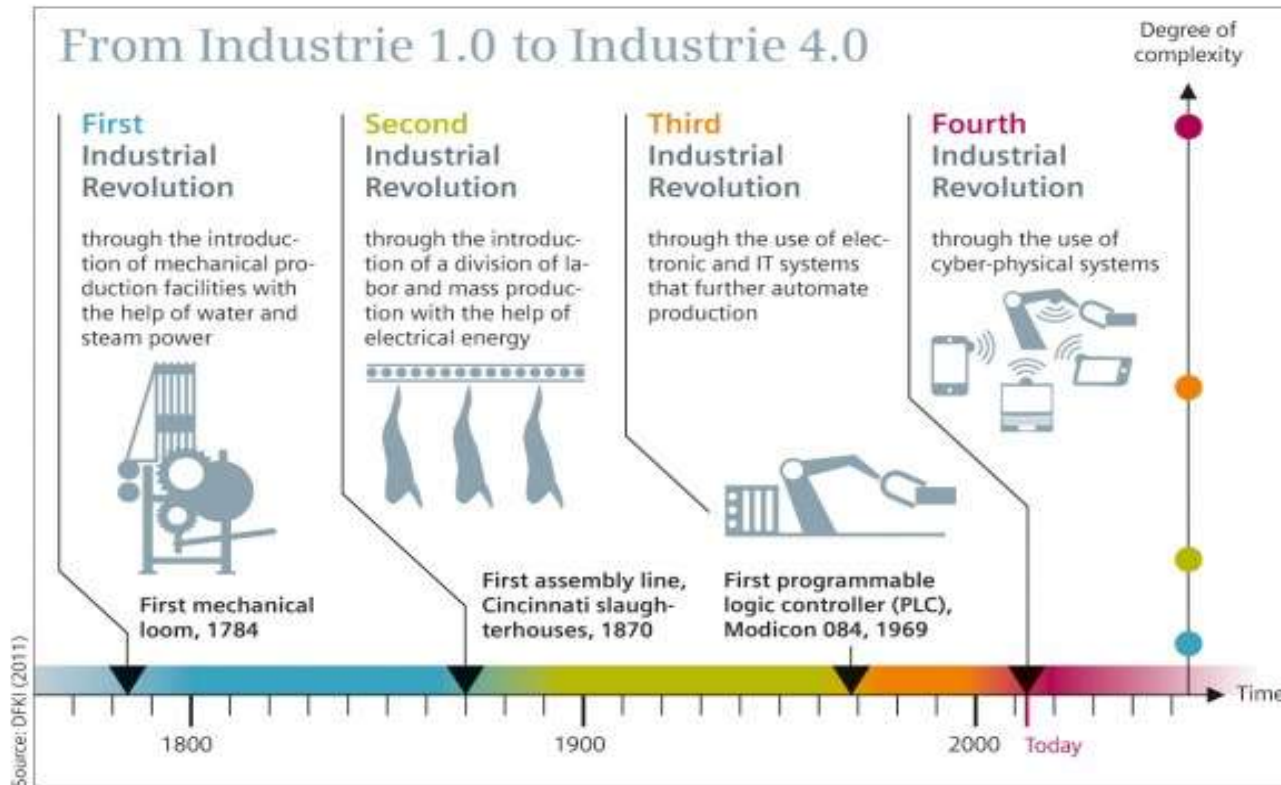


Cyberphysical Production Systems (CPPS): come funzionano e operano nella fabbrica intelligente

Alessandro Marini

The 4th industrial (r)evolution

DHAI, associazione tedesca degli ingegneri informatici, hanno introdotto l'industria 4.0

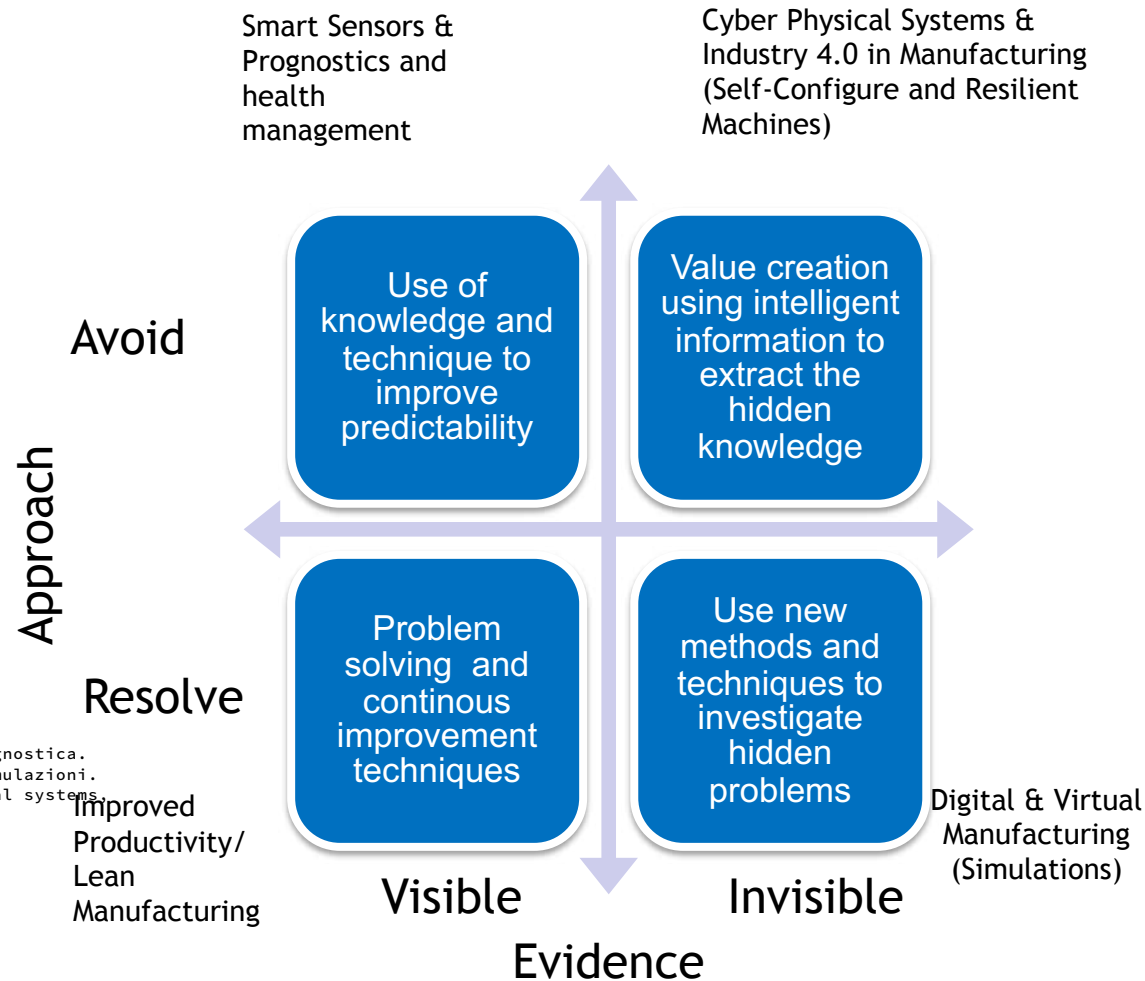


Il nuovo scenario della manifattura intelligente

La manifattura intelligente richiede il totale ripensamento dei tradizionali approcci al problem solving

Ulteriori miglioramenti di efficienza e produttività saranno mirati ad evitare problemi e ad intercettare specifiche anomalie che si verificassero con il tempo

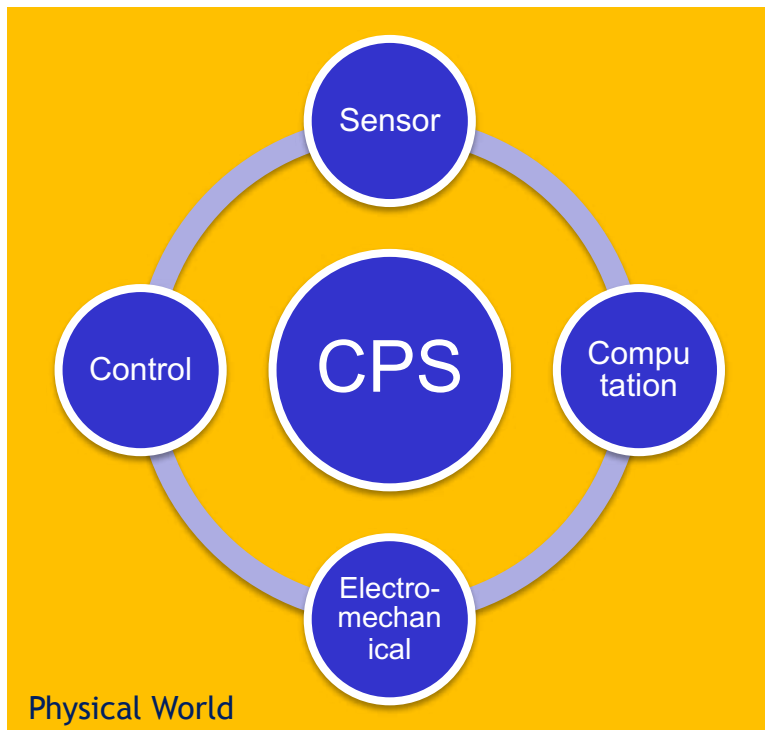
Se hai un problema visibile e lo vuoi analizzare devi usare la prognostica.
Quando hai un problema invisibile e lo vuoi risolvere devi fare simulazioni.
Se hai un problema invisibile e lo vuoi evitare usi i cyber physical systems,
devi estrarre conoscenza e creare valore usando intelligentemente le informazioni.



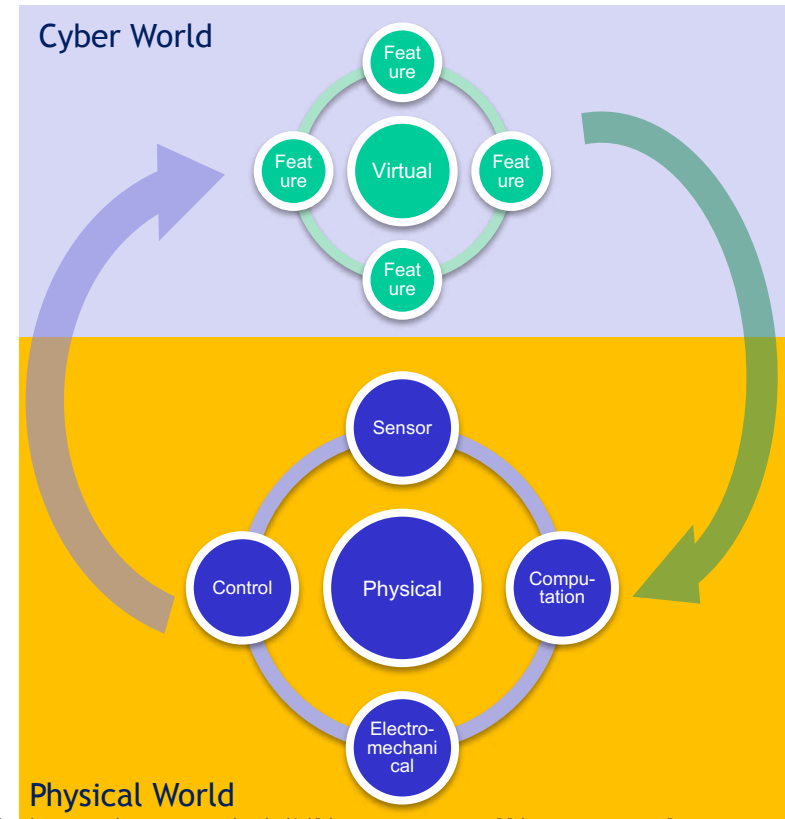
Cos'è un Cyber Physical System?

Visione Tradizionale

(Edward A. Lee) Aveva descritto nel 2003 il cyber physical system come un oggetto che ha una parte elettromeccanica, dei sensori e poi un controllo e una capacità computazionale.



Nuova Visione



E' l'oggetto mecatronico davvero da informatico? Ci puo' portare lui ad avere delle informazioni per evitare cose invisibili? In genere quelli eseguono qualcosa nella macchina ma non danno informazioni su come operano o se stanno andando bene o male, eseguono solo il lavoro. Abbiamo una parte fisica (tutta) ma dobbiamo avere nel mondo cyber o virtuale la rappresentazione dell'oggetto fisico, una rappresentazione topologica? No, una rappresentazione del comportamento dell'oggetto fisico, che e' rilevante se riesco a portarlo in un mondo digitale dove l'informatico e' in grado di approfittare delle informazioni che ha. La parte cyber di un sis cyberfisico e' la rappresentazione nello spazio virtuale di un oggetto cyber fisico.

Se continuo a rilevare due dati da un trapano posso costruire nel tempo l'evoluzione dei giri del trapano, della vibrazione della punta, e dell'usura della punta, che altrimenti misurerei solo togliendo la punta. Possiamo misurare giri e vibrazione, ma non possiamo misurare l'usura mentre stiamo lavorando, pero' possiamo costruirci una variabile virtuale chiamata usura, sappiamo rilevare dati attraverso calcoli. Ho preso un dato che serviva ad altro e l'ho utilizzato per rappresentare addirittura un altro sistema cyber fisico, gli ho dato un significato di un altro sistema cyberfisico di cui non raccoglievo i dati (la conta dei biscotti utile per poter calcolare la massa totale).

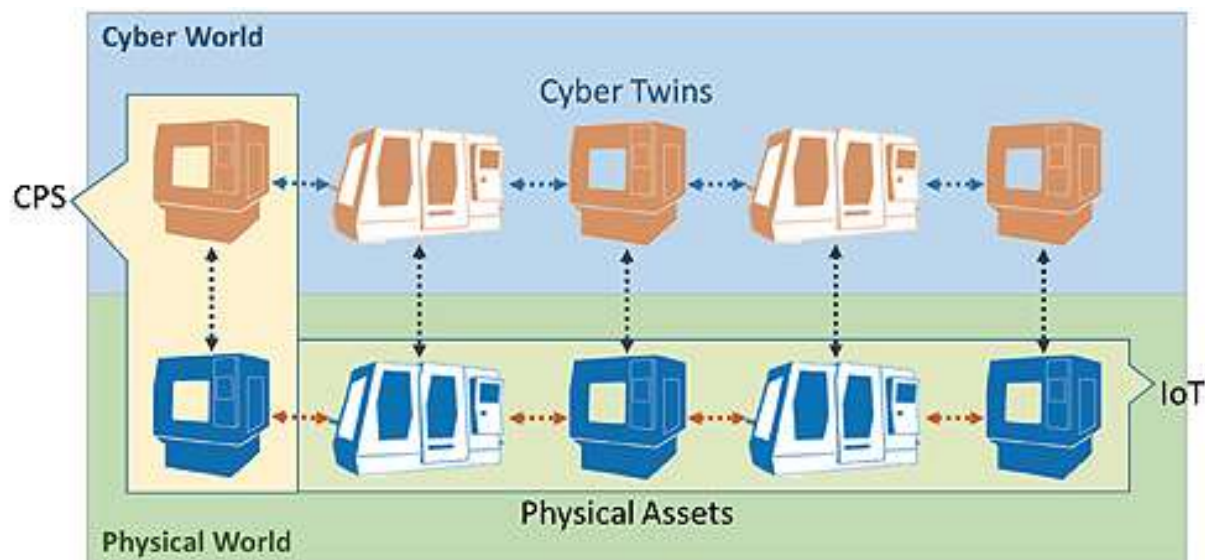
Hitachi Rave, una azienda a Napoli, ha un oggetto chiamato IOTrain e costruiscono un treno virtuale da tutti i dati raccolti dai sensori, quando vogliono provare un certo treno sono in grado di simularlo perche' hanno raccolto i dati di molti sensori, i sensori cerotto (energy harvesting), sono sensori che hanno sistemi che con l'energia cinetica riescono a caricare una batteria.

Paradigma CPPS

L'oggetto e' scarico e per misurare, con l'energia cinetica della rotazione, quando e' carica rilascia l'informazione. Sul treno c'e' un sistema di raccolta dati... E' il sistema cyberfisico dell'assale del treno. Attraverso questa e altre informazioni fanno il modello del treno, che riescono a simulare come in situazioni reali.

Cyber Twin

L'esempio di F1 lo chiamiamo virtual commitioning, i pezzi si incontrano solo quando si danno al cliente, c'e' un computer che quando viene attaccato all'accessorio ti permette di simulare il funzionamento della macchina, l'accessorio ha lavorato esattamente come se ci fosse la macchina.

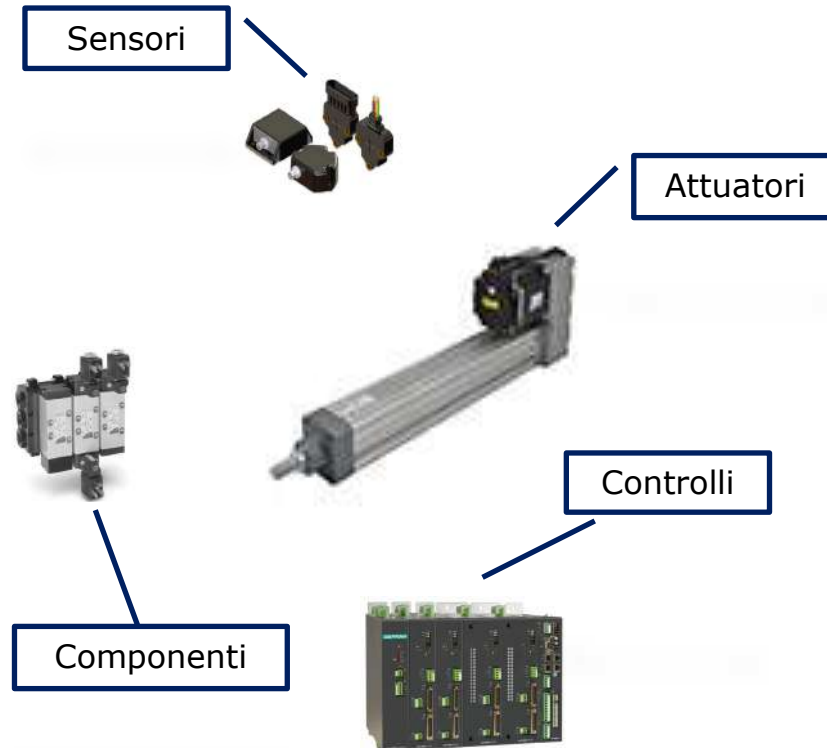


- Il paradigma della copia virtuale nel cyber space:
 - CPS: Cyber Physical System
 - Cyber Physical Production System
- ## CPPS

- Progettare un "cyber twin": disegnare un modello utile partendo dal progetto di una macchina o di un componente
- Costruire il "cyber twin": modellare nello spazio virtuale il **comportamento** di un oggetto fisico (-> cosa che ci permette di istanziare un Cyber Physical System)
- Modellare, raccogliere e classificare sistematicamente i dati industriali per supportare le operazioni produttive sia in reparto che per la gestione della produzione ed arricchire l'oggetto di nuove capacità e funzionalità -> dal Cyber Twin al CPS

Verso i Cyber Physical Production System

Come i sistemi meccatronici si trasformano in CPPS



Internet of Things

+ Connettività IP

Cyber-Physical Systems

+ Comunicazione internet

+ Comunicazione M2M

- Comunicazione Wireless
- Descrizione Semantica

Sistemi integrati

+ Sensori, attuatori

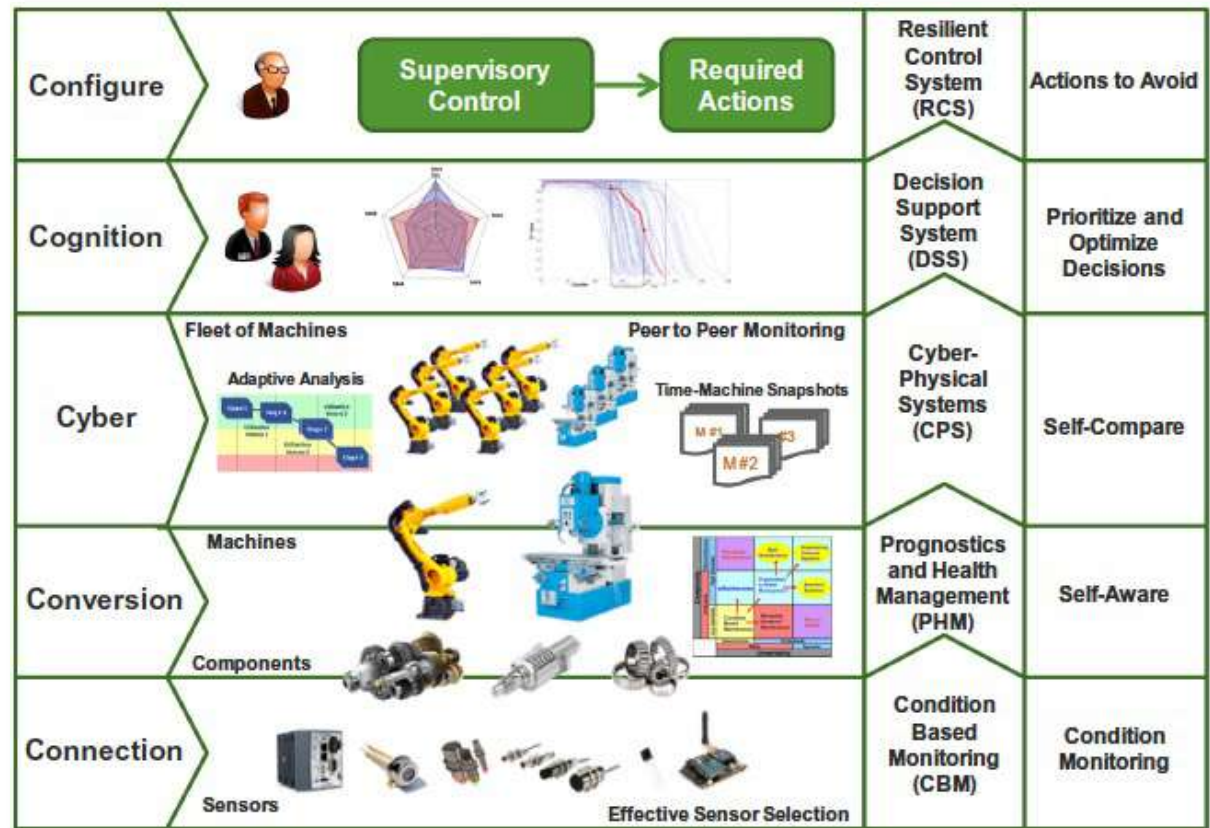
+ Intelligenza integrata

Oggetti Fisici, componenti

Modello concettuale di riferimento

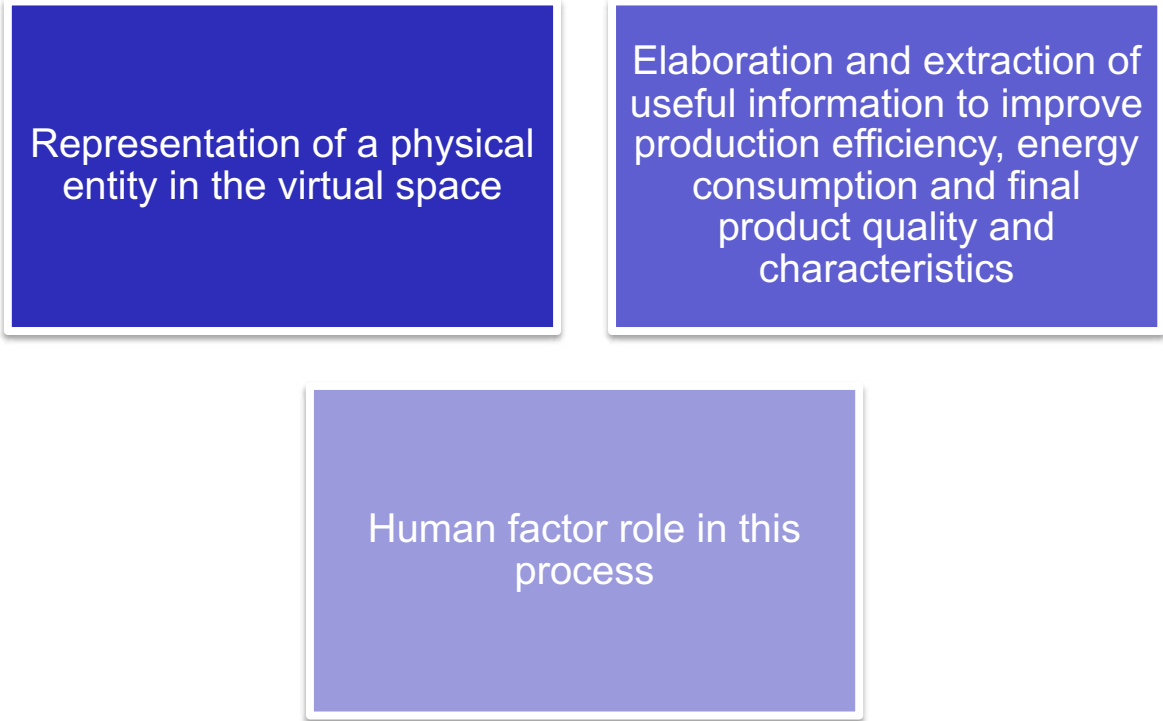
Con il modello big data vado a costruire la rappresentazione nello spazio virtuale del comportamento di oggetti fisici, se ho due macchine uguali potrei confrontarne il comportamento. Attraverso questa elaborazione posso costruire comportamenti generalizzati e migliorare i processi, posso costruire una retroazione e costruire il comportamento di una macchina attraverso stati particolari, addestrare una rete neurale.

- Raccolta e modellazione
- Trattamento dei dati
 - Sintesi
 - Presentazione
 - Analisi e configurazione
- Nuove funzioni per gli impianti
 - Self awareness
 - Self configuration
 - Self adjustment
 - Self optimisation



L'analisi di contesto e' fondamentale, bisogna conoscere il processo produttivo, posso estrarre col ml una serie di informazioni ma il problema e che lo posso fare solo se conosco bene il processo. Il data analyst non e' un informatico, e' uno che ha bisogno dell'informatico e riesce a capire il significato dei dati che uno gli fa vedere.

Il processo



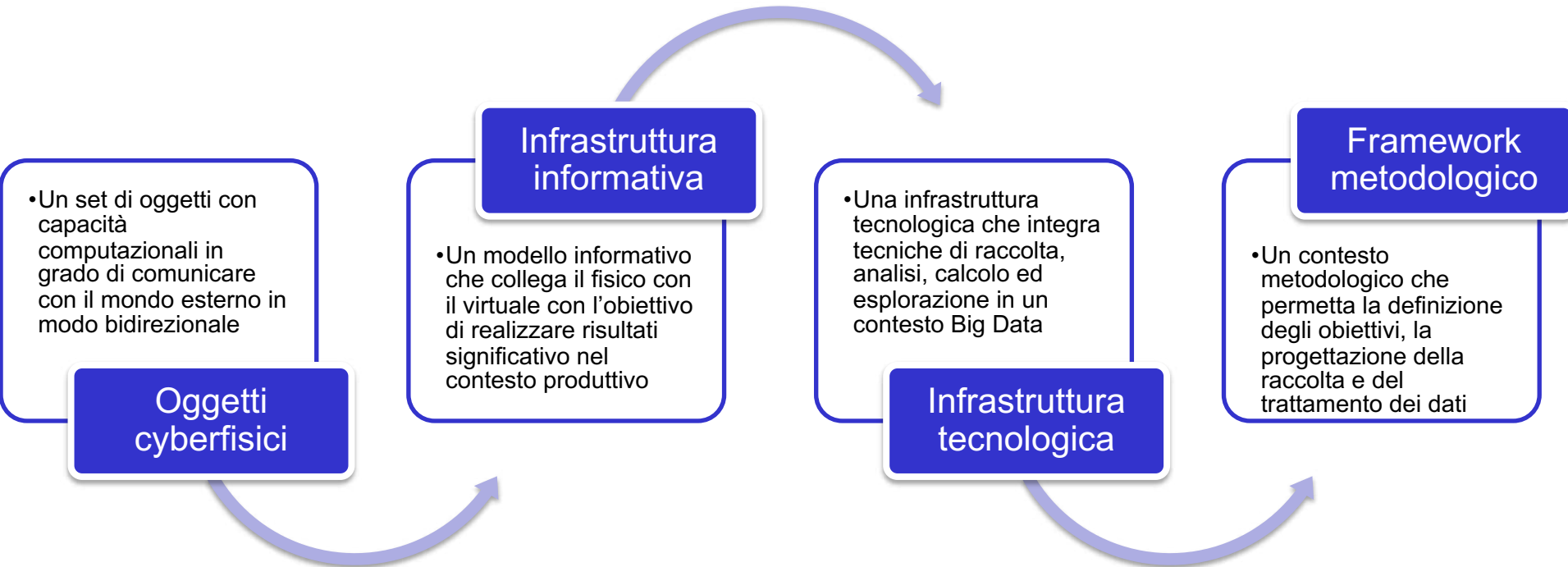
Modeling Cyber Physical Production Systems

How to turn industrial data into enterprise assets

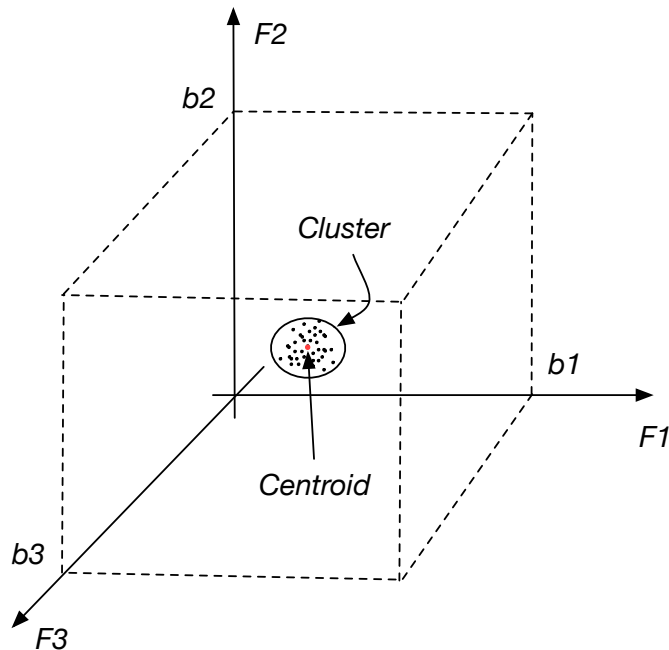
Questa frase l'ha detta un direttore generale della ricerca quando e' stato introdotto l'Industry 4.0, Stefano Pirpo, una cosa che e' disponibile da anni (sensori) se riusciamo a dargli un significato diventa valore per l'impresa.

Sistemi cyberfisici

Se ho un trapano, la punta quando si usura porta vibrazione, se voglio farlo andare a un velocita' (1500rpm) assorbe piu' corrente man mano che spingo, a un certo punto la corrente assorbita ($220V \times \text{corrente}$), tanta piu' potenza assorbo tanto piu' sforzo devo fare. In funzione del numero di giri del motore posso vedere cosa sta succedendo. Ho creato uno spazio che mi dice "Usura dell'utensile". Utensile consumato al 20%, 40%..



CPPS: modellare nello spazio virtuale le caratteristiche di un oggetto fisico



« Feature Space » è uno spazio multidimensionale creato a partire dalle « Features » che descrive un particolare comportamento di un oggetto fisico (macchina, sensore, componente, ...)

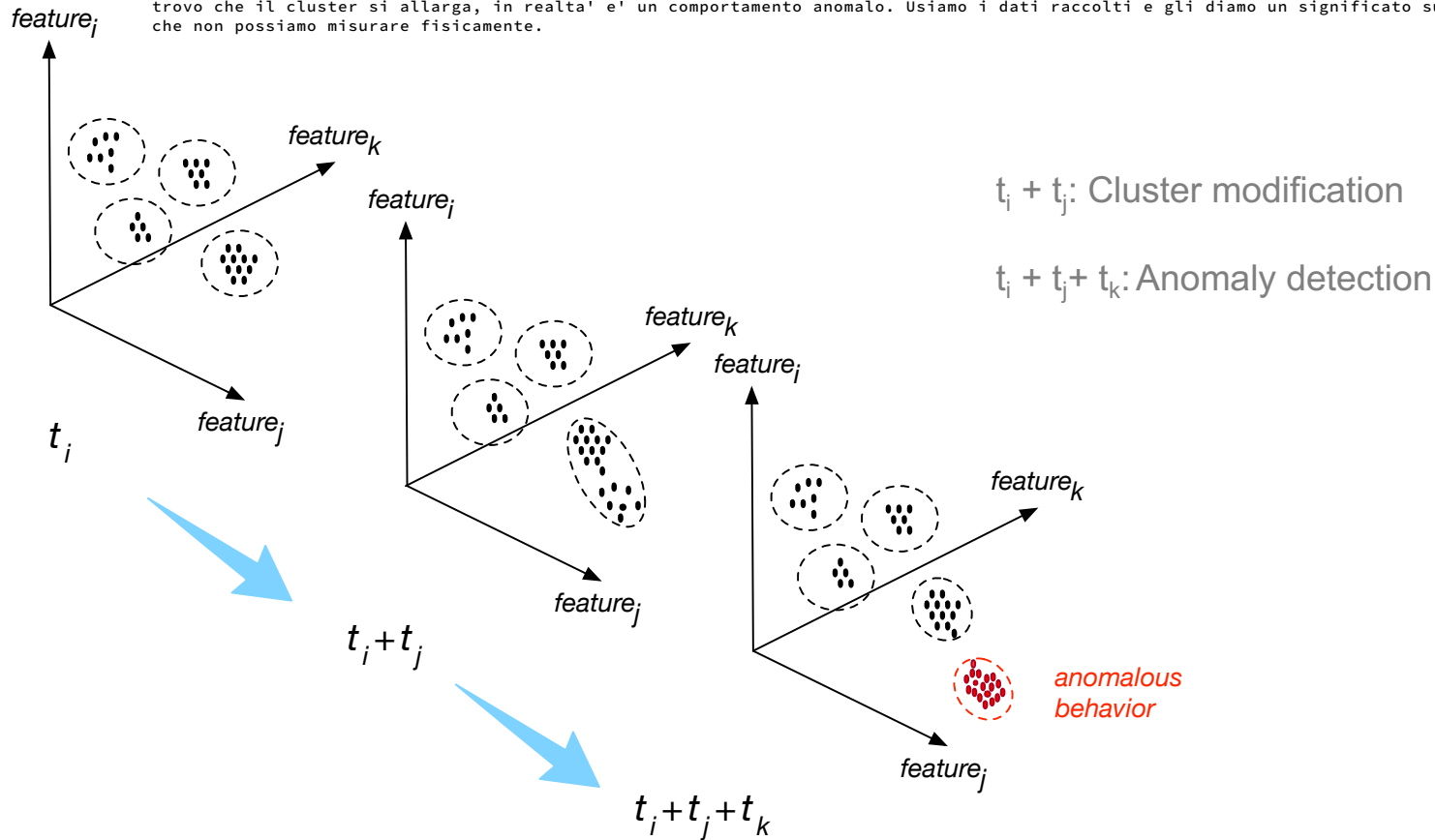
« Feature » è la misura di una caratteristica di un oggetto fisico (e.g. velocità, rpm, vibrazione, spostamento, pressione, temperatura...)

Cluster è un insieme di punto di lavoro che descrivono un comportamento

Il problema del tracking dell'evoluzione del cluster

Ciascuno dei clusters da' un'informazione sul comportamento del trapano al variare dell'usura della punta.

Quando arriva un comportamento anomalo (l'utensile ha avuto un crollo o problema al motore), che mi segnala un guasto, a un certo punto trovo che il cluster si allarga, in realta' e' un comportamento anomalo. Usiamo i dati raccolti e gli diamo un significato su qualcosa che non possiamo misurare fisicamente.



Identificazione di un cluster



Algoritmi di clustering

BIRCH

Algoritmo base di clustering

Introduce il concetto di Cluster Feature

(CF) CF: una tupla contenente le caratteristiche del cluster ($N; \vec{LS}, SS$)

CF possiede la proprietà della additività: la somma dei CFs uguale alla somma delle sue parti

ClusTree

Evoluzione gerarchica di BIRCH

Le sintesi sono summarize in un albero con un numero predefinito di livelli

Introduce la possibilità di summarize i flussi

CluStream

Metodo per la partizione dei flussi

Calcolo periodico e additivo delle registrazioni nel cluster e memorizzazione delle caratteristiche calcolate

CF modificato contiene: ($N; \vec{LS}, SS, \vec{LT}, ST$)

Caratteristiche degli algoritmi di clustering

BIRCH (Balanced Iterative Reducing and Clustering using Hierarchies)

$$\overrightarrow{LS} = \sum_{i=1}^N \overrightarrow{X_i}$$

$$SS = \sum_{i=1}^N \overrightarrow{X_i}^2$$

Centroid

$$\overrightarrow{X_0} = \frac{\sum_{i=1}^N \overrightarrow{X_i}}{N}$$

Radius

$$\overrightarrow{R} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\overrightarrow{X_i} - \overrightarrow{X_0})^2}{N}}$$

Diameter

$$\overrightarrow{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\overrightarrow{X_i} - \overrightarrow{X_j})^2}{N(N-1)}}$$

La dimensione temporale (CluStream):

$$\overrightarrow{LT} = \sum_{i=1}^N \vec{t}_i \quad ST = \sum_{i=1}^N \vec{t}_i^2$$

N= number of points in the synthesis

Identificazione dei cluster attraverso un approccio statistico

Cluster. Una tupla di 5 caratteristiche $C = \langle N, \overrightarrow{LS}, SS, \vec{X}0, R \rangle$, dove:

- (i) N è il numero di registrazioni incluse nel cluster (da $X(t_1)$ a $X(t_n)$, dove $t_n = t_1 + \Delta t$);
- (ii) \overrightarrow{LS} è un vettore rappresentante la somma linea dei punti presenti nel cluster C ;
- (iii) SS è la somma quadratica dei punti presenti nel cluster C ;
- (iv) $\vec{X}0$ rappresenta il centroide del cluster;
- (v) R è il raggio del cluster.

$$\overrightarrow{LS} = \sum_{k=1}^N \vec{X}(t_k)$$

Centroide

$$\vec{X}0 = \frac{\sum_{k=1}^N \vec{X}(t_k)}{N} = \frac{\overrightarrow{LS}}{N}$$

$$SS = \sum_{k=1}^N \overrightarrow{X^2}(t_k)$$

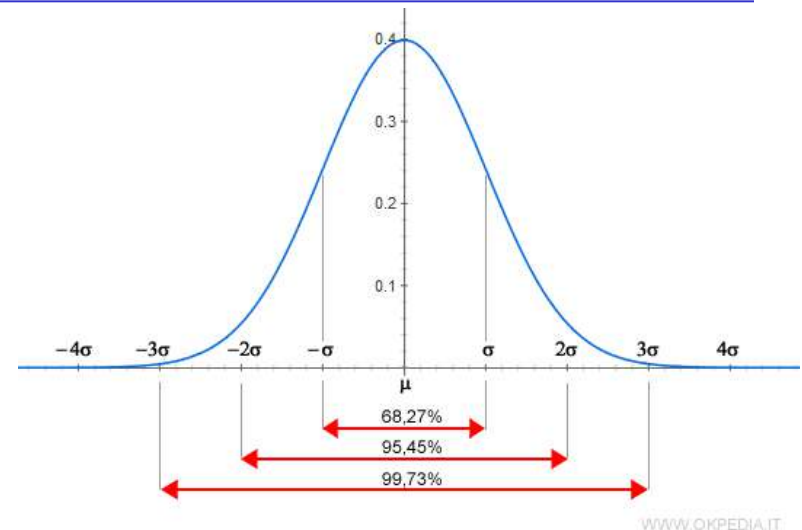
Raggio della sintesi

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\vec{X}(t_k) - \vec{X}0)^2}{N}} = \sqrt{\frac{SS}{N} + \frac{(1 - 2N)\overrightarrow{LS}}{N^3}}$$

N= numero delle registrazioni incluse nel cluster

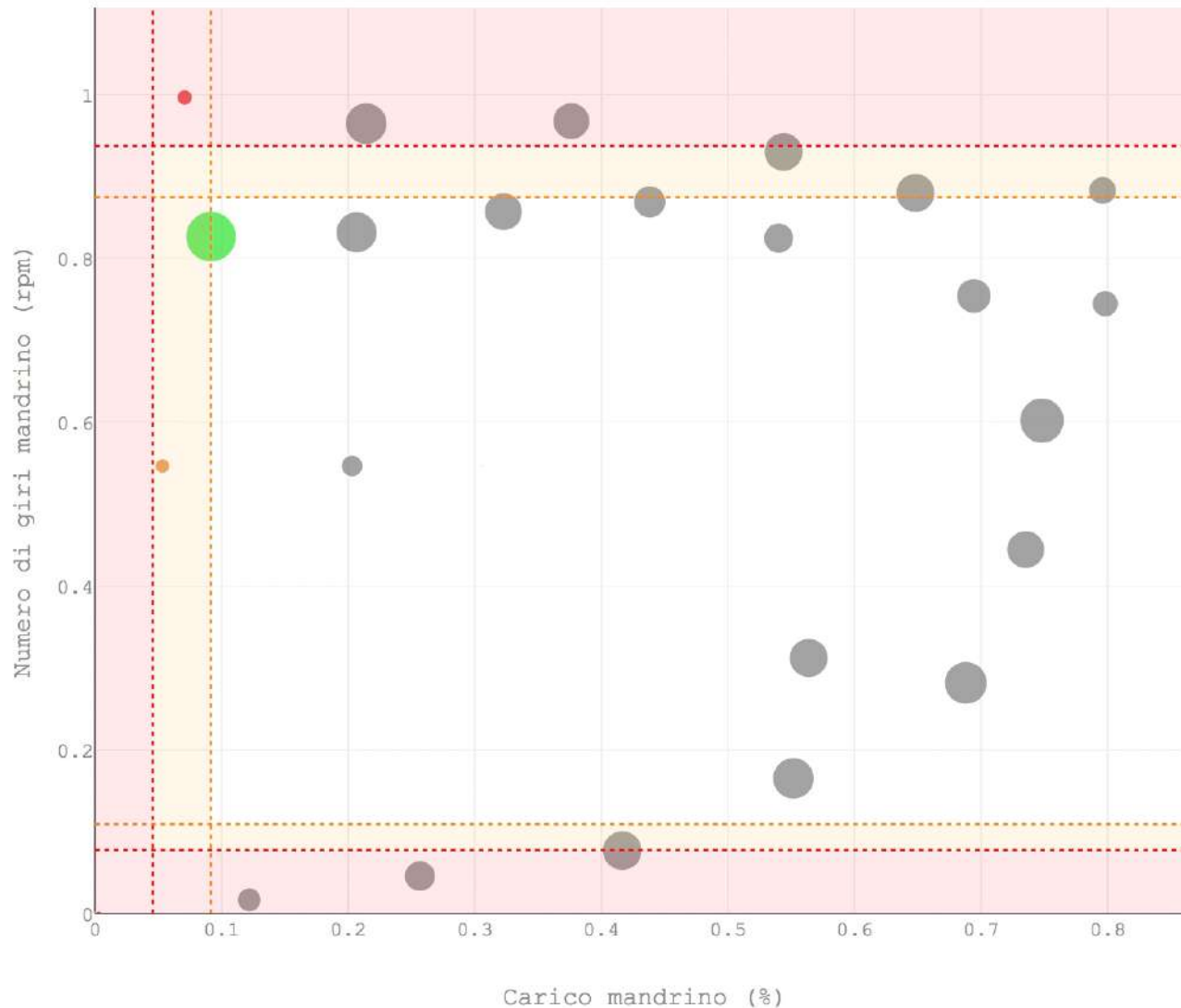
Interpretare i cluster

- La forma delle equazioni di calcolo di $\vec{X}0$ e di R dei cluster sono uguali alle formule per il calcolo della media μ e dello scarto quadratico medio σ di una popolazione statistica
- In effetti $\vec{X}0$ e R hanno proprio un significato statistico rispetto ai punti racchiusi nei cluster
- L'approccio proposto prevede:
 - ▶ L'eliminazione dei cluster che contengono un numero di punti inferiori ad una certa percentuale del numero totale di punti della popolazione totale
 - ▶ La stima della qualità del cluster identificato confrontando il peso dei punti contenuti in esso con la dimensione del raggio R ovvero della dispersione di una popolazione
 - ▶ Più è piccolo R e grande il numero di punti contenuto nel cluster e più siamo di fronte ad una rappresentazione reale del comportamento dell'oggetto in esame
 - ▶ Più R è grande e più la popolazione risulta dispersa e quindi siamo di fronte ad un comportamento incerto dell'oggetto in esame



Esempio di clustering statistico

Il comportamento di un CPPS dipende solo dalle Feature



Tempo: Thu Jan 07 03:00:00 CET 2016 - Thu Jan 07 04:00:00 CET 2016



Aspetti distintivi dei sistemi cyberfisici

Se riesco a controllare le cose che determinano il processo e' piu' facile intervenire, se controllo solo il risultato non e' detto che riesca a centrare la singola cosa sbagliata.



Aspetti metodologici:

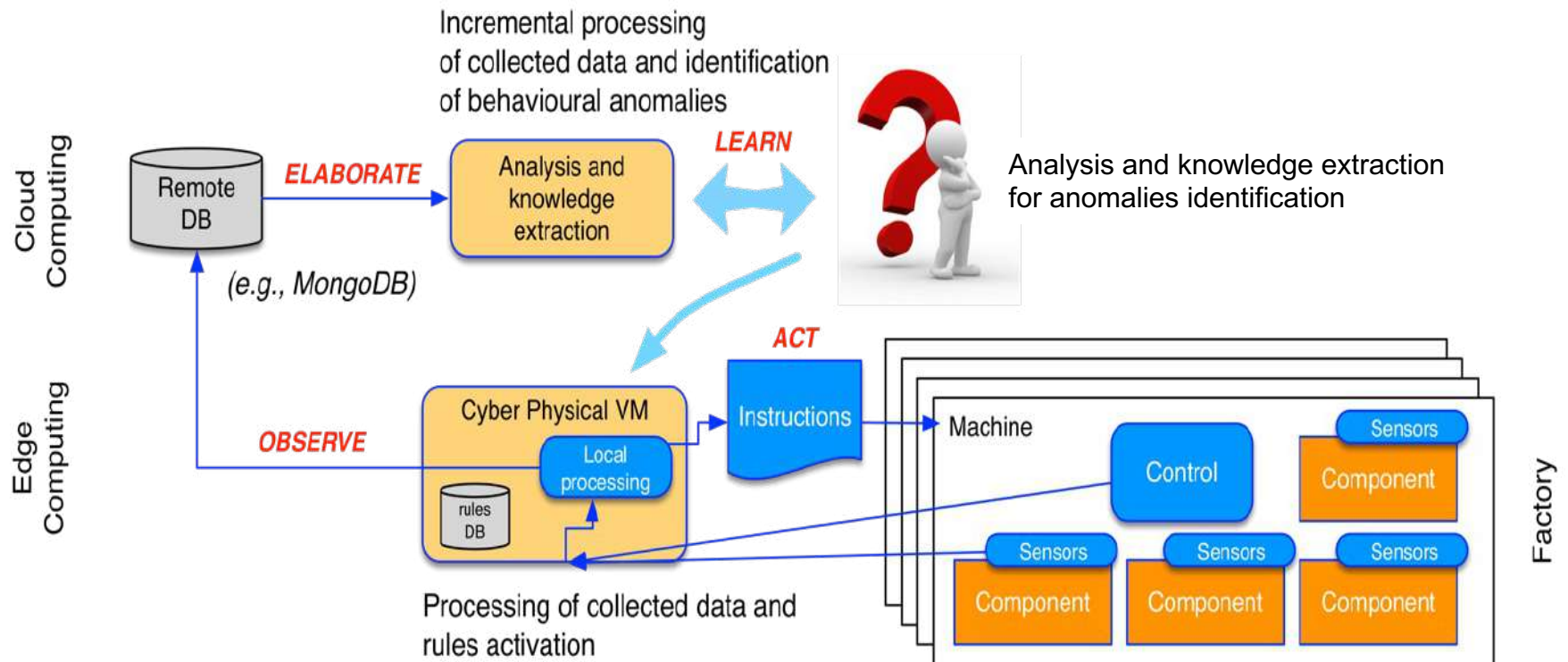
Progettazione di un feature space

Il momento torcente e' un proxy della coppia massima, non posso misurare la coppia perche' dovrei fermare l'oggetto, ma posso usare lo sforzo del motore per misurare la coppia mentre l'oggetto lavora.



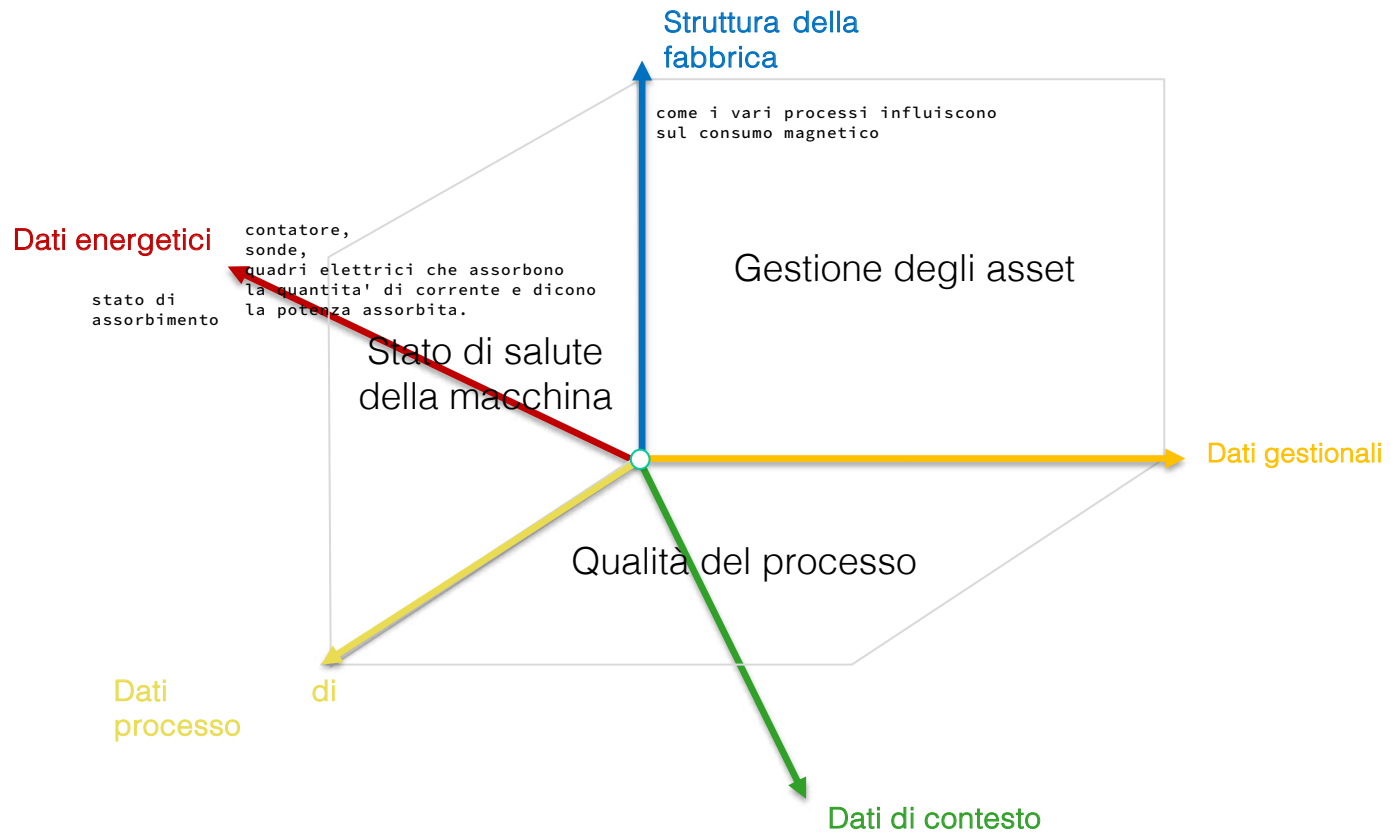
Il processo CPPS

Human is in the loop



Disegno informativo

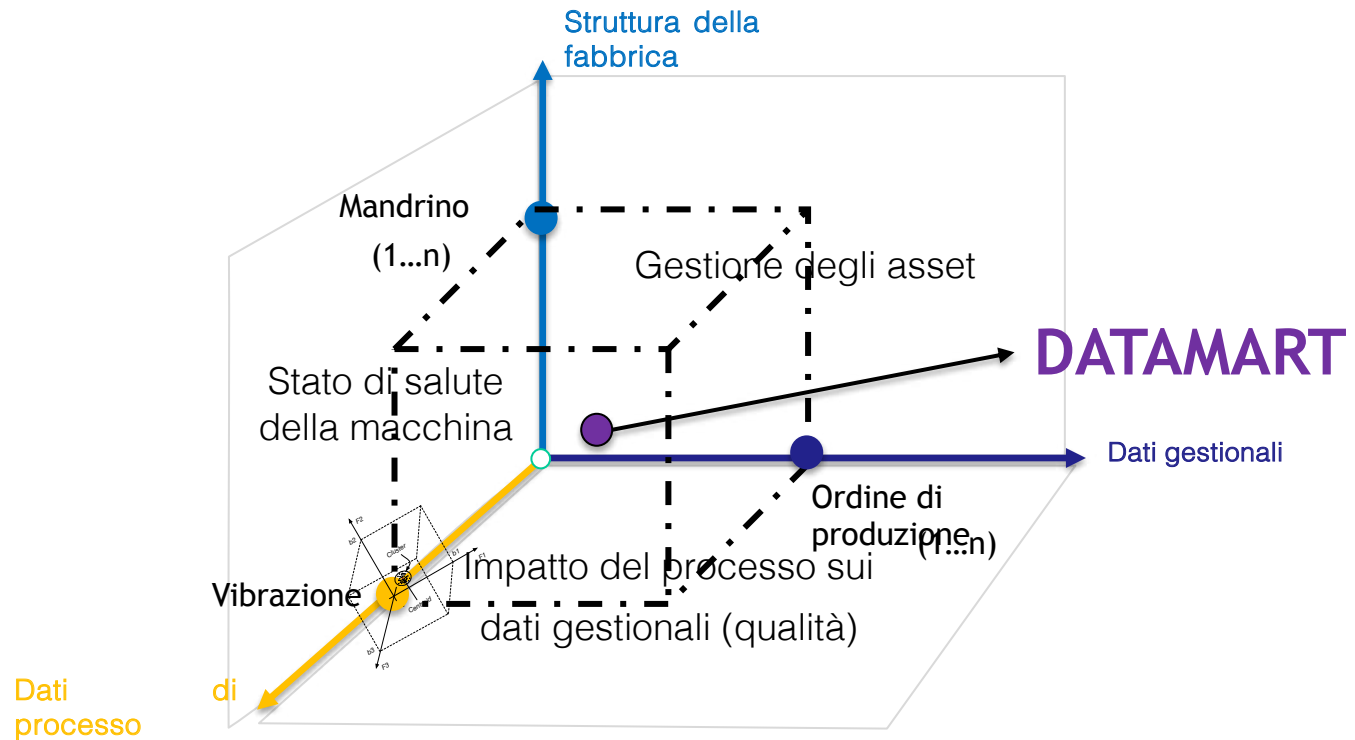
Inquadrare il problema per definire gli obiettivi



Dal feature space agli spazi multidimensionali

L'approccio Datamart

L'approccio Datamart permette di collegare le variabili di processo, anche derivanti da una analisi dei dati, con gli obiettivi dell'impresa



Ricapitoliamo

Sistemi informativi di produzione di nuova generazione

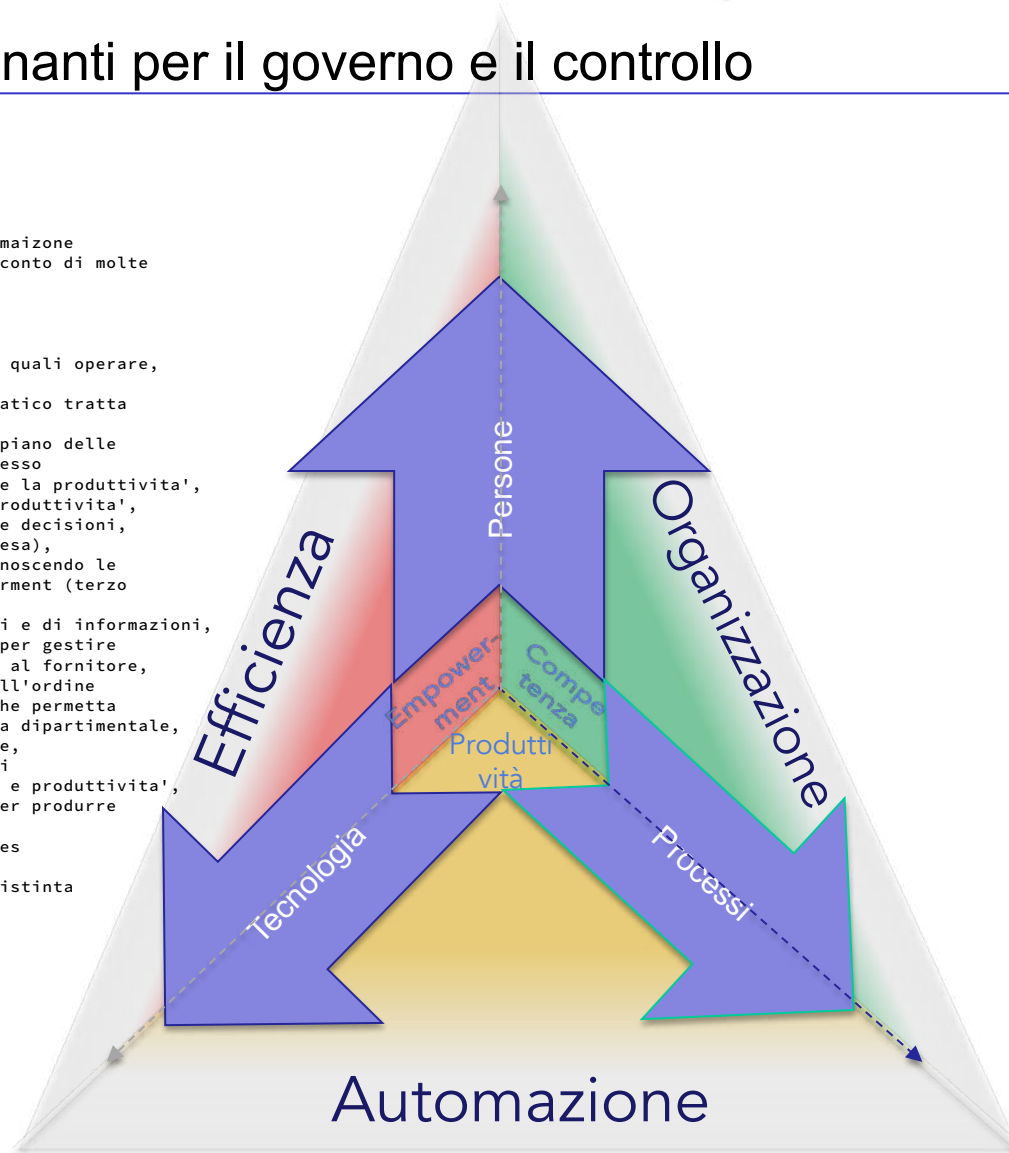
La gestione delle informazione nell'impresa moderna

I fattori determinanti per il governo e il controllo

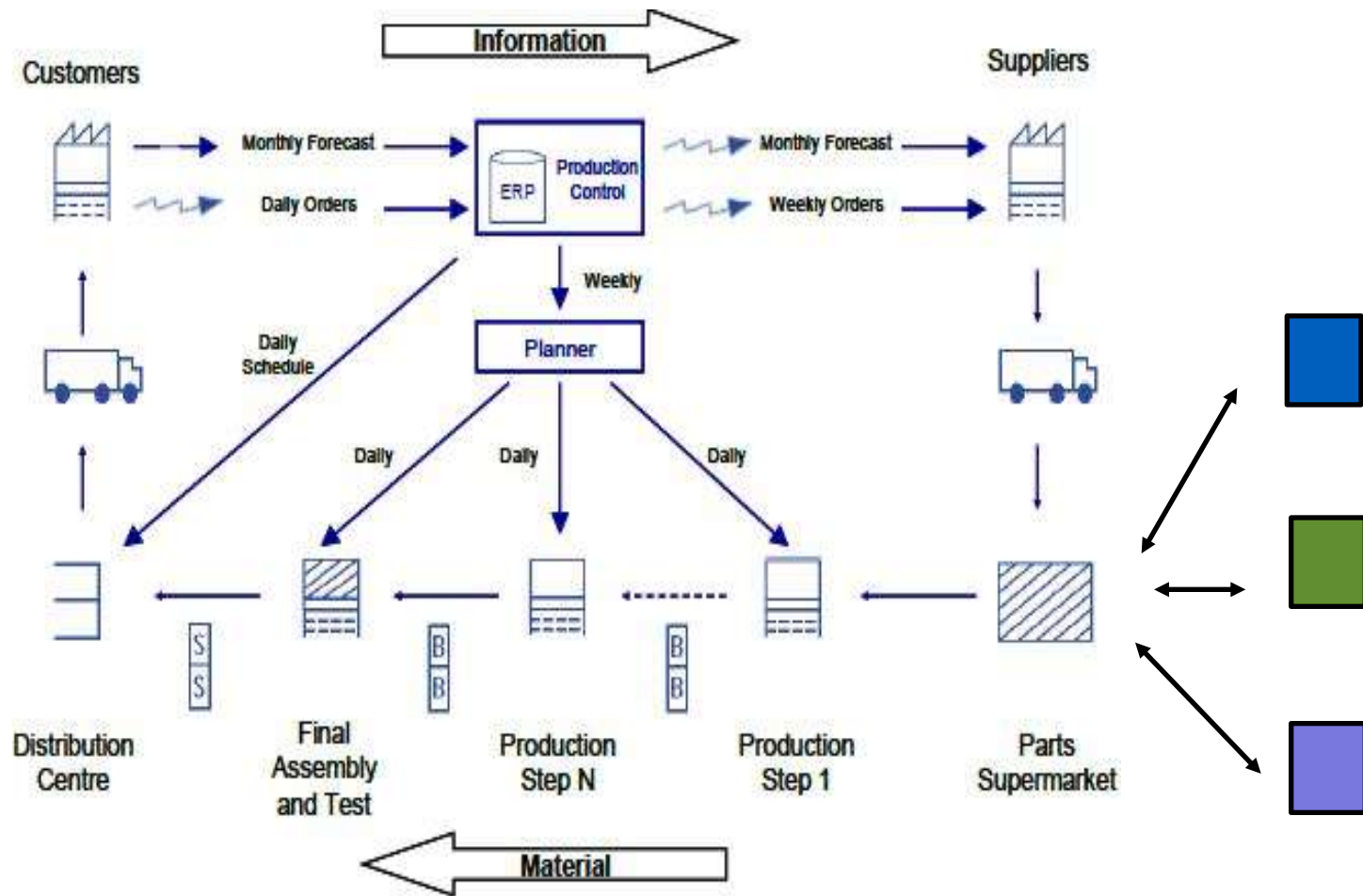
Quando analizziamo la gestione dell'informazione all'interno di un'impresa dobbiamo tener conto di molte più cose oltre alla tecnologia:

persone
processi
tecnologie,
ciascun piano identifica degli ambiti nei quali operare, fa appello alla competenza nell'ambito di processi e persone, l'ingegnere informatico tratta le informazioni,
il piano tra tec e processi determina il piano delle automazioni, se voglio migliorare un processo applico una tecnologia intelligente, vince la produttività, l'obiettivo nell'usare tecnologie è la produttività, tutti i risultati estratti e per prendere decisioni, per ottenere efficienza (valore sull'impresa), mettere informazioni rilevanti insieme conoscendo le competenze delle persone si chiama empowerment (terzo piano), e questa è la smartness.

Nelle imprese esistono flussi di materiali e di informazioni, le abbiamo messe nel sistema gestionale per gestire il flusso del materiale (mandare l'ordine al fornitore, metterle a magazzino...), quando arrivo all'ordine di produzione devo costruire un sistema che permetta di accedere al micro dettaglio, un sistema dipartimentale, l'oggetto chiave è l'ordine di produzione, esistono operazioni che vengono svolte sui centri di lavoro, ci sono tempi assegnati e produttività, viene segnato il materiale da prelevare per produrre e il materiale che esce, l'obiettivo è produrre un codice parte (es la flangia), l'ordine di produzione si colloca nella distinta base.



Flusso dei materiali e delle informazioni nella filiera



<https://youtu.be/5pn8qAKL0V4>

La Struttura architeturale dei sistemi di produzione

Sistema
Gestionale

Strumenti per la pianificazione e programmazione della produzione

Strumenti per la gestione dei dati tecnici di produzione

Strumenti per la creazione e gestione degli ordini di produzione

Sistemi
dipartimentali

Strumenti per gestione e controllo della produzione e la gestione delle operazioni di fabbrica

Strumenti per il collegamento diretto con gli impianti produttivi e lo scambio di informazioni e istruzioni operative

L'ordine di produzione è il veicolo informativo principale nel sistema informativo di produzione

Ordine di produzione 1234			Codice Parte HH3F		Qtà da prod. 1000	
Oper.	Centro di Lavoro	Attrezzaggio h	Tempo Ciclo h/pz	Produttività oraria	Lavorazione h	Totale h
010	CDL1	1,00	0,0083	120 pz/h	8,30	9,30
020	CDL2	0,17	0,1667	600 pz/h	1,83	2,00
030	CDL3	0,75	0,0044	225 pz/h	4,43	5,18
040	CDL2	0,17	0,1667	600 pz/h	1,83	2,00
					2,09	16,39
						18,48 €

Lista parti	Descrizione	Qta	U.M.
S567	Stampato per flangia	1000	Pezzi (pz)

Sottoprodotto	Descrizione	Qta	U.M.
TOTT	Tornitura di ottone	50	kg

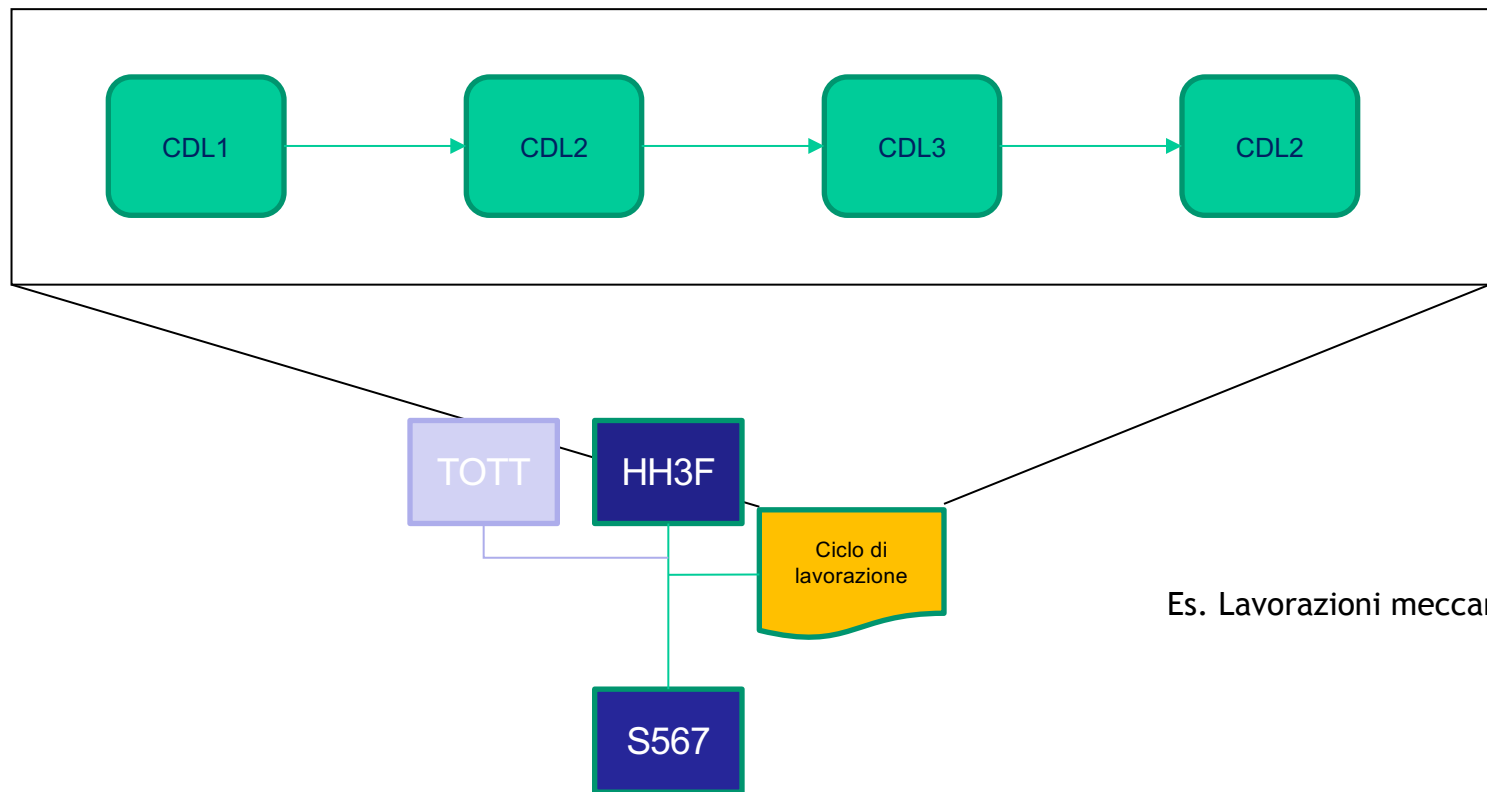
L'ordine di produzione si appoggia in modo significativo sui dati tecnici di produzione

Op. 010 - Tornitura
Risorsa: CDL1
Tempo ciclo: 30 sec
Tempo setup: 1 h
Tempo lav.: 8 h 20 min
Tempo tot: 9 h 20 min

Op. 020 - Lavaggio
Risorsa: CDL2
Tempo ciclo: 10 min
Tempo setup: 10 min
Tempo lav.: 1h 40 min
Tempo tot: 1h 50 min

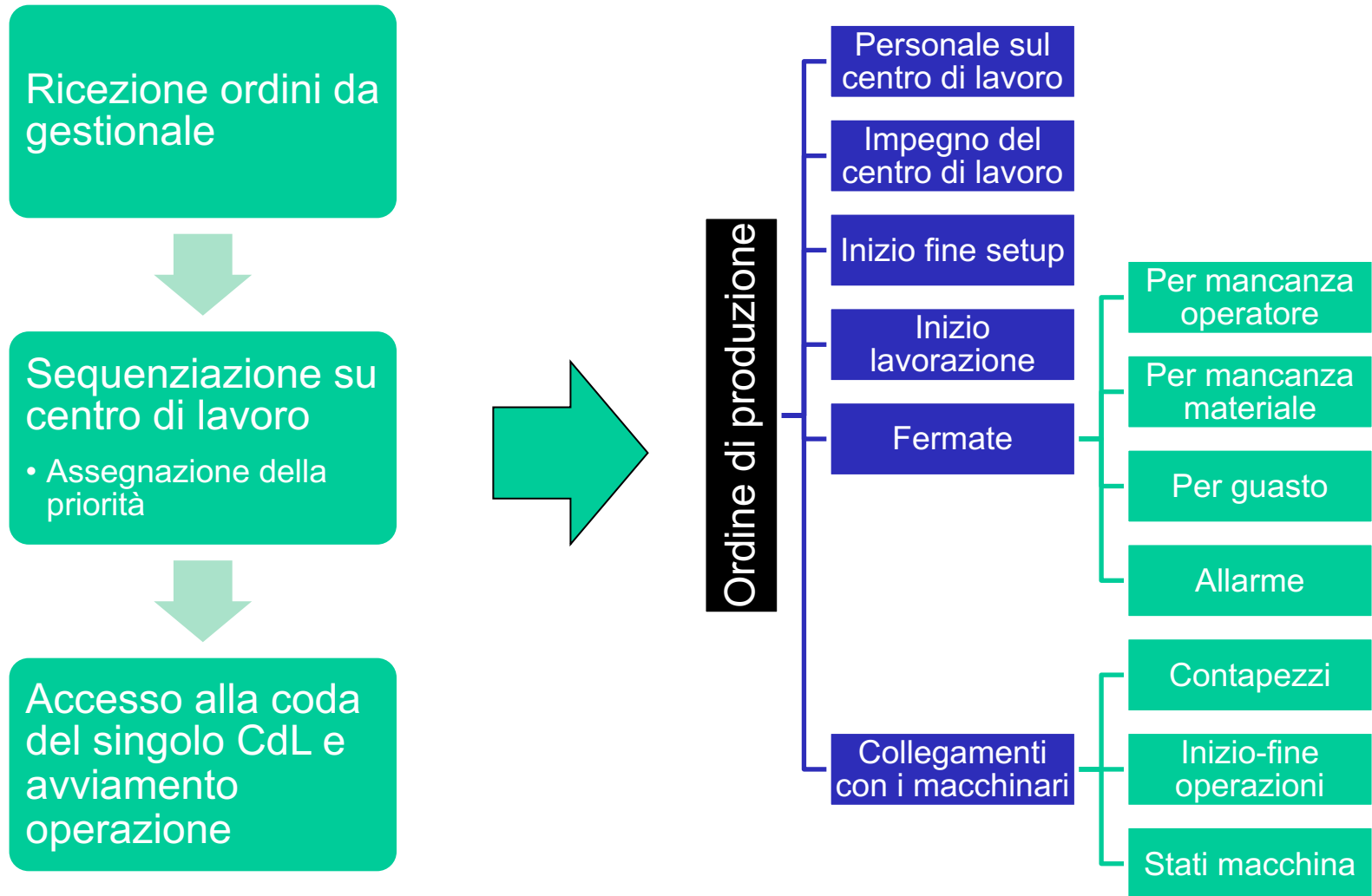
Op. 030 - Fresatura
Risorsa: CDL3
Tempo ciclo: 16 sec
Tempo setup: 45 min
Tempo lav.: 4 h 26 min
Tempo tot: 5 h 11 min

Op. 040 - Lavaggio
Risorsa: CDL2
Tempo ciclo: 10 min
Tempo setup: 10 min
Tempo lav.: 1h 40 min
Tempo tot: 1h 50 min

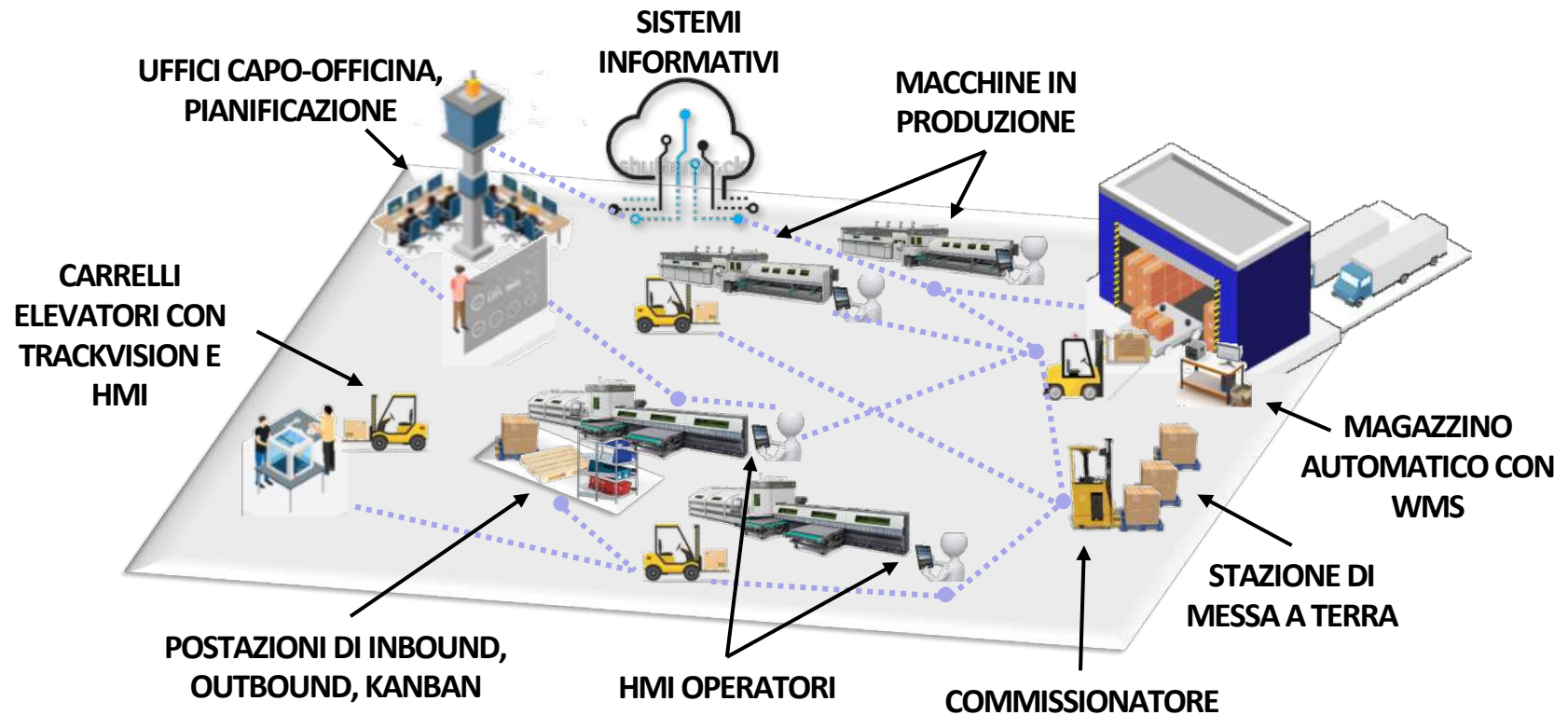


Es. Lavorazioni meccaniche

Il sistema MES rappresenta il principale strumento per consentire la gestione ed il controllo della produzione



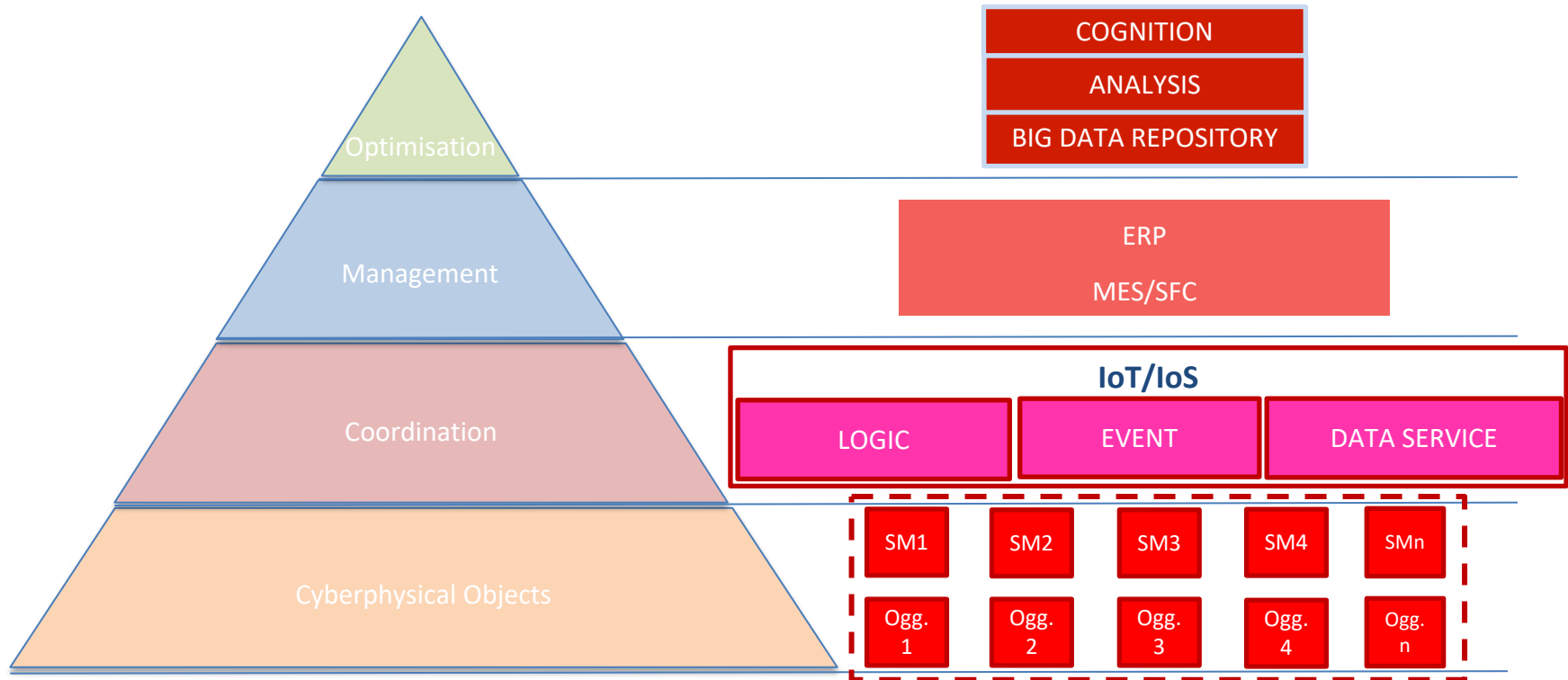
L'IoT permette di costruire un ecosistema di filiera per supportare la digitalizzazione dei processi di produzione



Le nuove architetture digitali permettono l'integrazione di gestione informativa, oggetti connessi e data analysis per l'ottimizzazione

IoT/IoS, a livello del mes c'è l'informazione sul peso, sotto ho l'infinitamente piccolo, rilevo ogni secondo la temperatura del processo, il numero di giri del mandrino, la corrente assorbita, e in mezzo devo avere un layer che gestisce, uno strato di coordinamento che

- raccoglie informazioni dall'IoT e applica logiche per attivare servizi lavorativi che servono, che possono essere locali (edge) oppure servizi che chiamo da remoto, una funzione alla cloud.
- coordinamento e inviare informazioni alla macchina, "passa dalla ricetta 15 alla 32", oppure "attiva quell'altra macchina".



I nuovi approcci all'analisi dei dati permettono di collegare la dimensione gestionale con i dati industriali

