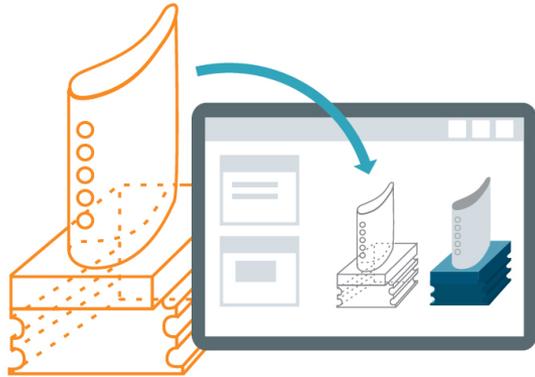


Little scrap.



Additive Manufacturing

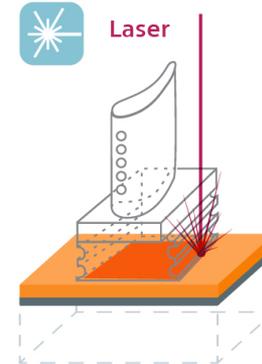
Turbine blades manufactured with 3D printing: The high performance gas turbine components are produced using Additive Manufacturing.



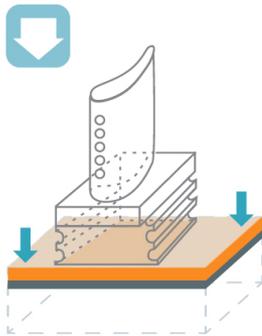
A digital production plan of the new turbine blades is created on a computer.



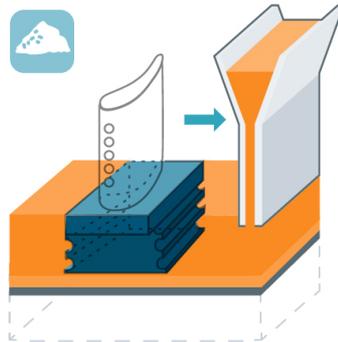
A thin layer of a powder of high performing superalloy is applied.



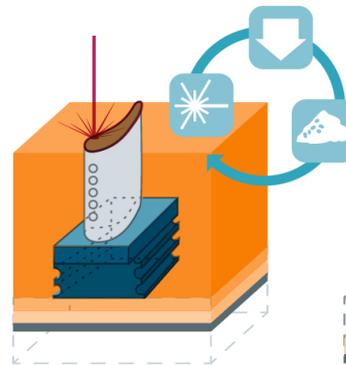
A fiber laser beam fuses the powder, thereby creating the first layer of the turbine blade.



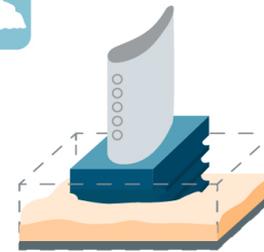
The platform lowers by a few micrometers, lowering the component being produced.



Layer by layer new coats of the polycrystalline nickel superalloy are applied and fused.



The laser traces the outline of the digital production plan on every coat.



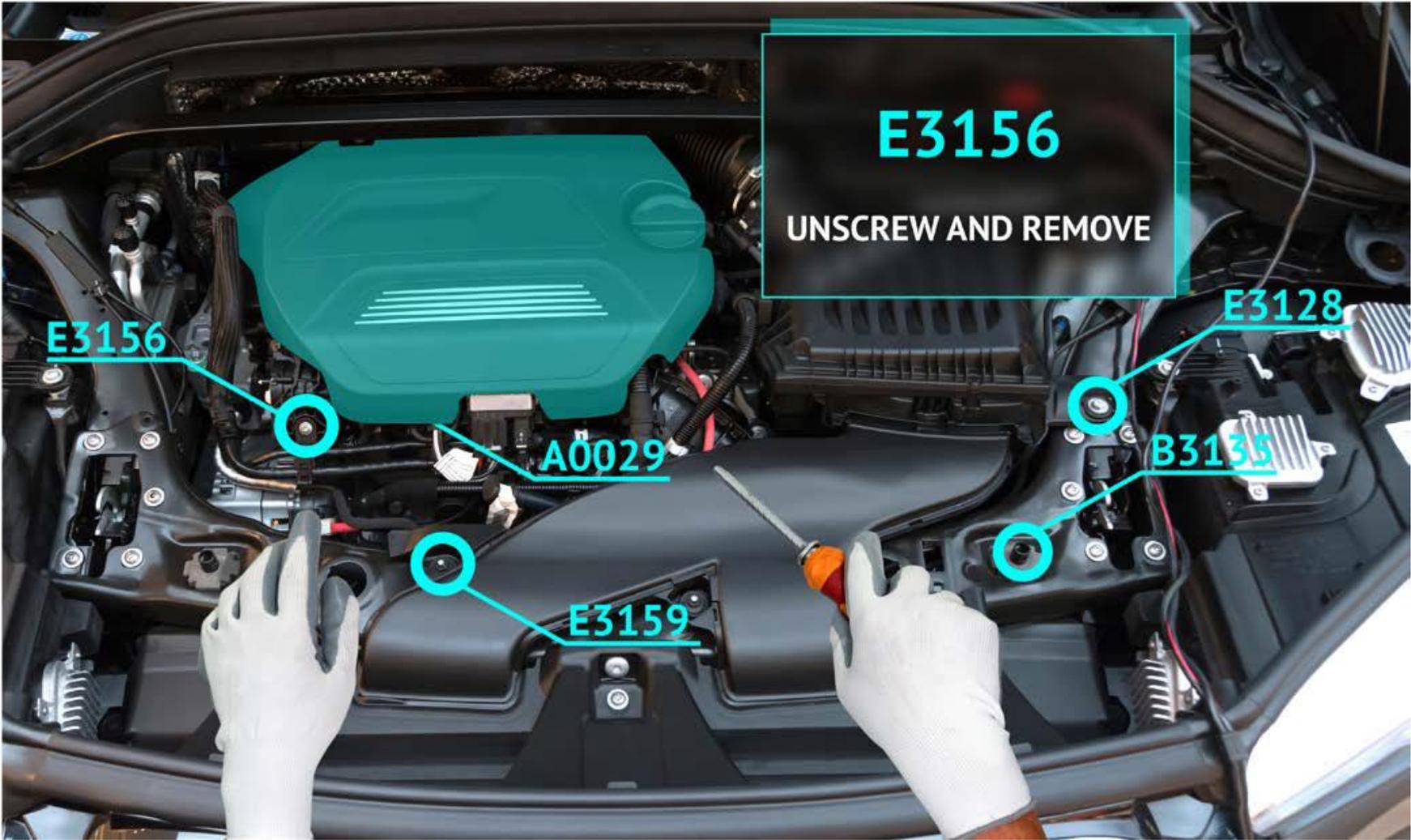
At the end a heat-resistant turbine blade emerges out of the powdered superalloy.

3. Augmented Reality

Sistemi di visione con realtà aumentata per assistere gli operatori nello svolgimento delle operazioni.

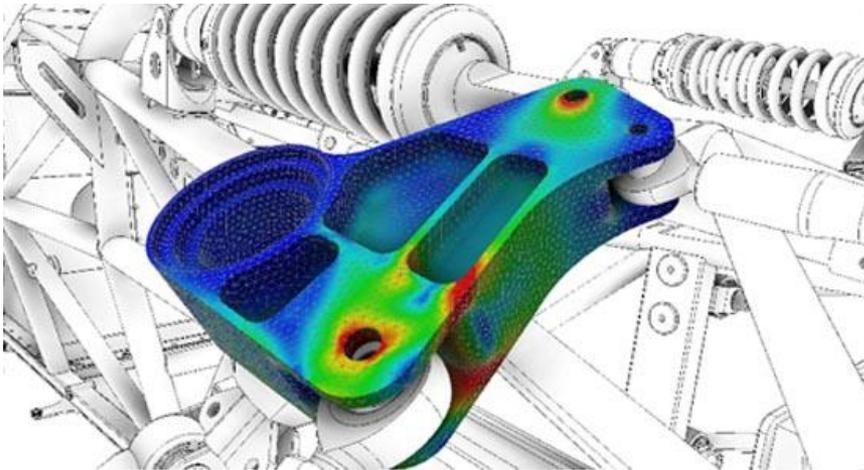
Esempi sono i sistemi di guida assistita presenti sui carrelli per il picking nei magazzini semiautomatici oppure le indicazioni in tempo reale sulle linee di montaggio o comunque in realtà produttive integrate





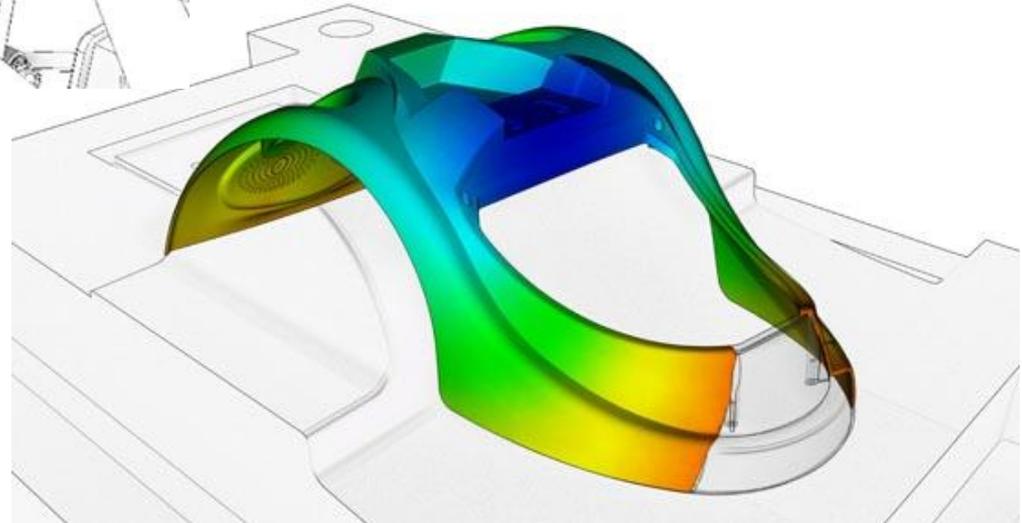
4. Simulation

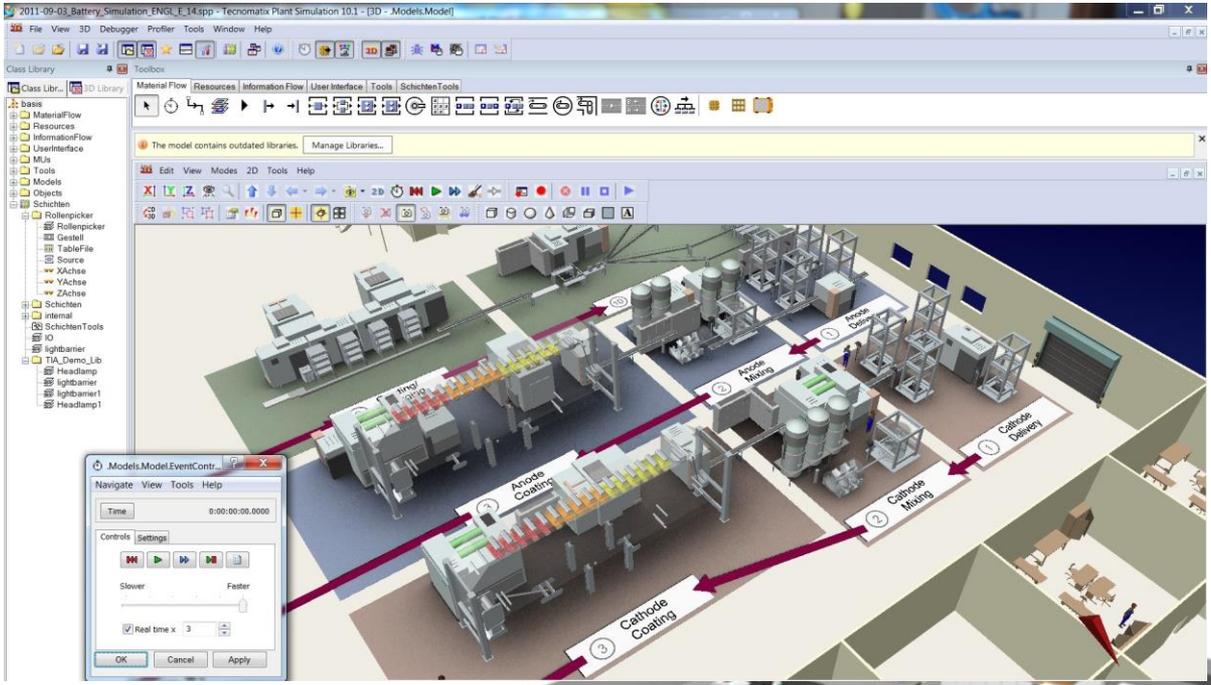
Simulazione tra macchine interconnesse al fine di ottimizzare i processi.



Sistemi di analisi FEM (Finite Element Method) per simulare le situazioni di stress statico e dinamico dei componenti

Sistemi di simulazione del processo di termo iniezione (Mould Flow Analysis) per verificare in anteprima eventuali criticità in fase di modellazione 3D

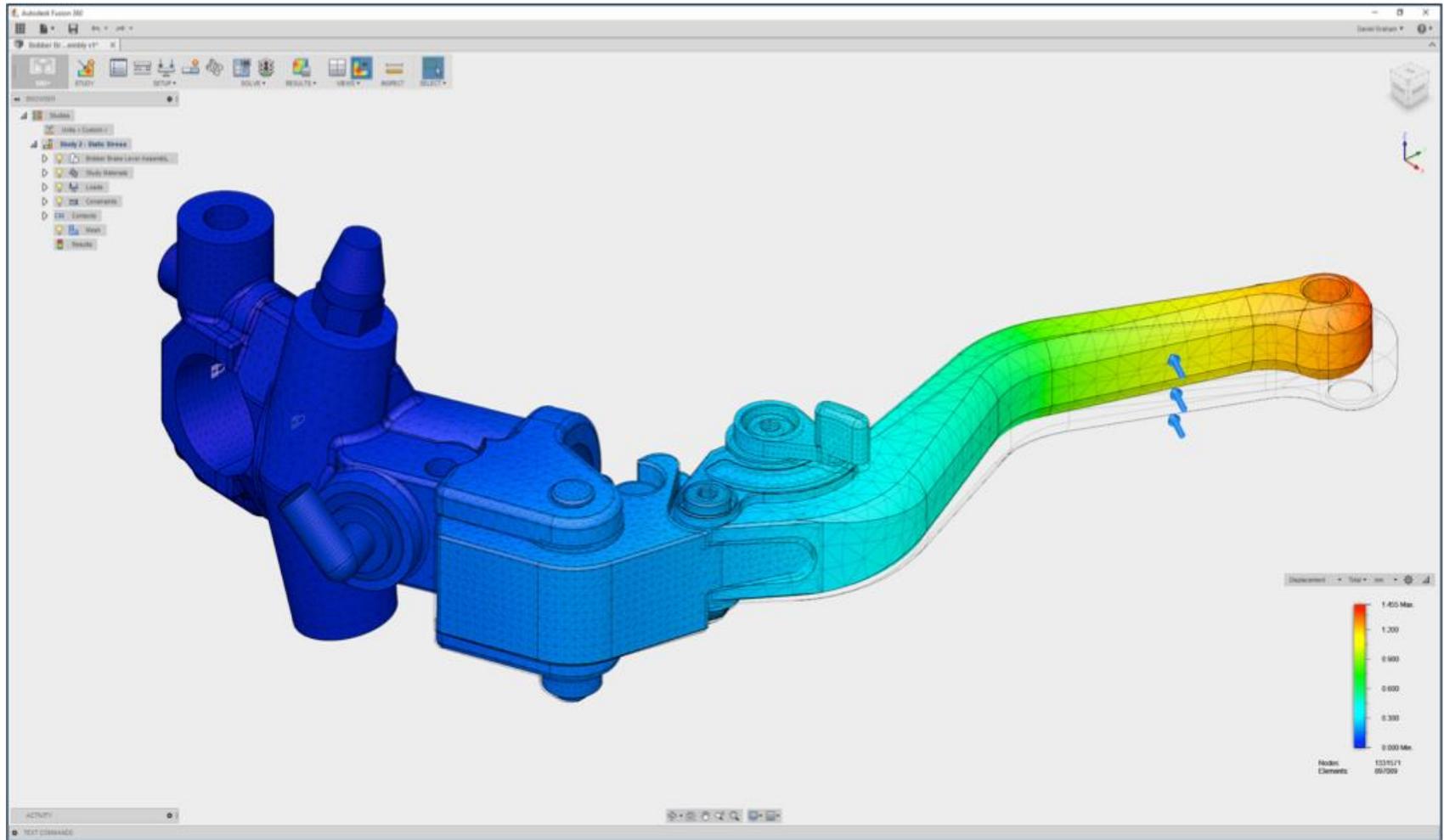




Sistemi di simulazione di processo produttivo per verificare in anteprima eventuali criticità in termini di flussi e colli di bottiglia



Integrazione di software diversi consentono una verifica di criticità progettuali (es Solidworks), di funzionamento a sollecitazione (Nastran) e di costo (Leancost)

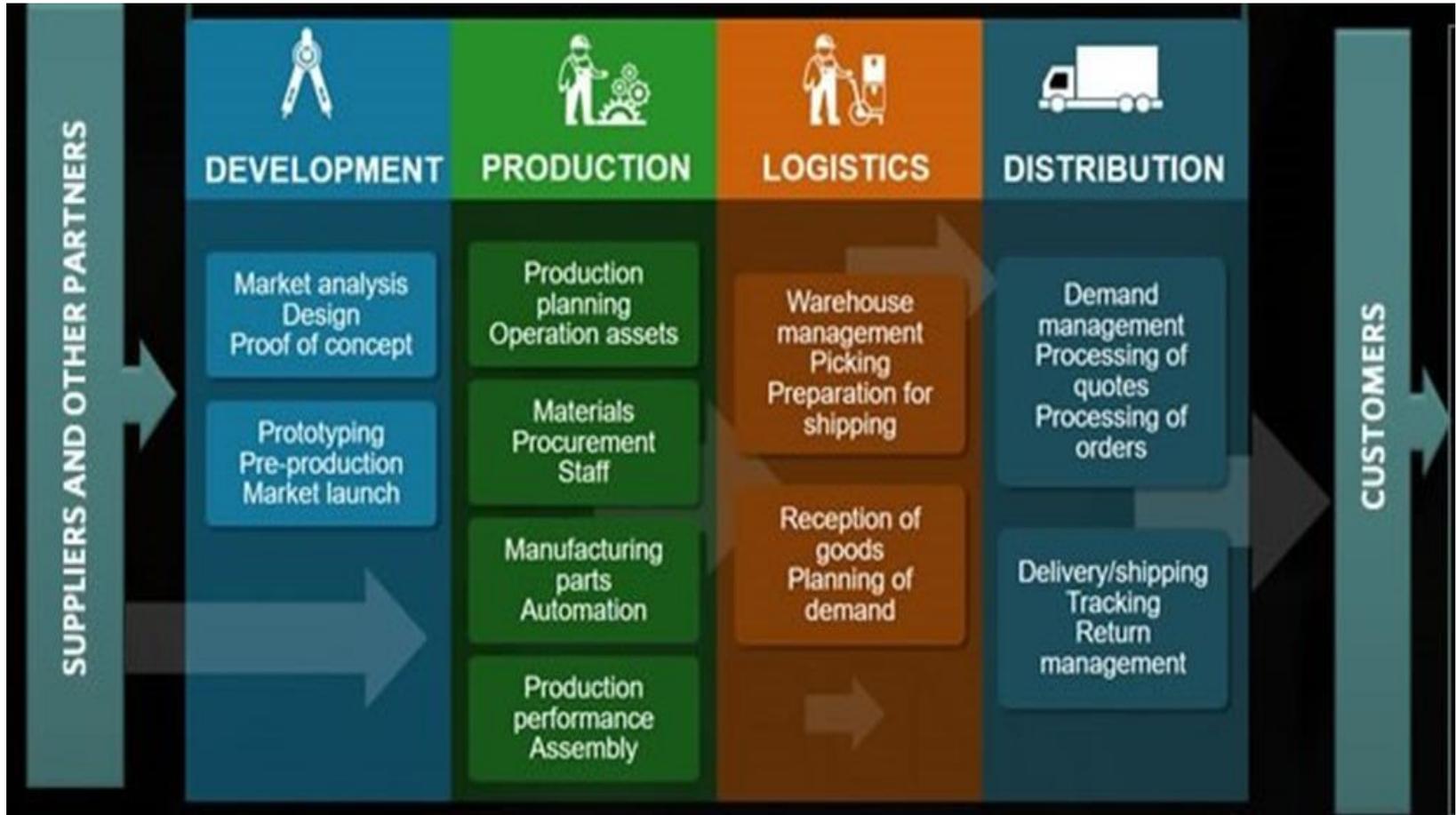


5. Horizontal e Vertical Integration

Integrazione e scambio di informazioni in orizzontale e in verticale, tra tutti gli elementi del processo produttivo

- **Integrazione orizzontale**
 - **si riferisce all'integrazione dei sistemi informatici attraverso i vari processi di produzione e pianificazione aziendale: tra questi vari processi ci sono flussi di materiali, energia e informazioni che riguardano sia i flussi interni che quelli con altre parti interessate: partner, fornitori, clienti**
 - **riguarda la digitalizzazione attraverso la catena di approvvigionamento, in cui gli scambi di dati richiedono che i sistemi di informazione siano tutti tra loro connessi.**

Integrazione orizzontale

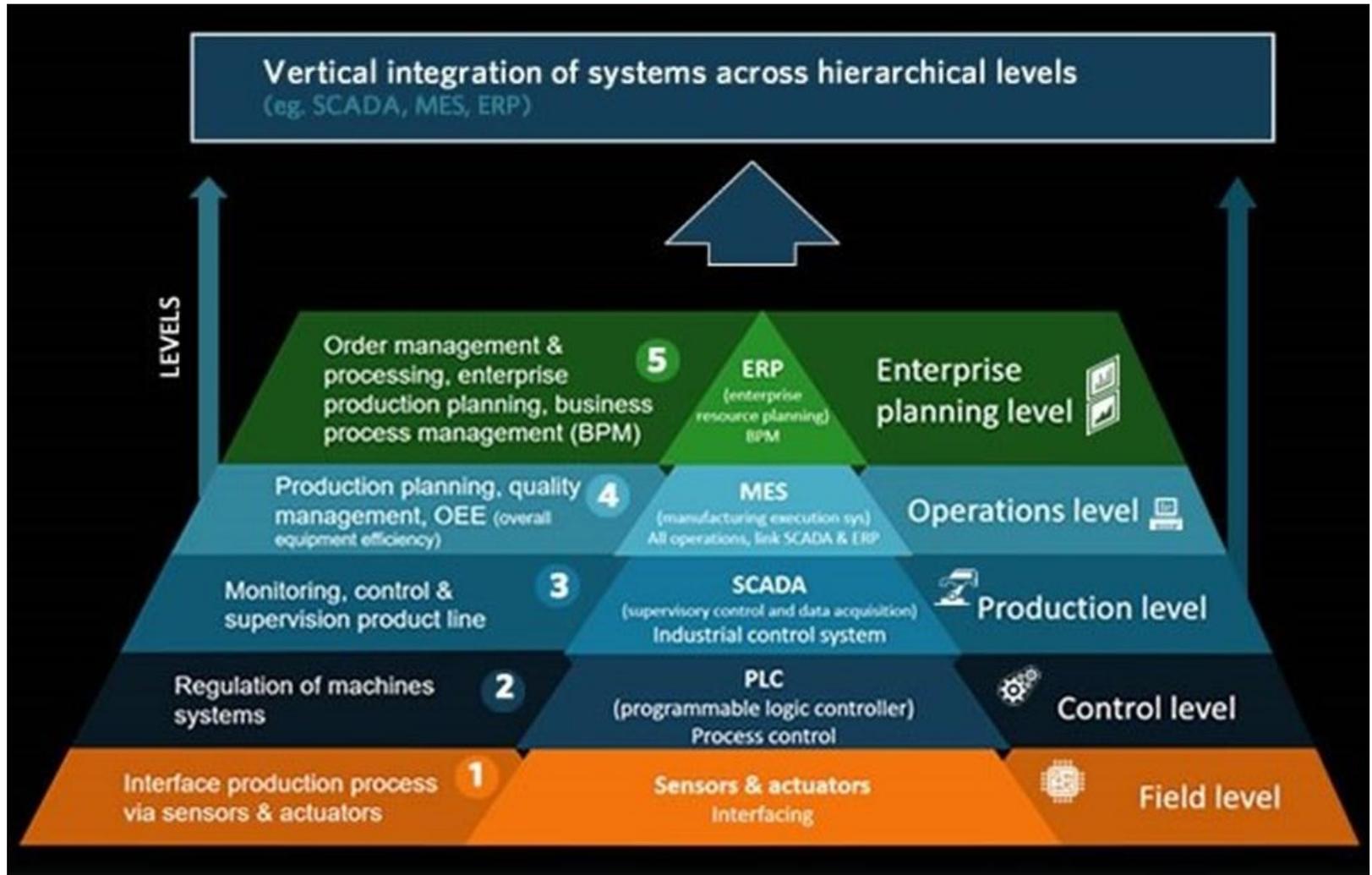


- **Integrazione Verticale**
 - **A differenza dell'integrazione orizzontale che riguarda i sistemi IT e i vari processi che avvengono su di esso, l'integrazione verticale tratta dell'integrazione dei sistemi IT a vari livelli gerarchici. Partendo dal basso:**
 - **“campo”**: interfaccia con il processo di produzione tramite sensori e attuatori
 - **“controllo”**: regolazione di entrambe le macchine e sistemi
 - **“processo produttivo”**: è il livello della produzione effettiva da tenere monitorato
 - **“operativo”**: includente la pianificazione della produzione, la gestione della qualità,...
 - **“gestionale»**: comprende gestione ed elaborazione degli ordini, la pianificazione generale delle attività ...

Le tecnologie di integrazione verticale includono:

- PLC (Programmable Logic Controller) che controllano i processi di produzione e siedono a livello di controllo fisico del processo**
- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) che consente attività di supervisione ed acquisizione dei dati ed è comunemente utilizzato nei sistemi di controllo industriale**
- MES (Manufacturing Execution System) o sistemi di gestione e controllo della produzione con le funzioni annesse di emissione ordini, avanzamenti di produzione versamenti a magazzino**
- ERP (Enterprise Resource Planning), evoluzione dei sistemi MRP (Material Requirements Planning), per il livello di gestione aziendale, che è il livello più alto ed integra i processi di business (vendite, acquisti, magazzini, contabilità, ...)**

Integrazione verticale



6. Industrial Internet

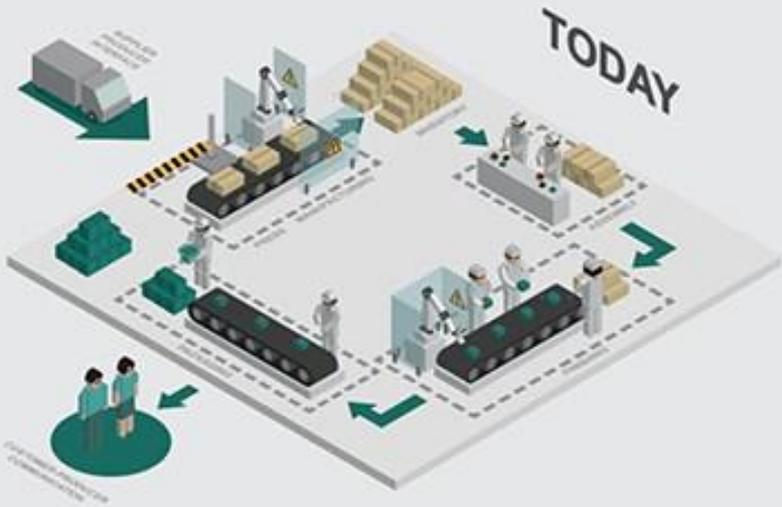
Comunicazione tra elementi della produzione, non solo all'interno dell'azienda, ma anche all'esterno grazie all'utilizzo sempre più diffuso ed efficace del web.



EXHIBIT 2 | Industry 4.0 Is Changing Traditional Manufacturing Relationships

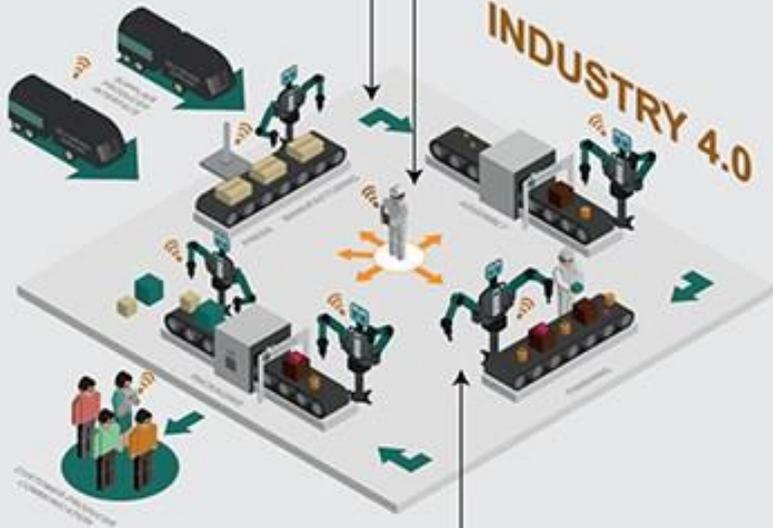
From isolated, optimized cells ...

...to fully integrated data and product flows across borders



Integrated communication along the entire value chain reduces work-in-progress inventory

Greater automation will displace some of the least-skilled labor but will require higher-skilled labor for monitoring and managing the factory of the future

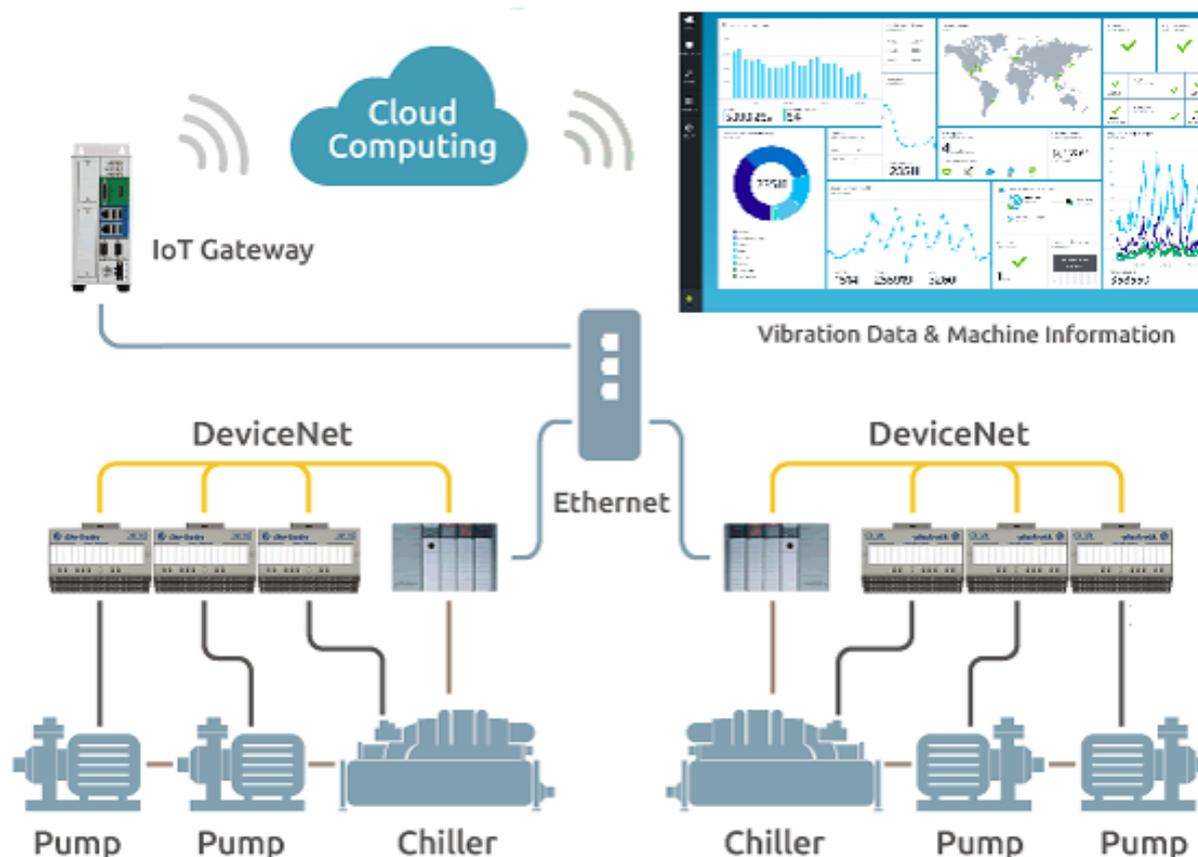


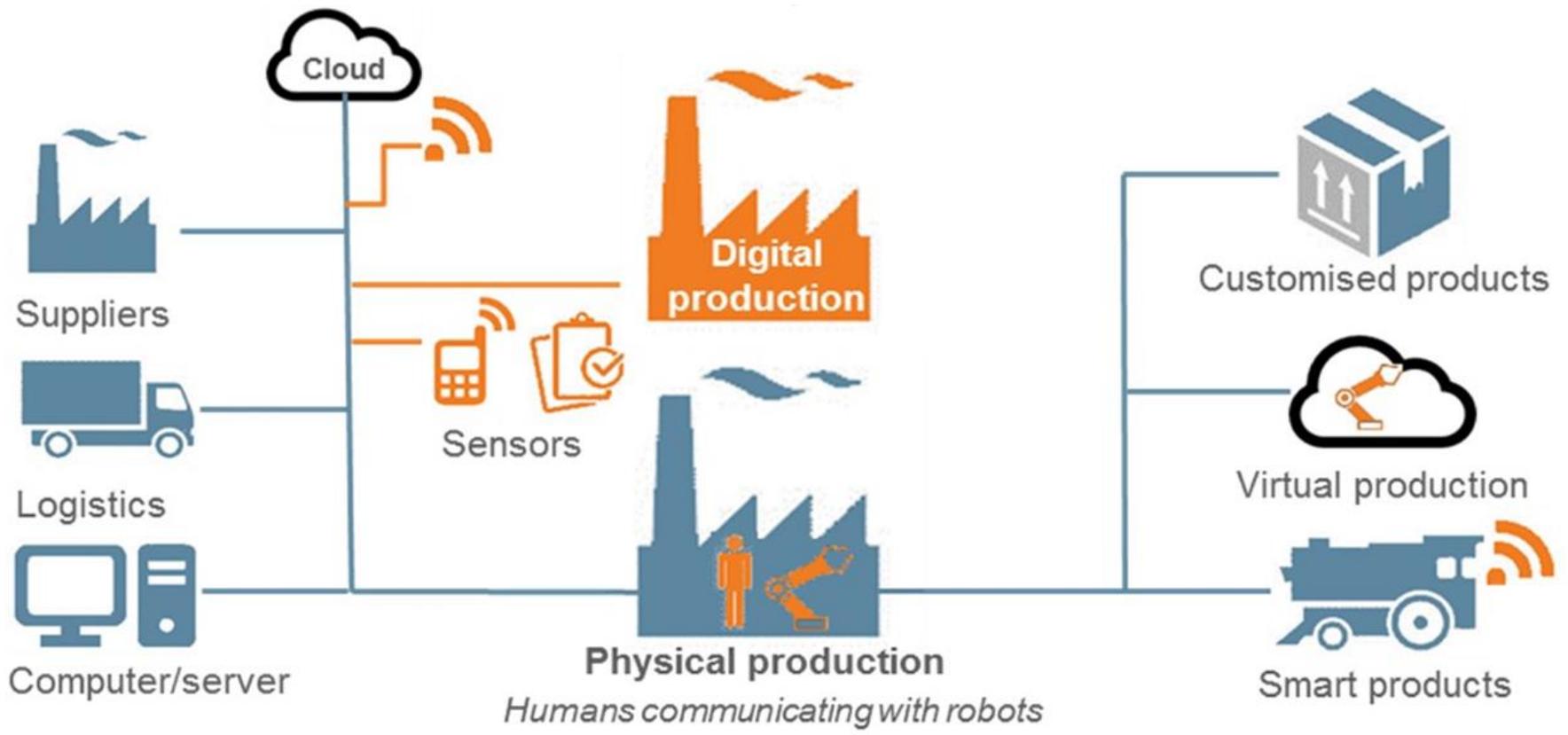
Machine-to-machine and machine-to-human interaction enables customization and small batches

Source: BCG.

7. Cloud

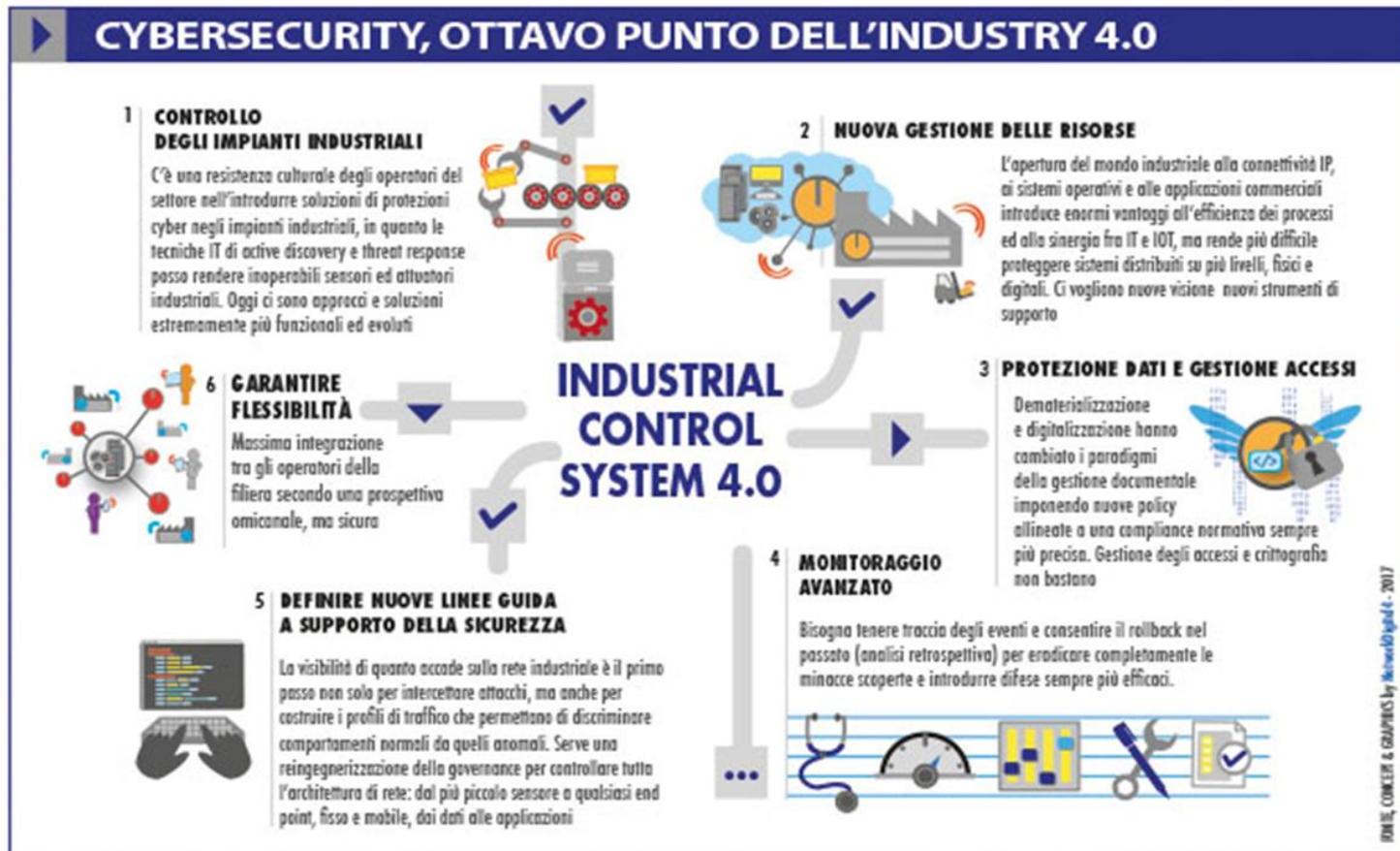
Implementazione di tecnologie cloud come lo storage online delle informazioni, l'uso del cloud computing, di servizi esterni di analisi dati. Sono contemplate anche le tecniche di gestione di grandissime quantità di dati attraverso sistemi aperti





8. Cyber Security

L'aumento delle interconnessioni apre la porta a tutta la tematica della sicurezza delle informazioni e dei sistemi che non devono subire alterazioni dall'esterno.



9. Big Data Analytics

Tecniche di gestione di grandissime quantità di dati attraverso sistemi aperti che permettono previsioni o predizioni.

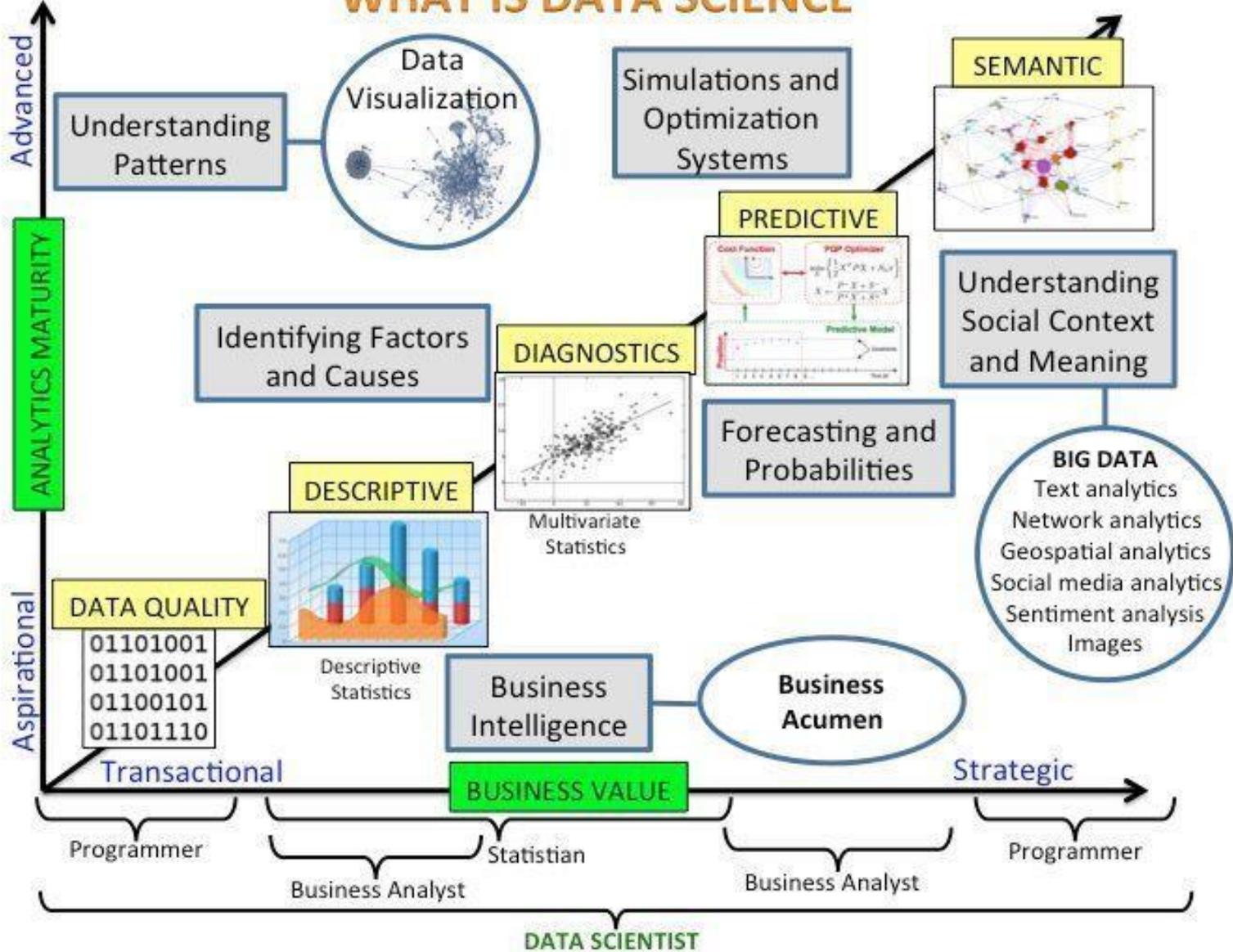
L'analisi dei Big Data si traduce in 6 momenti:

1. **Connessione:** collegamento degli elementi di processo con sensori e reti
2. **Cloud:** calcolo algoritmi e disponibilità di dati quando necessario
3. **Cyber:** sviluppo di un modello ed una memoria degli eventi
4. **Contenuto e Contesto:** il calcolo e lettura del significato e della correlazione dei valori
5. **Comunità:** collaborazione tra tutti gli elementi coinvolti nel processo
6. **Personalizzazione:** possibilità di creare modelli personalizzati e consistenti

Big Data

- **L'analisi dei big data e il cloud computing aiuteranno l'individuazione precoce di difetti e possibili problemi, migliorando la prevenzione, la produttività, la qualità e la flessibilità dei sistemi, apportando valore competitivo**
- **In questo scenario e al fine di fornire informazioni utili alla gestione della fabbrica, i dati devono essere elaborati con strumenti avanzati (analisi e algoritmi) per generare informazioni significative**
- **Considerando la presenza di problemi visibili e invisibili in una fabbrica industriale, l'algoritmo di generazione delle informazioni deve essere in grado di rilevare e risolvere problemi invisibili quali il degrado delle macchine e l'usura dei componenti**

WHAT IS DATA SCIENCE



La Smart Factory

